



Forum forestier africain

Une plateforme pour les acteurs du secteur forestier africain



Science de base du changement climatique

UN RECUEIL DE COURS POUR LA FORMATION PROFESSIONNELLE
DANS LE SECTEUR FORESTIER EN AFRIQUE

01





Forum forestier africain

Une plateforme pour les acteurs du secteur forestier africain

Science de base du changement climatique

**UN RECUEIL DE COURS POUR LA FORMATION
PROFESSIONNELLE DANS LE SECTEUR FORESTIER
EN AFRIQUE**

Citation correcte: Forum forestier africain. 2019. Science de base du changement climatique un compendium pour la formation professionnelle en foresterie africaine.

© Forum forestier africain 2019. Tous droits réservés.

Forum Forestier Africain
United Nations Avenue, Gigiri
P.O. Box 30677-00100
Nairobi, Kenya

Tél : +254 20 722 4203
Fax : +254 20 722 4001
Site Web : www.afforum.org

Photos de couverture : Système agroforestier à base de *Borassus aethiopum* au centre du Bénin (gauche), zone de pâturage au centre du Bénin (milieu), plantation privée de *Moringa oleifera* au sud du Bénin (droite). Crédit : Dèdéou A. Tchokponhoué

Photo de couverture arrière : Le lit du fleuve Zio à Alokoegbé-kpota au sud du Togo. Crédit : Dèdéou A. Tchokponhoué

Conception et mise en page : Conrad Mudibo, Ecomedia

Décharge de responsabilité

Les appellations employées dans cette publication et la présentation des données qui y figurent n'impliquent l'expression d'aucune opinion de la part du Forum forestier africain quant au statut juridique de tout pays, territoire, ville ou région ou de ses autorités, ni quant au tracé de ses frontières ni quant à son système économique ou son stade de développement. Des extraits peuvent être reproduits sans autorisation, à condition que la source soit indiquée. Les opinions exprimées dans cette publication ne reflètent pas nécessairement celles du Forum forestier africain

Contents

Abréviations et acronymes	viii
Remerciements.....	ix
Préface	x
Résumé exécutif.....	xiv
Chapitre 1 : Physique et chimie de l'environnement.....	1
1.0 Aperçu du chapitre	1
1.1. Chimie physique de l'atmosphère ³	
1.1.1 Composition chimique de l'atmosphère ³	
1.2 Couches atmosphériques.....	5
1.3 Couche d'ozone.....	7
1.4 Évolution à long terme de l'ozone total	9
1.4.1. Tendances en fonction de la saison	10
1.5 Physique atmosphérique et rayonnement solaire	13
1.5.1. Interaction de la lumière avec les couches de l'atmosphère.....	14
1.5.2. Circulation atmosphérique et dynamique des fluides atmosphériques.....	15
1.6 Notion de pollution	17
1.6.1. Définition et concepts.....	17
1.6.2. Types de pollution.....	17
1.6.3. Décontamination de l'atmosphère	18
1.7 Propriétés physiques et chimiques de l'eau	19
1.7.1. Eau de surface	19
1.7.2 Propriétés de l'eau	19
1.7.3 Les états de l'eau	21
1.7.4 Ressources mondiales en eau.....	22
1.7.5 Pluies acides, aérosols, rejets énergétiques	24
1.8 Phénomènes météorologiques	27
1.8.1 Formation de nuages.....	27
1.8.2 Convection.....	27
1.8.3 Soulèvement orographique.....	28
1.8.4 Elévation de front.....	28
1.8.5 Vents forts	28
1.8.6 Quelques concepts en Météorologie	30
Références	31
Chapitre 2 : Écologie générale	32
2.0 Aperçu du chapitre.....	32
2.1 Concepts d'écologie et fonctionnement des écosystèmes	34
2.1.1 Définition de l'écologie.....	34
2.1.2 Histoire de l'écologie	34
2.1.3 Objet et méthodes de l'écologie	35
2.1.4 Composition, structure et fonctionnement des écosystèmes	36
2.1.5 Types d'écosystèmes.....	38

2.1.6	Facteurs écologiques	39
2.1.7	Concept de potentiel écologique	41
2.1.8	Théories fondamentales	41
2.1.9	Capacité de charge	41
2.1.10	Concept de climax	41
2.2	Facteurs et indicateurs de perturbation des écosystèmes	42
2.2.1	Méthodes d'évaluation des perturbations	43
2.2.2	État et évolution des écosystèmes forestiers	44
2.2.3	Dynamique des états et des espèces	44
2.2.4	Biogéographie	45
2.2.5	Phytogéographie	46
2.3	Concepts de la biodiversité	47
2.3.1	Définition et concepts de la biodiversité	47
2.3.2	Évaluation de la biodiversité	48
2.3.2	Érosion génétique, spéciation, endémisme	49
2.3.4	Indicateurs mondiaux de mesure de la biodiversité	49
2.3.5	État de la biodiversité selon les catégories de l'UICN	51
2.3.6	La conservation de la biodiversité	51
2.3.7	Services de l'écosystème	51
2.3.7	Les causes de la dégradation de la biodiversité	54
2.3.8	Principes fondamentaux de l'écophysiologie	54
	Références	57
	Chapitre 3 : Gestion durable des forêts	59
3.0	Aperçu du chapitre	59
3.1	Définitions des concepts de base en matière de gestion durable des forêts	61
3.1.1	Définition de certains concepts	61
3.1.2	Histoire et concepts de la gestion durable des forêts	62
3.1.3	Critères d'évaluation de la gestion durable	63
3.2	Inventaires forestiers	64
3.2.1	Définitions et concepts	64
3.2.2	Objectifs de l'inventaire	64
3.2.3	Produits forestiers non ligneux	65
3.2.4	Types d'inventaires	65
3.2.5	Méthodes d'échantillonnage	65
3.2.6	Plan d'échantillonnage	66
3.2.7	Dendrométrie et dendrochronologie	67
3.3	Phytosociologie	68
3.3.1	Définition et objet	68
3.3.2	Relevés phytosociologiques	68
3.3.3	Les types biologiques comme indicateurs de l'évolution des groupes de plantes	70
3.3.4	Types phytogéographiques	72
3.3.5	Autres méthodes d'étude de la végétation	73
3.4	Gestion durable des forêts et certification	74
3.4.1	Indicateurs de gestion durable des forêts	74
3.4.2	Certification des forêts	74
3.4.3	Synthèse des systèmes de certification FSC, PEFC, ISO et PAFC	77

3.5	Évaluations environnementales.....	78
3.5.1	Évaluation de la dégradation des écosystèmes.....	78
3.5.2	L'évaluation environnementale.....	78
3.5.3	Objectifs de l'évaluation environnementale.....	79
3.5.4	Les différents types d'évaluation environnementale.....	79
3.5.6	Évaluation économique des biens et services.....	81
3.5.7	Systèmes tarifaires et fiscaux.....	85
	Références.....	86

Chapitre 4 : Processus, facteurs et impacts du changement climatique 90

4.0	Aperçu du chapitre.....	90
4.1	Concepts relatifs au changement global et climatique.....	91
4.1.1	Climatologie.....	91
4.1.2	Circulation atmosphérique et dynamique des océans.....	93
4.1.3	Échanges de chaleur entre l'océan et l'atmosphère.....	94
4.1.4	Définitions des terminologies relatives aux changements global et climatique.....	94
4.2	Bases de la science du climat et des cycles biogéochimiques.....	99
4.2.1	Effets des interactions surface-atmosphère sur le climat.....	99
4.1.2	Concept de modélisation du climat.....	106
4.1.3	Cycles hydrologiques, du carbone et de l'azote.....	106
4.3.	Les moteurs du changement global.....	116
4.3.1.	Croissance de la population.....	116
4.3.1	Urbanisation.....	117
4.3.2	Industrialisation.....	118
4.3.3	Développement et progrès technologiques.....	118
4.3.4	Utilisation et changement de la couverture des terres.....	119
4.4.	Systèmes climatiques.....	122
4.4.1	Les grandes phases climatiques.....	122
4.4.2	Composantes des systèmes climatiques.....	123
4.4.3	Interaction des processus physiques, chimiques et biologiques du système climatique.....	124
4.4.4	Bilan du rayonnement.....	127
4.5.	Base scientifique du changement climatique.....	130
4.5.1	Emissions de GES et réchauffement climatique.....	130
4.5.1	Tendances des températures moyennes globales.....	132
4.6	Tendances des variables climatiques.....	132
4.6.2	Tendances des précipitations moyennes globales.....	132
4.6.3	Tendances de l'humidité moyenne globale.....	133
4.7	Preuve et impact du changement climatique.....	136
4.7.1	Preuve d'un changement climatique.....	136
4.7.3	Études de cas en Afrique australe.....	138
4.7.4	Études de cas en Afrique de l'Est.....	139
4.7.5	Études de cas en Afrique de l'Ouest.....	141
4.7.6	Études de cas en Afrique du Nord.....	142

4.8	Menaces et opportunités du changement climatique.....	143
4.9	Moteurs externes du changement climatique	146
4.9.1	Variations régulières de l'orbite de la Terre autour du Soleil	146
4.9.2	Variations de la puissance solaire thermique.....	146
4.9.3	Niveau de fluctuations de l'activité magnétique solaire.....	148
4.9.4	Impacts des objets extra-terrestres	148
4.10	Moteurs internes du changement climatique	150
4.10.1	Éruptions volcaniques, tremblements et tectonique des plaques	150
4.10.2	L'albédo de la Terre (équilibre radiatif à la surface de la Terre).....	150
4.10.3	Feux de forêt (causés par des facteurs naturels comme la foudre).....	150
4.11	Les facteurs anthropiques du changement climatique	152
4.11.1	Changements d'utilisation des terres, de la forêt vers d'autres utilisations des terres telles que l'agriculture.....	152
4.11.2	Déforestation et dégradation des forêts	153
4.11.4	L'Élevage.....	154
4.11.5	La culture du riz paddy	154
4.11.6	Le transport.....	154
4.11.7	Conversion des terres humides en d'autres utilisations	155
4.12	Dangers liés au changement climatique.....	157
4.12.2	La sécheresse	158
4.12.3	Défaillance des cultures.....	159
4.12.5	Santé humaine.....	160
4.13	Gestion des facteurs anthropiques du changement climatique	161
4.13.1	Technologies vertes.....	161
4.13.1	Agriculture intelligente face au climat	162
4.14	Le concept et les composantes de la vulnérabilité	163
4.14.1	Définitions des concepts clés	163
4.14.3	Composantes de la vulnérabilité	166
4.15	Méthodes d'évaluation de la vulnérabilité.....	168
4.16	La nature et la variabilité de la vulnérabilité.....	170
4.16.1	Vulnérabilité biophysique	170
4.16.2	Vulnérabilité socio-économique et des moyens de subsistance.....	171
4.17	Gestion et réduction des risques et des catastrophes liés au changement climatique.....	174
4.17.1	Définitions des concepts en matière de gestion des risques et des catastrophes....	174
4.17.2	Facteurs météorologiques dans les risques et catastrophes liés au changement climatique	176
4.17.3	Stratégies de réduction des risques de catastrophes liées au changement climatique.....	178
4.17.4	Qui est responsable de la mise en œuvre de la réduction des risques de catastrophe et du Cadre de Hyogo?.....	180
4.17.5	La réduction des risques de catastrophes et le processus de la CCNUCC	181
	Références.....	184

Chapitre 5 : Gestion des données sur le changement climatique	191
5.1 Aperçu du chapitre.....	191
5.2 Définition des données climatiques.....	192
5.3 Types de données climatiques.....	194
5.3.1 Données quantitatives et qualitatives	194
5.3.2 Données primaires et secondaires.....	195
5.3 Sources de données climatiques	196
5.3.1 Systèmes de connaissances des peuples autochtones	196
5.3.2 Stations météorologiques nationales et régionales.....	196
5.3.3 Organisation météorologique mondiale (OMM)	197
5.3.4 Administration nationale de l'aéronautique et de l'espace (NASA).....	197
5.3.5 Centre Africain pour les Applications et les Données Météorologiques (ACMAD).....	197
5.3.6 Climate Prediction and Application Center (ICPAC).....	198
5.3.7 Autres sources de données climatiques.....	198
5.4 Méthodes de collecte des données climatiques.....	199
5.4.2 Expérience	199
5.4.3 Sondage	200
5.4.4 Etude de cas.....	200
5.4.5 Évaluation rurale rapide	200
5.4.6 Étude de dossier / recherche documentaire	200
5.5 Outils et instruments.....	202
5.5.1 Questionnaires, liste de contrôle pour l'entrevue et liste de contrôle pour l'observation.....	202
5.6 Analyse et interprétation des données	205
5.6.1 Outils pour l'analyse des données	205
5.6.2 Méthodes d'analyse des données	206
5.6.3 Présentation des données.....	206
5.7 Documentation et archivage des données.....	207
5.7.1 Stockage de données	207
5.7.2 Systèmes d'extraction de données.....	208
Références	210

Abréviations et acronymes

ACMAD	Centre africain pour les applications de la météorologie au développement
AFF	Forum forestier africain
CFC	Chlorofluorocarbone
CH ₄	Méthane
CO	Monoxyde de carbone
CO ₂	Dioxyde de carbone
EIE	Evaluation d'impact Environnemental
FAO	Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture
FSC	Conseil d'intendance des forêts
GES	Gaz à effet de serre
H ₂	Dihydrogène
H ₂ O	Vapeur d'eau
HCFC	Hydrochlorofluorocarbones
ICPAC	Centre de prévisions et d'applications climatiques de l'IGAD
GIEC	Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat
ISO	Organisation internationale de normalisation
ZCIT	Zone de convergence intertropicale
IUCN	Union internationale pour la conservation de la nature
LULCC	Changements d'occupation et d'utilisation des terres
N ₂ O	Protoxyde d'azote
NASA	Administration nationale de l'aéronautique et de l'espace
ONGs	Organisation Non Gouvernementale
NH ₄	Ammonium
NOAA	Agence américaine d'observation océanique et atmosphérique
NOx	Oxydes d'azote
PFNL	Produits Forestiers Non Ligneux
O ₃	Ozone
PAFC	Certification forestière panafricaine
PEFC	Programme de reconnaissance des systèmes des certifications forestières
PFC	Perfluorocarbones
PSCs	Nuages stratosphériques polaires
RRA	Evaluation Rurale Rapide
GDF	Gestion Durable des Forêts
SOx	Oxyde de Soufre
UNECA	Commission économique des Nations Unies pour l'Afrique
COV	Composés organiques volatils
OMM	Organisation météorologique mondiale
WWF	Fonds mondial pour la nature

Remerciements

Ce compendium a été élaboré dans le cadre d'un processus organique qui a initialement conduit à la mise au point de «Modules de formation sur les changements climatiques et les forêts: adaptation, atténuation, marché du carbone et paiements des services environnementaux». Ils ont été élaborés pour la formation professionnelle et technique, et pour des formations de courte durée dans les pays d'Afrique subsaharienne. Le compendium fournit le contenu nécessaire pour une prestation efficace de la formation envisagée dans les modules de formation ; en d'autres termes, il est structuré en fonction des modules de formation. Dans ce contexte, de nombreuses personnes et institutions, y compris celles du gouvernement, de la société civile, du monde universitaire, de la recherche, des affaires, du secteur privé et d'autres communautés, ont contribué de diverses manières au processus qui a abouti à l'élaboration de ce compendium. Nous tenons à remercier collectivement toutes ces personnes et institutions pour leurs précieuses contributions, étant donné qu'il est difficile, dans un texte aussi court, de les mentionner individuellement.

Nous apprécions également le soutien financier reçu du gouvernement Suisse par le biais de l'Agence Suisse pour le Développement et la Coopération (SDC) pour la mise en œuvre d'un projet du Forum sur les forêts africaines, les populations et le changement climatique, qui a généré une grande partie des informations qui ont servi de base à la rédaction de ce compendium. Le Forum est également redevable à l'Agence Suédoise de Coopération pour le Développement International (ASDI) pour son soutien à un autre projet de AFF sur le « Renforcement de la gestion durable des forêts en Afrique » qui a également fourni des contributions au compendium, en plus d'avoir supporté les charges de participation de plusieurs contributeurs à ce compendium. Les questions traitées par les deux projets montrent l'intérêt des populations suisse et suédoise pour la foresterie africaine et le changement climatique.

Nous sommes également reconnaissants envers les principaux auteurs, les contributeurs mentionnés dans ce compendium et l'expert pédagogique, ainsi que ceux qui ont révisé les différentes versions du compendium.

Nous espérons que le compendium contribuera à une approche plus organisée et systématique de dispenser la formation dans ce domaine, et éventuellement à une meilleure gestion des forêts africaines et des arbres hors forêt.

Préface

Les forêts et les arbres de l'Afrique soutiennent les secteurs clés de l'économie de nombreux pays africains, notamment l'agriculture et l'élevage, l'énergie, la faune et la flore sauvages et le tourisme, les ressources en eau et les moyens de subsistance. Ils sont essentiels au maintien de la qualité de l'environnement sur tout le continent, tout en fournissant des biens et services publics internationaux. Les forêts et les arbres fournissent la majeure partie de l'énergie utilisée en Afrique. Les forêts et les arbres sont donc au centre du développement socio-économique et de la protection de l'environnement du continent.

Les forêts et les arbres hors forêts en Afrique sont affectés de plusieurs façons par le changement climatique et influent à leur tour sur le climat. Par conséquent, les forêts et les arbres d'Afrique deviennent de plus en plus stratégiques dans la lutte contre le changement climatique. La grande diversité des types et conditions des forêts en Afrique est à la fois la force et la faiblesse du continent dans la conception de réponses optimales au changement climatique basées sur les forêts. A cet égard, étant donné le rôle des forêts et des arbres dans le développement socio-économique et la protection de l'environnement, les mesures prises pour faire face au changement climatique en Afrique doivent simultanément améliorer les moyens de subsistance des populations tributaires des forêts et la qualité de l'environnement. Il est donc nécessaire pour l'Afrique de comprendre comment le changement climatique affecte les relations entre l'alimentation, l'agriculture, l'utilisation et les sources d'énergie, les ressources naturelles (y compris les forêts et les zones boisées) et les populations en Afrique, et dans le contexte des politiques macro-économiques et des systèmes politiques qui définissent l'environnement dans lequel elles opèrent toutes. Bien que cela soit extrêmement complexe, il est essentiel de comprendre comment le changement climatique affecte ces interrelations pour pouvoir influencer le processus, le rythme, l'ampleur et la direction du développement nécessaire pour améliorer le bien-être des populations et l'environnement dans lequel elles vivent.

Au niveau du secteur forestier, le climat affecte les forêts, mais les forêts affectent aussi le climat. Par exemple, la séquestration du carbone augmente dans les forêts en croissance, un processus qui influence positivement le niveau des gaz à effet de serre dans l'atmosphère, ce qui, en retour, peut réduire le réchauffement de la planète. En d'autres termes, les forêts, en régulant le cycle du carbone, jouent un rôle vital dans le changement et la variabilité climatiques. Par exemple, le rapport spécial du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) de 2018 sur les effets d'un réchauffement climatique de 1,5°C au-dessus des niveaux préindustriels sous-estime l'importance de l'afforestation et du reboisement, de la restauration des sols et de la séquestration du carbone dans l'élimination du dioxyde de carbone. Plus précisément, dans les voies limitant le réchauffement de la planète à 1,5°C, l'agriculture, la foresterie et l'utilisation des terres (AFOLU) sont projetées avec un niveau de certitude moyen pour éliminer 0-5, 1-11 et 1-5 GtCO₂/an en 2030, 2050 et 2100, respectivement. Il y a également les co-bénéfices associés aux mesures d'élimination du dioxyde de carbone liées au secteur AFOLU, telles que l'amélioration de la biodiversité, de la qualité des sols et de la sécurité alimentaire locale. Le climat, par contre, affecte la fonction et la structure des forêts. Il est important de bien comprendre la dynamique de cette interaction pour être en mesure de concevoir et de mettre en œuvre des stratégies d'atténuation et d'adaptation appropriées pour le secteur forestier.

Entre 2009 et 2011, le Forum Forestier Africain a cherché à comprendre ces relations en rassemblant les informations scientifiques existantes sous la forme d'un livre traitant du changement climatique dans le contexte des forêts, des arbres et des ressources fauniques en Afrique. Ce travail, qui a été financé par l'Agence Suédoise de Coopération pour le Développement Internationale (ASDI), a fait ressortir des lacunes considérables dans la compréhension qu'a l'Afrique du changement climatique dans le secteur

forestier, dans la manière de relever les défis et saisir les opportunités qu'il présente et dans la capacité à le faire.

La contrainte la plus flagrante à laquelle l'Afrique doit faire face pour répondre au changement climatique a été identifiée comme étant le manque de moyens pour y parvenir. Le Forum Forestier Africain reconnaît que l'établissement et l'opérationnalisation des capacités humaines sont essentiels pour une approche efficace des diverses questions liées au changement climatique, ainsi que pour améliorer la qualité du transfert de connaissances. Par exemple, les Organisations de la Société Civile, les agents de vulgarisation et les communautés locales sont des parties prenantes dans la mise en œuvre des activités d'adaptation et d'atténuation implicites dans de nombreuses stratégies de lutte contre le changement climatique. En outre, les Organisations de la Société Civile et les agents de vulgarisation sont plus susceptibles de diffuser largement les résultats de recherche pertinents aux communautés locales, qui sont et seront touchées par les effets néfastes du changement climatique. Il est donc crucial que tous les niveaux de la société soient conscients des mécanismes de réduction de la pauvreté à travers leur contribution à la résolution des problèmes environnementaux. La formation et la mise à jour des connaissances des Organisations de la Société Civile, des agents des services de vulgarisation et des communautés locales est l'une des approches logiques à cet égard. De même, le personnel professionnel et technique en foresterie et dans les domaines connexes devrait avoir des connaissances et des compétences dans ces secteurs d'activités relativement nouveaux.

- 1) C'est sur cette base que le Forum a organisé un atelier sur le renforcement des capacités et le développement des compétences en matière d'adaptation au changement climatique et d'atténuation de leurs effets dans les forêts à Nairobi (Kenya) en novembre 2012, qui a réuni des participants de certaines institutions universitaires, de recherche et de la société civile, ainsi que du secteur privé. L'atelier a identifié les besoins de formation sur le changement climatique pour les institutions d'enseignement et de recherche dans le domaine de la foresterie aux niveaux professionnel et technique, ainsi que les besoins de formation pour les groupes de la société civile et les agents de vulgarisation qui interagissent avec les communautés locales et aussi le secteur privé sur ces questions. Les besoins de formation recensés au cours de l'atelier ont porté sur quatre domaines principaux, à savoir la Science de changement climatique, les Forêts et adaptation au changement climatique, les Forêts et l'atténuation du changement climatique, et les Marchés et le commerce du carbone. Cela a servi de base aux participants à l'atelier pour élaborer des modules de formation professionnelle et technique, ainsi que des cours de courte durée pour les agents de vulgarisation et les groupes de la société civile. L'élaboration des modules de formation a impliqué la participation de 115 scientifiques venant de toute l'Afrique. Les modules de formation donnent des indications sur la façon dont la formation pourrait être organisée mais ne comprennent pas le texte pour la formation ; un besoin qui a été présenté au Forum Forestier Africain par les institutions de formation et les agents concernés. Entre 2015 et 2018, AFF a rassemblé 50 scientifiques africains pour élaborer le texte requis, sous forme de compendium, et de manière pédagogique. Ces travaux ont été financés en grande partie par l'Agence Suisse pour le développement et la coopération (SDC) et avec une certaine contribution de l'Agence Suédoise de Coopération pour le Développement International (ASDI). Au cours de cette période, huit compendiums ont été élaborés, à savoir :
- 2) La science de base du changement climatique: un compendium pour la formation professionnelle en foresterie africaine ;
- 3) La science de base du changement climatique : un compendium pour la formation technique en foresterie africaine ;

- 4) La science de base du changement climatique : un compendium pour les formations de courte durée en foresterie africaine ;
- 5) Marchés et commerce du carbone : un compendium pour la formation technique en foresterie africaine ;
- 6) Marchés et commerce du carbone : un compendium pour la formation professionnelle en foresterie africaine ;
- 7) Marchés et commerce du carbone : un compendium pour les formations de courte durée en foresterie africaine ;
- 8) Dialogues, processus et mécanismes internationaux sur le changement climatique : compendium pour la formation professionnelle et technique en foresterie africaine ;
- 9) Modélisation du climat et élaboration des scénarios : un compendium pour la formation professionnelle en foresterie africaine.

Une autre contribution notable au cours de la période 2011-2018 a été l'utilisation du module de formation sur « Les marchés et le commerce du carbone » pour renforcer les capacités de 574 formateurs de 16 pays africains sur l'évaluation rapide du carbone forestier (RaCSA), l'élaboration d'une note d'idée de projet (NIP) et d'un document descriptif de projet (DDP), l'exposition au commerce et aux marchés du carbone forestier, et le financement du carbone, entre autres. Les pays qui ont bénéficié de la formation sont : l'Éthiopie (35), la Zambie (21), le Niger (34), la Tanzanie (29), le Soudan (34), le Zimbabwe (30), le Kenya (54), le Burkina Faso (35), le Togo (33), le Nigeria (52), Madagascar (42), le Swaziland (30), la Guinée Conakry (40), la Côte d'Ivoire (31), la Sierra Leone (35) et le Liberia (39). En outre, le même module a été utilisé pour doter les petites et moyennes entreprises (PME) africaines, œuvrant dans le domaine forestier, de compétences et de connaissances sur la manière de développer et de s'engager dans le commerce du carbone forestier. A cet égard, 63 formateurs ont été formés sur le RaCSA dans les pays africains suivants : l'Afrique du Sud, le Lesotho, le Swaziland, le Malawi, l'Angola, la Zambie, le Zimbabwe, le Mozambique, la Tanzanie, l'Ouganda, le Kenya, l'Éthiopie, le Soudan, le Ghana, le Liberia, le Niger, le Nigeria, la Gambie, Madagascar, la République Démocratique du Congo, le Cameroun, la Côte d'Ivoire, le Burkina Faso, le Gabon, la République du Congo, le Tchad, la Guinée Conakry, le Sénégal, le Mali, la Mauritanie, le Togo et le Bénin.

Une évaluation entreprise par AFF a confirmé que de nombreux stagiaires sur le RaCSA font déjà bon usage des connaissances et compétences acquises de diverses manières, y compris dans l'élaboration de projets de carbone forestier bancables. En outre, de nombreuses parties prenantes ont déjà utilisé les modules de formation et les compendiums pour améliorer les programmes de leurs institutions et la manière dont l'éducation et la formation au changement climatique sont dispensées.

L'élaboration des compendiums est donc un processus évolutif qui a vu le renforcement progressif des capacités de nombreux scientifiques africains par l'élaboration des matériels d'enseignement et de formation pour leurs institutions et le grand public. D'une certaine manière, cela a suscité l'intérêt de la fraternité forestière africaine pour renforcer progressivement la capacité d'élaborer de tels manuels et éventuellement des livres dans des domaines d'intérêt pour le continent. Ceci est un moyen de compléter les informations autrement disponibles auprès de diverses sources, avec pour objectif ultime d'améliorer la compréhension de ces questions ainsi que de mieux préparer les générations présentes et futures à y faire face.

Nous encourageons donc la large utilisation de ces compendiums, non seulement à des fins d'éducation et de formation mais aussi pour accroître la compréhension des aspects du changement climatique dans le domaine de la foresterie africaine par le grand public.



Macarthy Oyebo

Président du Conseil d'administration du AFF



Godwin Kowero

Secrétaire exécutif du AFF

Résumé exécutif

Vue d'ensemble

Une bonne compréhension des fondements de la science du changement climatique jette les bases des termes, définitions et concepts utilisés et de leur application dans la science forestière. Ce module présentera aux apprenants les concepts clés et de base de la science du changement climatique. Il est divisé en cinq chapitres : Physique et chimie de l'environnement ; Écologie générale ; Gestion durable des forêts ; Processus, facteurs et impacts du changement climatique ; et Gestion des données sur le changement climatique.

But

Faire comprendre aux apprenants les concepts de la science de base du changement climatique et leur application dans la foresterie et d'autres secteurs connexes.

Objectifs

A la fin de ce module, les apprenants seront capables de

- 1) Décrire les éléments du changement global ;
- 2) Décrire les composantes des systèmes climatiques et les concepts de changement climatique ;
- 3) Analyser les moteurs du changement climatique ;
- 4) Expliquer l'impact du changement climatique dans le secteur forestier et dans d'autres secteurs connexes ;
- 5) Etablir un lien entre les concepts de vulnérabilité et de réponse au changement climatique ;
- 6) Elaborer des modèles climatiques qui permettent de prévoir la vulnérabilité et l'impact du changement climatique ;
- 7) Evaluer les implications des accords, discussions, conventions et négociations internationales sur le changement climatique.

Chapitre 1 : Physique et chimie de l'environnement

1.0 Aperçu du chapitre

Les interactions entre les éléments de l'atmosphère et la Terre sont à l'origine du changement climatique. L'accumulation au-delà d'un certain seuil de certains éléments ou les changements d'état de ces éléments peuvent avoir des conséquences extrêmes sur l'environnement. Ce chapitre présente les bases de la physique et de la chimie de l'atmosphère, le cycle de l'eau, la croûte terrestre et les interactions entre la Terre et l'atmosphère.



Objectif général

A la fin de ce chapitre, les apprenants seront capables de

- a) Indiquer les constituants majeurs et mineurs de l'atmosphère et ses différentes couches et fonctions ;
- b) Définir l'ozone, les types d'ozone ;
- c) Décrire l'importance de l'ozone pour les organismes vivants et les mécanismes de sa destruction ;
- d) Définir les termes pollution et dépollution d'un environnement et comprendre les différents types de pollution ;
- e) Définir les aérosols, les types d'aérosols et leur manifestation ;
- f) Décrire les propriétés et les différents états de l'eau, les mécanismes de formation des nuages et des vents forts ;
- g) Préciser la différence entre le changement climatique et la variabilité du climat.



Portée

A la fin de ce chapitre, les apprenants devraient être capables de :

- Décrire les interactions entre l'atmosphère, l'eau et la terre ;
- Expliquer les effets de serre et les mécanismes de destruction de la couche d'ozone ;
- Définir le changement global et le changement climatique ;
- Expliquer les éléments du changement global et leurs implications pour le changement climatique ;
- Différencier les diverses composantes du système climatique ; et,
- Décrire les tendances du changement climatique à l'aide d'indicateurs.



Activité 1 (Remue-méninges ; durée : 15 minutes)

Divisez la classe en groupes.

- Le premier groupe identifiera les constituants mineurs et majeurs de l'atmosphère et ses différentes couches.
- Le second groupe donnera une définition de l'ozone, sa localisation, les types d'ozone, son importance pour les organismes vivants et les mécanismes de sa destruction.
- Le troisième groupe définira les termes pollution et dépollution d'un environnement et les différents types de pollution.
- Le quatrième expliquera les mécanismes de formation des nuages, des vents et leurs origines.
- Le cinquième groupe donnera les propriétés de l'eau, ses différents états, et les grands réservoirs d'eau sur Terre.
- Le sixième groupe définira le climat, donnera la différence entre changement climatique et variabilité climatique et enfin donnera les conséquences du changement climatique (pluies acides, aérosols, rejets énergétiques) sur les organismes vivants de la Terre.

Plan de déroulement de la séance

Ce chapitre est structuré en quatre sessions de quatre heures chacune. La description détaillée de ces sections et du matériel requis est présentée ci-dessous.

Sessions	Temps nécessaire	Approche	Matériel d'enseignement
Physique chimie de l'atmosphère	4 heures	Echanges itératifs, discussions, séances de questions et réponses, cours théoriques et études de cas	Ordinateurs, vidéo projecteur
Notion de pollution	4 heures	Visite sur le terrain, cours théoriques, travaux dirigés, échanges itératifs travail, échanges itératifs	Ordinateurs, vidéo projecteur
Phénomènes météorologiques	4 heures	Visites de stations météorologiques, séances de questions et réponses, cours théoriques, discussions et travaux de groupe, recherche personnelle et présentations	Ordinateurs, vidéo projecteur, équipement de terrain
Physique chimie de l'eau	4 heures	Cours théoriques, échanges itératifs suivis des séances de questions et réponses	Ordinateurs, vidéo projecteur, feuillet autocollant

1.1. Chimie physique de l'atmosphère



Objectifs

A la fin de ce module, les apprenants seront capables de :

- Expliquer les principes physico-chimiques de base qui régissent les interactions atmosphériques ;
- Décrire les différentes composantes de l'atmosphère ; et,
- Expliquer la dynamique et l'importance de l'ozone.



Exercice

Les apprenants doivent :

- Décrire la composition chimique et les différentes couches de l'atmosphère ;
- Définir ce qu'est la couche d'ozone et son rôle sur les organismes vivants ;
- Commenter brièvement l'interaction de la lumière avec les différentes couches de l'atmosphère ; et
- Faire une synthèse des différents phénomènes météorologiques que l'on peut distinguer.

1.1.1 Composition chimique de l'atmosphère

L'air est un mélange de gaz dans une proportion remarquablement uniforme sur toute l'épaisseur de l'atmosphère. Il contient 78 % d'azote, 21 % d'oxygène et 1 % de gaz rares, notamment de l'argon. De plus, il existe des gaz de concentration variable : vapeur d'eau, dioxyde de carbone et dioxyde de soufre. Bien que léger, l'air est collé au globe par la gravité. C'est donc sur le terrain que sa densité et sa pression sont maximales : 1,3 g par litre et 760 mm de mercure (= 1,013 milliard en mb, 1 mb équivaut à 100 pascals). La pression atmosphérique diminue à mesure que l'on se lève : 264 mb à 10 km, 55 mb à 20 km et ainsi de suite jusqu'à atteindre zéro à environ 600 km au-dessus du sol.

L'atmosphère de la Terre est essentiellement constituée d'un mélange d'azote (N_2) et d'oxygène (O_2) ; ces deux molécules occupent près de 99 % du volume total en atmosphère sèche. Ils sont repartis de façon homogène dans l'atmosphère, à la fois verticalement et horizontalement. L'ozone est parmi les constituants minoritaires avec la vapeur d'eau (H_2O), le dioxyde de carbone (CO_2), le méthane (CH_4), l'hydrogène (H_2), le protoxyde d'azote (N_2O) et le monoxyde de carbone (CO). Les concentrations typiques pour ces divers constituants atmosphériques sont présentées au tableau 1.

Le monoxyde de carbone a une réactivité chimique élevée, en particulier par rapport au radical hydroxyle (OH , molécule réactive, véritable détergent troposphérique). Il en résulte une durée de vie relativement courte, soit deux mois ; par conséquent, ce composé présente des variations latitudinales et saisonnières significatives. Au cours de l'année, son taux de mélange peut doubler aux latitudes moyennes de l'hémisphère nord.

Par comparaison, les variations saisonnières des émissions de CO_2 et CH_4 sont de l'ordre de quelques pourcentages. Les concentrations des divers composés sont indiquées sous forme de taux de mélange et de pourcentages en volume (moyenne), respectivement, dans les troisième et quatrième colonnes

Tableau 1. Concentrations de divers constituants atmosphériques. L'ampleur des changements saisonniers des concentrations de constituants mineurs est très variable.

Constituants atmosphériques		Rapport de mélange en volume (air sec) (ppv)	%Vol (air sec)
Majeur Majeur	Azote (N ₂)	0.7808	78.08
	Oxygène (O ₂)	0.2095	20.95
Mineur	Dioxyde de carbone (CO ₂)	380 ¹⁰⁻⁶	0.038
	Ozone stratosphérique (O ₃)	1 – 10. ¹⁰⁻⁶	~0.0005
	Méthane (CH ₄)	1.80 ¹⁰⁻⁶	0.00018
	Vapeur d'eau (H ₂ O)	Très variable	Très variable
	Hydrogène (H ₂)	550 ¹⁰⁻⁹	0.000055
	Oxyde d'azote (N ₂ O)	312 ¹⁰⁻⁹	0.0000312
	Monoxyde de carbone (CO)	40 – 225 ¹⁰⁻¹²	~0.000013

L'abondance d'un constituant atmosphérique est généralement exprimée en termes de rapport de mélange (vmr) ; celui-ci correspond à la fraction de volume occupée par les molécules du constituant considéré par rapport à l'unité de volume d'air sec :

(équation 1)

Il est exprimé en parties par million en volume (ppmv: 10-6), en parties par milliard en volume (ppbv: 10-9) ou en parties par trillion en volume (pptv: 10-12). Les taux de mélange moyens des constituants mineurs indiqués dans le tableau 1 montrent une large gamme de concentrations, allant de 40 pptv (ou 0,04 ppmv) pour le CO et 380 ppmv pour le CO₂. L'atmosphère terrestre contient également un grand nombre de constituants à l'état de traces. Leurs faibles concentrations ne doivent pas nous amener à négliger les effets qu'ils peuvent avoir sur notre environnement. En addition au carbone (C₆H₂, C₂H₂, H₂CO, etc.), à l'azote (NO, NO₂, HNO₃, etc.) et au soufre (SO₂, etc.), il y a les composés halogénés, tels que le fluor, le chlore, le brome ou l'iode.

Ces derniers sont fortement liés au problème de la destruction de l'ozone stratosphérique. Au cours des dernières décennies, la gamme des composés halogénés présents dans la troposphère a été fortement modifiée en raison de l'utilisation intensive de produits synthétiques qui a conduit à leur libération massive dans l'atmosphère, plus ou moins retardée selon l'application. En raison de leur grande stabilité, ces produits se caractérisent par des durées de vie atmosphérique relativement longues et influenceront donc sur l'environnement pendant de nombreuses années après avoir été rejetés dans l'atmosphère.

Parmi ces composés figurent les chlorofluorocarbones (CFC) : CCl₂F₂ ou CFC-12, CCl₃F₂ ou CFC-11, CCl₂FCClF ou CFC-113, etc.), hydrochlorofluoro-carbones (HCFC: CHClF ou HCFC-22, CH₂CCl₃F₂ ou HCFC-141b), halons (CBrClF ou H-1211, CBrF ou H-1301), dérivés chlorés des alcanes (CH₃CCl₃, CCl₄), hydrofluorocarbones (HFC) : CH₂FCF₃ ou HFC-134a) et perfluorocarbones (PFC: CF ou PFC-14, C F ou PFC-116).

1.2 Couches atmosphériques

Atmosphère Terrestre

Le mot atmosphère vient du grec “atmos” - vapeur humide - et “sphere” qui est la représentation de la Terre. L’atmosphère est une enveloppe gazeuse fondamentale pour l’existence de la vie sur Terre. Cette dernière joue également un rôle majeur dans le cycle de l’eau puisque l’évaporation est le préalable aux précipitations. L’air à l’intérieur de l’atmosphère est défini en termes de température, de pression, de charge humide et de mouvements ou direction (horizontale et verticale).

L’atmosphère terrestre est une fine couche de gaz qui entoure la Terre. Elle est composée de 78 % d’azote, 21 % d’oxygène, 0,9 % d’argon, 0,03 % de dioxyde de carbone et d’autres gaz à l’état de traces. L’atmosphère protège la vie sur Terre en absorbant le rayonnement solaire ultraviolet, en réchauffant la surface par rétention de chaleur (effet de serre) et en réduisant les écarts extrêmes de température entre le jour et la nuit (la variation diurne de température). L’atmosphère terrestre a une épaisseur d’environ 480 km, mais la majeure partie de l’atmosphère (environ 80 %) se trouve à moins de 16 km de la surface de la Terre. Il n’y a pas d’endroit exact où l’atmosphère se termine ; elle devient juste de plus en plus mince, jusqu’à ce qu’elle fusionne avec l’espace.

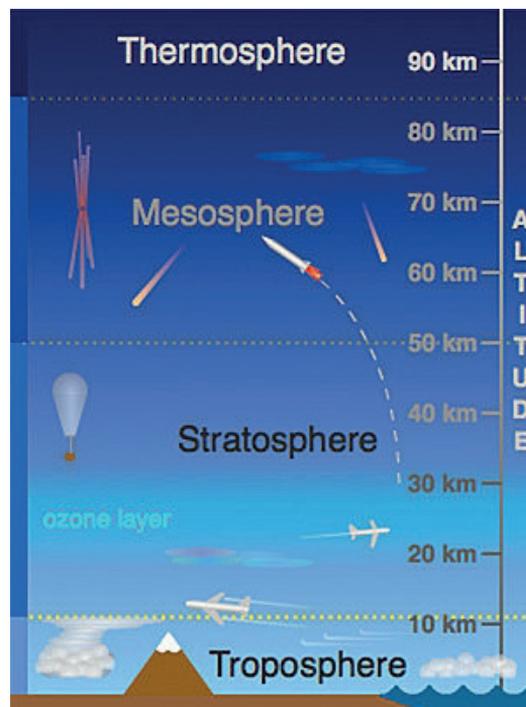


Figure 1. Les couches de l’atmosphère. Source : Russell (2015)

En se déplaçant vers le haut à partir du niveau du sol, les couches de l’atmosphère sont appelées troposphère, stratosphère, mésosphère, thermosphère et exosphère. L’exosphère s’efface progressivement dans le domaine de l’espace interplanétaire.

La troposphère est la couche la plus basse de notre atmosphère. A partir du niveau du sol, elle s'étend vers le haut jusqu'à environ 10 km au-dessus du niveau de la mer. Nous, les humains, vivons dans la troposphère, et presque tous les phénomènes météorologiques se produisent dans cette couche inférieure. La plupart des nuages apparaissent ici, principalement parce que 99 % de la vapeur d'eau dans l'atmosphère se trouve dans la troposphère. La pression atmosphérique diminue et les températures se refroidissent à mesure que l'on monte dans la troposphère.

La couche supérieure suivante s'appelle la stratosphère et s'étend du sommet de la troposphère jusqu'à environ 50 km au-dessus du sol. La couche d'ozone se trouve dans la stratosphère. Les molécules d'ozone de cette couche absorbent la lumière ultraviolette (UV) de haute énergie du soleil, convertissant l'énergie UV en chaleur. Contrairement à la troposphère, la stratosphère se réchauffe au fur et à mesure que l'on va plus haut. Cela signifie que l'air dans la stratosphère n'a pas de turbulence. Les avions de transport commerciaux volent dans la basse stratosphère, en partie parce que cette couche moins turbulente offre un vol plus doux. Le jet stream se déplace près de la frontière entre la troposphère et la stratosphère.

Au-dessus de la stratosphère se trouve la mésosphère. Il s'étend vers le haut jusqu'à une hauteur d'environ 85 km au-dessus de notre planète. La plupart des météores brûlent dans la mésosphère. Contrairement à la stratosphère, les températures se refroidissent encore une fois à mesure que l'on s'élève dans la mésosphère. Les températures les plus froides de l'atmosphère terrestre, soit environ -90 °C, se trouvent près du sommet de cette couche. L'air dans la mésosphère est beaucoup trop mince pour être respiré ; la pression de l'air au fond de la couche est bien en dessous de 1 % de la pression au niveau de la mer, et elle continue de chuter à mesure que l'on monte.

La couche d'air très rare au-dessus de la mésosphère est appelée thermosphère. Les rayons X et UV de haute énergie du Soleil sont absorbés dans la thermosphère, ce qui fait monter sa température à des centaines, voire des milliers de degrés. Cependant, l'air dans cette couche est si mince qu'il nous ferait un froid glacial ! À bien des égards, la thermosphère ressemble davantage à l'espace qu'à une partie de l'atmosphère. De nombreux satellites sont en fait en orbite autour de la Terre dans la thermosphère. Les variations de la quantité d'énergie provenant du Soleil exercent une forte influence à la fois sur la hauteur du sommet de cette couche et sur la température à l'intérieur de celle-ci. De ce fait, le sommet de la thermosphère se trouve à n'importe quel endroit - entre 500 et 1 000 km au-dessus du sol. Les températures dans la haute thermosphère peuvent varier d'environ 500°C à 2 000°C ou plus. Les aurores boréales et méridionales se produisent dans la thermosphère.

Bien que certains experts considèrent la thermosphère comme la couche supérieure de notre atmosphère, d'autres considèrent l'exosphère comme la véritable " frontière finale " de l'enveloppe gazeuse de la Terre. Comme vous pouvez l'imaginer, " l'air " de l'exosphère est très, très, très mince, ce qui rend cette couche encore plus semblable à l'espace que la thermosphère. En fait, l'air de l'exosphère est constamment - quoique très graduellement - " en fuite " de l'atmosphère terrestre vers l'espace. Il n'y a pas de limite supérieure bien définie où l'exosphère s'efface finalement dans l'espace. Différentes définitions placent le sommet de l'exosphère quelque part entre 100 000 et 190 000 km au-dessus de la surface de la Terre. Cette dernière valeur se situe à peu près à mi-chemin de la Lune.

L'ionosphère n'est pas une couche distincte comme les autres mentionnées ci-dessus. L'ionosphère est plutôt une série de régions dans certaines parties de la mésosphère et de la thermosphère où le rayonnement solaire à haute énergie a arraché des électrons à leurs atomes et molécules d'origine. Les atomes chargés électriquement et les molécules qui se forment de cette façon sont appelés ions, donnant à l'ionosphère son nom et conférant à cette région des propriétés particulières.

1.3 Couche d'ozone

Définition, répartition verticale et composition

L'ozone est une forme gazeuse allotropique d'oxygène (O), plus lourde que l'air. L'ozone est une molécule composée de trois atomes d'oxygène (O₃). Bien que cette molécule soit présente dans l'atmosphère terrestre en quantité réduite, de la surface à environ 50 km d'altitude, elle joue un rôle essentiel en filtrant de façon significative le rayonnement solaire ultraviolet nocif pour les cellules des êtres vivants et qui réduit la photosynthèse des plantes. L'ozone intervient également dans la stabilisation de la stratosphère en limitant les échanges verticaux dans cette région de l'atmosphère. L'ozone se trouve également dans la troposphère, mais sa présence dans cette partie de l'atmosphère est indésirable parce qu'il s'agit d'un polluant de faible niveau qui présente un danger potentiel pour la santé humaine et la végétation (Blin et al., 2007 ; Sivasakthivel et Siva, 2011).

Encadré 1. Importance de la couche d'ozone pour les organismes vivants

En haute altitude, la couche d'ozone absorbe la plus grande partie du rayonnement solaire ultraviolet, qui est nocif pour les organismes vivants et l'ozone joue donc un rôle protecteur pour les êtres vivants. En l'absence de la couche d'ozone dans la haute atmosphère, la vie n'aurait été possible que dans les océans, à une profondeur suffisante de la surface de l'eau (les UV ne pénétrant qu'en surface). Ce fut le cas pendant l'éon archéen, lorsque l'atmosphère terrestre était dépourvue de dioxygène (et donc d'ozone).

Types d'ozone

Il existe généralement deux types d'ozone : l'ozone bon ou utile et l'ozone mauvais ou nocif. Le "bon ozone", indique l'ozone stratosphérique tandis que le "mauvais ozone" fait référence à l'ozone à la surface de la Terre, aussi appelé ozone troposphérique. L'ozone stratosphérique ou " bon ozone " se trouve à des concentrations relativement élevées dans la stratosphère terrestre, principalement à des altitudes comprises entre 15 et 20 km. Cet ozone absorbe fortement les rayons ultraviolets et protège les organismes vivants contre le rayonnement UV. L'ozone est détruit par les aérosols provenant notamment de l'activité humaine, y compris les CFC, ce qui entraîne un trou dans la couche d'ozone.

L'ozone troposphérique ou " mauvais ozone " est généré par la pollution près de la surface de la Terre. L'ozone troposphérique est formé par une réaction chimique impliquant le dioxyde d'azote avec l'oxygène de l'air. Toutefois, la formation de dioxyde d'azote (NO₂) implique du monoxyde d'azote (NO) directement émis par les voitures, combiné à des composés organiques volatils (COV) provenant principalement des industries. Il est donc appelé polluant secondaire car il est produit lorsque deux polluants primaires réagissent au soleil et à l'air stagnant. Ces deux principaux polluants sont les oxydes d'azote (NO_x) et les composés organiques (COV). L'ozone troposphérique contribue à l'effet de serre et aux pluies acides (altération des plantes et des forêts). Chez l'homme ou l'animal, il provoque une irritation des muqueuses oculaires et respiratoires, et des crises d'asthme chez les sujets sensibles.

Rôle de l'ozone sur les organismes vivants

L'ozone protège les organismes vivants en absorbant une partie des rayons ultraviolets dans la haute atmosphère. Mais à basse altitude, cet excès de gaz peut avoir des effets indésirables sur la santé et la nature. La stratosphère est naturellement riche en ozone qui filtre les rayons ultraviolets, et permet ainsi la vie sur notre planète. Selon certaines observations, cette couche protectrice a eu tendance à diminuer au cours des dernières décennies, sous l'action destructrice de composés chimiques synthétiques tels que les chlorofluorocarbones (CFC).

Dynamique de la couche d'ozone

Au cours des dernières décennies, diverses pratiques domestiques, industrielles et agricoles ont joué un rôle dans l'appauvrissement de la couche d'ozone, entraînant l'émission de composés azotés, chlorés et bromés dans l'atmosphère. Grâce aux nombreux instruments de surveillance, tant au sol que sur les plateformes satellitaires, l'évolution récente de l'ozone est enregistrée avec précision, ce qui permet de caractériser dans quelle mesure la diminution de la couche d'ozone a affecté son fonctionnement dans le temps et dans l'espace (Mahieu, 2007 ; Sivasakthivel et Siva, 2011).

1.4 Évolution à long terme de l’ozone total

Depuis le début des observations en 1971, il y a eu différentes périodes de charge stratosphérique en substances appauvrissant la couche d’ozone. Au cours des premières années, il n’y avait presque pas de molécules artificielles appauvrissant la couche d’ozone. A partir de 1980 environ, la concentration a progressivement augmenté, pour atteindre un pic en 1997. Maintenant, les concentrations se sont stabilisées et montrent une diminution en raison de l’interdiction des CFC (chlorofluorocarbones) et des halons contenant du brome dans le protocole de Montréal, signé en 1987. Par conséquent, il est courant d’utiliser les données antérieures à 1980 comme une sorte de référence avant l’influence anthropique. Pour voir s’il y a une différence dans les changements de l’ozone, les tendances sont calculées pour deux périodes (avant et après 1997).

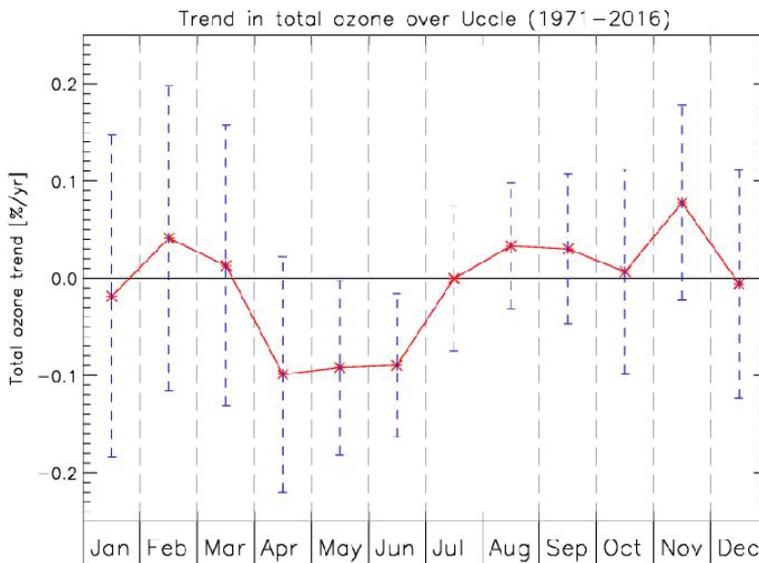


Figure 2 : Tendances saisonnières de l’ozone à Uccle en pourcentage par an, dérivées des observations de l’ozone avec Dobson n° 40 (1971-1989), Brewer n° 16 (1990-2001) et Brewer nr. 178 (2002-2016) entre 1971 et 2016. Les barres verticales représentent le niveau de confiance de 95 % des tendances calculées

Ci-dessus, l’évolution à long terme de l’ozone est illustrée par un graphique (figure 2) des valeurs moyennes annuelles courantes de l’ozone total et une des tendances mensuelles.

Les tendances sont de -0,25 % par an et de +0,19 % par an pour les périodes 1980-1997 et 1997-2016, respectivement. Bien que cela puisse être interprété comme un premier signe du rétablissement de la couche d’ozone, il convient toutefois de noter que la dernière période est trop courte pour tirer des conclusions définitives sur ce rétablissement (il faut noter la grande variabilité d’une année à l’autre au cours de la dernière décennie).

1.4.1. Tendances en fonction de la saison

Pour calculer les tendances de l’ozone total en fonction de la saison, la série chronologique de la colonne d’ozone total a été divisée en valeurs moyennes mensuelles en unités Dobson (DU). On applique ensuite une régression linéaire aux moindres carrés à ces séries chronologiques. Sur une période de 45 ans, seule une tendance négative significative de la colonne d’ozone total est présente dans les données de mai et juin, comme le montre la figure 3 ci-dessous.

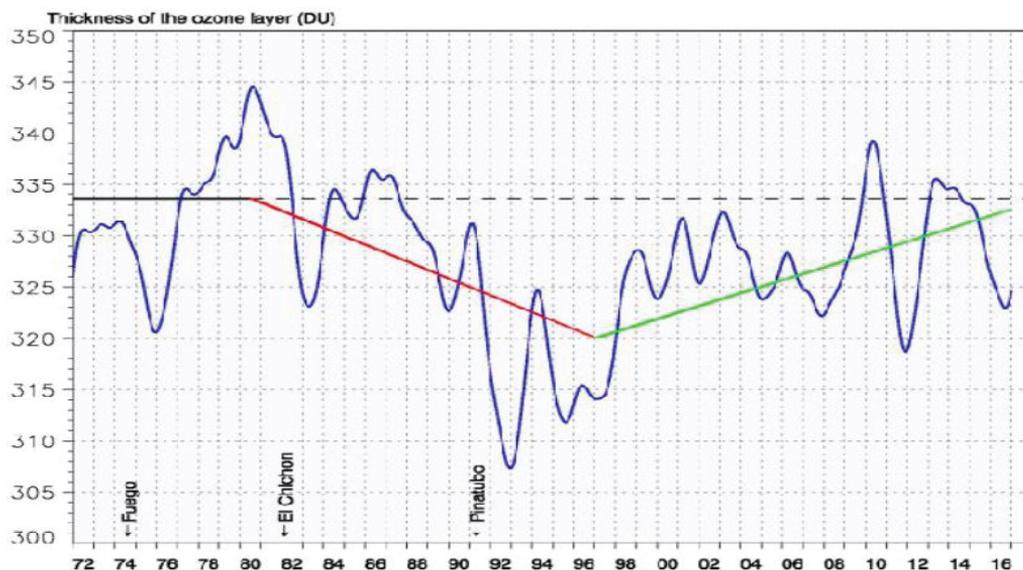


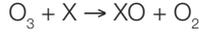
Figure 3 : Évolution de la colonne d’ozone à Uccle telle qu’observée avec Dobson 40 (1972-1989) ; Brewer 16 (1990-2001) et Brewer 178 (2002-2016). Les principales éruptions volcaniques affectant la couche d’ozone sont indiquées sur l’axe des temps.

Encadré 2. Pourquoi y a-t-il un trou dans la couche d’ozone ?

De multiples substances rejetées dans l’atmosphère favorisent la dissociation de l’ozone (O_3 en dioxygène O_2). Il s’agit notamment des chlorofluorocarbures, ou CFC et halons, présents dans les systèmes de climatisation, de réfrigération, les aérosols et dans certains processus industriels. L’ozone est détruit par le chlore et le brome issus de leur décomposition, à condition que les températures et la lumière soient très basses. C’est pourquoi le trou dans la couche d’ozone se produit après l’hiver polaire (dans la stratosphère au-dessus de l’Antarctique, environ $-80^\circ C$), lorsque la lumière réapparaît à ces latitudes, c’est-à-dire au printemps austral (septembre à décembre) au-dessus de l’Antarctique, et de mars à juin au-dessus du pôle Nord, mais dans une bien moindre mesure.

Problèmes causés par la destruction de la couche d'ozone

Au cours des cinquante dernières années, divers cycles catalytiques détruisant l'ozone ont été identifiés ; ils peuvent être représentés comme suit :



Ces cycles entraînent donc la conversion d'oxygène impair en oxygène moléculaire alors que le catalyseur, désigné par X, est restauré à la fin de ces réactions ; il peut donc influencer la concentration d'ozone tout en étant présent en plus petites quantités.

En fin de compte, la quantité d'ozone présente dans la stratosphère est régie par un grand nombre de réactions qui se produisent dans le cycle de Chapman (production/destruction) et dans différents cycles catalytiques (destruction, HO_x, NO_x, ClO et BrO_x). La situation est encore compliquée par les multiples couplages entre ces différents cycles ; des couplages qui conduisent à la formation de constituants mixtes tels que ClONO_x, HOCl, etc. Ces composés, s'ils n'ont pas d'effet direct sur la destruction d'ozone, constituent des réservoirs de molécules actives. La prédiction de la quantité d'ozone stratosphérique nécessite donc de prendre en compte l'ensemble des réactions et couplages identifiés à ce jour, ainsi que les phénomènes de transport qui interviennent de façon non négligeable dans sa redistribution. Cet exercice complexe est réalisé à l'aide de modèles 3D intégrant la chimie et le transport des masses d'air (3-D CTM pour Modèle 3D de transport des produits chimiques).

En intégrant les connaissances les plus récentes (constantes de réaction, distributions et abondance des réactifs, etc.), les contributions relatives des différents mécanismes impliqués dans le contrôle photochimique de l'ozone ont été réévaluées. La figure 4 montre les taux de destruction de l'ozone pour chacun des cycles catalytiques (O_x, HO_x, NO_x, ClO_x) en fonction de l'altitude, à l'exception de ceux basés sur le BrO, qui joue un rôle important en dessous de 25 km seulement. Il est à noter que ces taux de destruction varient beaucoup avec l'altitude. Ainsi, sur 50 km, les HOx représentent plus de 70% dans la destruction de l'ozone stratosphérique, O_x pour près de 20 % et le ClO pour 10% ; vers 40 km, les émissions de NO interviennent à 40%, le ClO à 25%, le HO et le O à moins de 15% dans la disparition de l'ozone.

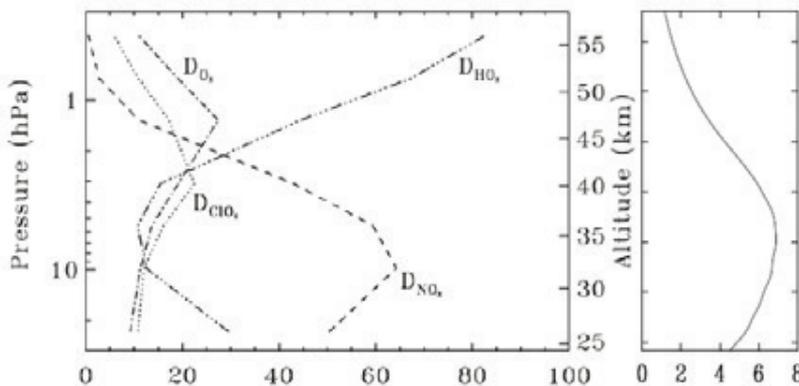


Figure 4. C Incul des taux de destruction de l'ozone pour janvier 1994 à 25°S. Un profil de distribution typique de l'ozone est présenté à droite.

Source : OMM (1999).

Le cycle impliquant le NOX devient prépondérant vers 30 km, tandis que celui du HOX est de nouveau prédominant à moins de 20 km d'altitude. Si l'influence du cycle ClO peut être mesurée, particulièrement en comparaison à celle du NOX, qui est décisif autour de 30-35 km, une altitude où les concentrations d'ozone sont maximales, plusieurs séries d'observations indépendantes montrent une diminution significative de O₃ de $7,4 \pm 1,0\%$ /décennie se produisant autour de 40 km. Les modèles montrent que les emplacements verticaux et méridionaux et l'ampleur de ce déclin sont compatibles avec l'accumulation de Cl anthropique dans la haute stratosphère.

La photochimie homogène en phase gazeuse entraîne une destruction progressive, lente et relativement uniforme de l'ozone (Mahieu, 2007). La découverte par Farman du " trou dans la couche d'ozone " au-dessus de la station de Halley Bay en Antarctique a rendu nécessaire l'identification de mécanismes supplémentaires pour expliquer la destruction massive de O_x, localisée à la fois géographiquement et verticalement.

Encadré 3 : Existe-t-il un lien entre l'ozone et le changement climatique ?

Paradoxalement, le changement climatique en cours contribue, dans une moindre mesure, à la réduction du trou dans la couche d'ozone. Si les gaz à effet de serre réchauffent la basse atmosphère, ils refroidissent la stratosphère à très haute altitude, ce qui peut avoir un léger effet positif en ralentissant les réactions chimiques qui détruisent l'ozone. Un autre léger effet est qu'en augmentant la circulation atmosphérique, le changement climatique peut accélérer l'amélioration globale de la couche d'ozone, en particulier aux latitudes moyennes et au pôle Nord.

1.5 Physique atmosphérique et rayonnement solaire

Transfert thermique

Un transfert thermique, plus communément appelé chaleur, est un transfert d'énergie microscopique désordonnée. Cela correspond à un transfert d'énergie thermique entre les particules, car les chocs aléatoires se produisent à l'échelle microscopique. L'exemple le plus courant d'une situation de transfert de chaleur est le système composé de deux corps en contact et ayant des températures différentes. Le corps le plus chaud fournit de l'énergie sous forme de chaleur au corps le plus froid. Il y a un transfert de chaleur entre les deux corps. Il peut y avoir des transferts thermiques vers un système dont la température reste constante, par exemple dans le cas d'un changement d'état physique (par exemple, fonte de la glace à 0°C sous la pression atmosphérique). L'étude de ces transferts est réalisée dans le cadre de la discipline de la thermodynamique sur la base des deux premiers principes.

Contrairement à la thermodynamique, la thermocinétique fournit des informations sur le mode de transfert en situation de non-équilibre ainsi que sur les valeurs de flux de chaleur. La controverse sur la nature de la "chaleur" a duré jusqu'au milieu du XIXe siècle. Vers 1805, le physicien et mathématicien français Joseph Fourier (1768-1830), reprenant des travaux antérieurs, décide d'ignorer complètement la nature de la chaleur, pour se concentrer uniquement sur l'étude de sa transmission. Fourier a supposé que la chaleur est transmise des zones chaudes aux zones froides perpendiculairement aux surfaces isothermes et proportionnellement aux écarts de température existants. Cela a conduit donc à la première étude quantitative d'un mode de transfert de chaleur, la conduction, que nous allons d'abord étudier en détail. La résolution de l'équation différentielle partielle obtenue conduit Fourier à développer les notions de séries et d'intégrales de Fourier.

Nous étudions ici un ensemble de systèmes thermodynamiques qui ne sont pas en équilibre thermique, c'est-à-dire lorsque la température d'un système particulier n'est pas partout égale à la température de l'autre système(s) avec lequel Σ est en contact, ou en relation avec le rayonnement électromagnétique. La description que nous ferons du transfert de chaleur sera phénoménologique, c'est-à-dire d'origine expérimentale, bien qu'une analyse microscopique simplifiée puisse permettre de justifier certaines de ces lois.

Nous désignons par "transfert de chaleur" la partie non macroscopique des échanges d'énergie soit : $dU - \delta W$, soit $dU = \delta W + \delta Q$ ou $\Delta U = W + Q$. (équation 3)

Le terme "transfert de chaleur" a récemment été introduit pour remplacer le terme "chaleur", source de confusion possible entre les notions de transfert de chaleur (extensif, lié à la transformation) et de température (intensif, lié à l'état). La confusion a été explicitement soulevée pour la première fois vers 1760 par le physicien britannique Joseph Black (1728-1799) ; il a alors nommé la température comme intensité de chaleur et le transfert de chaleur comme « quantité de chaleur ».

Phénomène adiabatique

L'adjectif "adiabatique" décrit tout processus, tout phénomène, toute évolution associant deux systèmes physiques, chimiques ou biologiques qui n'échangent pas de chaleur. Cette définition s'applique notamment au couple formé par un système et l'environnement extérieur à ce système. L'étude actuelle des fluides, et de l'air en particulier, est basée sur la division en particules plus ou moins mobiles du fluide ; on peut se demander quel est le comportement habituel du système qui constitue une pièce d'air par rapport à l'atmosphère qui l'entoure et qui forme le plus souvent l'ensemble de son environnement extérieur.

Les différentes transformations auxquelles une telle pièce peut être soumise, compte tenu de l'échelle aérologique, comprennent des transformations adiabatiques : en effet, on peut considérer que la pièce, au cours de ses mouvements verticaux, n'échangera pas de chaleur avec le milieu extérieur, car la diffusion de la chaleur se fait mal à travers l'air. Or, il s'avère que lorsqu'un colis est soumis à une expansion adiabatique - la pression atmosphérique diminue - il subit en même temps un refroidissement. Inversement, si cette pièce est soumise à une compression adiabatique - avec une pression croissante - elle subit un réchauffement. Par conséquent, une parcelle prise en mouvement ascendant se refroidit, puisque la pression diminue lorsque l'altitude augmente ; la conclusion inverse s'applique à une parcelle prise en mouvement descendant. Il est alors démontré en météorologie que tant qu'il n'y a pas eu saturation, les variations de la température et de la pression d'une pièce d'air humide s'effectuent dans le même sens et sont pratiquement liées par une loi universelle dont le seul paramètre est la température prise par la pièce à une pression donnée, conventionnellement fixée à 1 000 hPa (la température de la pièce à cette pression particulière constitue par définition sa température potentielle).

Avec l'hypothèse de l'adiabatisme, des informations extrêmement précieuses sur la situation météorologique et le temps sensible dans une section atmosphérique donnée peuvent alors être déduites de l'examen du profil vertical de la température en fonction de la pression, tracé par exemple sur un émagramme. Cet examen met en lumière deux facteurs principaux, d'une part l'épaisseur, la stabilité ou l'instabilité des couches examinées, et d'autre part la formation de condensation, donnant lieu à des nuages et éventuellement à des précipitations. Le mouvement d'une pièce est alors représenté sur l'émagramme par un "déplacement" du point représentatif de son état le long de la courbe qui représente, pour la valeur correspondante de la température potentielle, la relation susmentionnée entre la pression et la température (une telle courbe est appelée isoligne adiabatique ou simplement, par substantivation, un adiabatique).

1.5.1. Interaction de la lumière avec les couches de l'atmosphère

Avant que le rayonnement utilisé pour la télédétection n'atteigne la surface de la Terre, il doit traverser une certaine épaisseur d'atmosphère. Les particules et les gaz présents dans l'atmosphère peuvent dévier ou bloquer le rayonnement incident. Ces effets sont causés par les mécanismes de diffusion et d'absorption.

La diffusion se produit lors de l'interaction entre le rayonnement incident et les particules ou les grosses molécules de gaz présentes dans l'atmosphère. Les particules dévient le rayonnement de sa trajectoire initiale. Le niveau de diffusion dépend de plusieurs facteurs tels que la longueur d'onde, la densité des particules et des molécules, et l'épaisseur de l'atmosphère que le rayonnement doit traverser. Il existe trois types de diffusion :

- la diffusion de Rayleigh ;
- la diffusion de Mie ; et,
- la diffusion non sélective.

La diffusion de Rayleigh se produit lorsque la taille des particules est inférieure à la longueur d'onde de la radiation. Il peut s'agir soit de particules de poussière, soit de molécules d'azote ou d'oxygène. La diffusion de Rayleigh disperse et dévie davantage les courtes longueurs d'onde que les grandes longueurs d'onde. Cette forme de diffusion est prédominante dans les couches supérieures de l'atmosphère. Ce phénomène explique pourquoi nous percevons un ciel bleu pendant la journée. Comme la lumière du Soleil traverse l'atmosphère, les courtes longueurs d'onde (correspondant au bleu) du spectre visible sont plus dispersées et déviées que les grandes longueurs d'onde. Au coucher et au lever du soleil, le rayonnement doit parcourir une plus grande distance dans l'atmosphère qu'au milieu de la journée. La

diffusion des courtes longueurs d'onde est plus importante. Ce phénomène permet à une plus grande proportion de grandes longueurs d'onde de pénétrer dans l'atmosphère.

La diffusion de Mie se produit lorsque les particules sont presque aussi grandes que la longueur d'onde du rayonnement. Ce type de diffusion est souvent produit par la poussière, le pollen, la fumée et l'eau. Ce type de diffusion affecte les plus grandes longueurs d'onde et se produit surtout dans les couches inférieures de l'atmosphère où les particules grossières sont plus abondantes. Ce processus domine lorsque le ciel est couvert de nuages.

Le troisième type de diffusion est la **diffusion non sélective**. Ce type de diffusion se produit lorsque les particules (gouttes d'eau et grosses particules de poussière) sont beaucoup plus grandes que la longueur d'onde du rayonnement. Nous appelons ce type de diffusion " non sélective " car toutes les longueurs d'onde sont diffusées. Les gouttes d'eau dans l'atmosphère dispersent le bleu, le vert et le rouge de façon presque égale, produisant un rayonnement blanc (lumière bleue + verte + rouge = lumière blanche). C'est pourquoi le brouillard et les nuages semblent blancs.

Un autre phénomène entre en jeu lorsque le rayonnement électromagnétique interagit avec l'atmosphère : c'est l'absorption. L'absorption se produit lorsque de grosses molécules de l'atmosphère (ozone, dioxyde de carbone et vapeur d'eau) absorbent l'énergie de diverses longueurs d'onde (<http://www.mnca.gc.ca/sciences-terre/geomatique/imagerie-satellitaire-photos-aeriennes/imagerie-satellitaire-produits/ressources-educatives/14636>).

1.5.2. Circulation atmosphérique et dynamique des fluides atmosphériques

Circulation atmosphérique

La circulation atmosphérique est le mouvement à grande échelle de l'air par lequel la chaleur est distribuée sur la surface de la Terre. Il s'agit de tout flux atmosphérique utilisé pour désigner la circulation générale de la Terre et les mouvements régionaux de l'air autour des zones de haute et de basse pression. En moyenne, cette circulation correspond à des systèmes éoliens à grande échelle disposés en plusieurs ceintures Est-Ouest qui encerclent la Terre. Dans les ceintures de haute pression subtropicales près des latitudes 30° N et 30° S (les latitudes des chevaux), l'air descend et fait souffler les alizés vers l'ouest et vers l'équateur à la surface de la Terre. Ceux-ci fusionnent et s'élèvent dans la zone de convergence intertropicale près de l'équateur et soufflent vers l'est et vers les pôles à des altitudes de 2 à 17 km. Une partie de l'écoulement descend dans les ceintures de haute pression subtropicales et le reste fusionne à haute altitude avec les vents d'ouest des latitudes moyennes plus loin vers le pôle.

La circulation générale est définie comme étant la description statistique complète des mouvements atmosphériques à grande échelle. Pour bien comprendre la circulation générale, il faut comprendre le rôle des mouvements à petite échelle, du rayonnement, de la conservation et de l'interaction avec l'océan et la surface terrestre. La figure 5 ci-dessous montre les modèles de circulation atmosphérique générale.

Le modèle de circulation générale proposé est constitué de six cellules de convection : deux cellules équatoriales au sens direct appelées cellules de Hadley, deux cellules à circulation inverse des précédentes appelées cellules de Ferrel et deux cellules polaires à nouveau à circulation directe. La circulation générale atmosphérique ainsi définie assure 70 à 80 % des transferts d'énergie entre les régions à bilan radiatif positif et celles à bilan radiatif négatif. Elle joue un rôle important dans le cycle de l'eau, en transportant d'énormes quantités de vapeur d'eau. Le déplacement des masses d'air conditionne le climat des différentes régions de la planète.

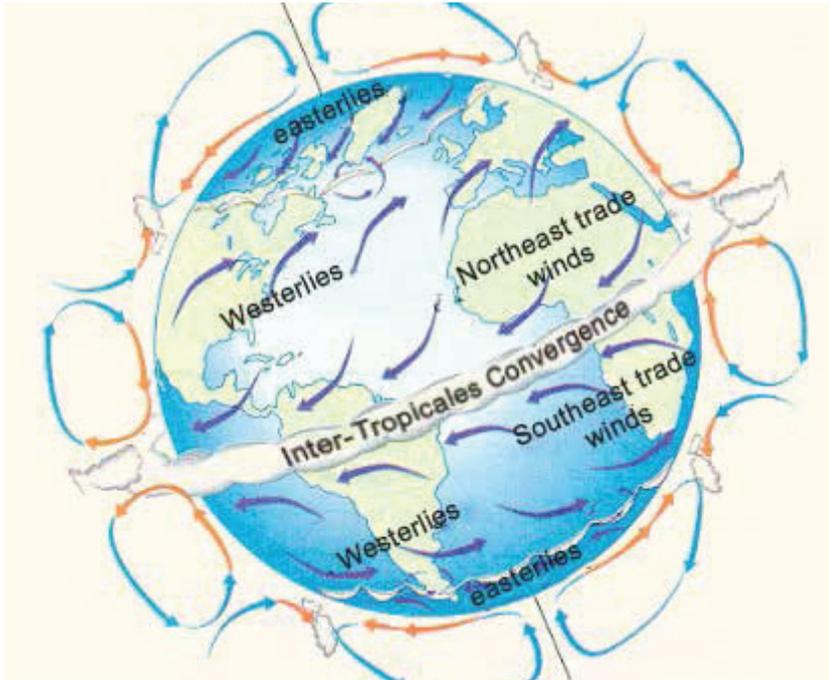


Figure 5. Modèles de circulation générale de l'atmosphère.

Source : <http://eduscol.education.fr/obter/appliped/circula/theme/atmos32.htm>



Résumé

Cette session permet à l'apprenant d'acquérir une connaissance approfondie des composants de l'atmosphère ainsi que des interactions physico-chimiques. De plus, la question de l'ozone est largement abordée en raison de ses caractéristiques et de son importance pour le changement climatique. L'accent est mis sur la dynamique de la couche d'ozone et les facteurs qui affectent son intégrité.

1.6 Notion de pollution



Objectifs

A la fin de cette formation, les apprenants seront capables de :

- Décrire les différents types de pollution ;
- Identifier les différents polluants ; et
- Connaître les techniques de dépollution.



Activité 1 (Remue-méninges) (20 minutes)

- Définissez la pollution.
- Indiquez les différentes sources de pollution.
- Décrivez les différents types de polluants.
- Proposez des méthodes de dépollution.

1.6.1. Définition et concepts

Le terme pollution peut être défini comme “ une modification défavorable du milieu naturel qui résulte en tout ou en partie de l’action de l’homme, par des effets directs ou indirects modifiant les critères de répartition des flux énergétiques, les niveaux de radiation, la constitution physico-chimique du milieu naturel et l’abondance des espèces vivantes “.

1.6.2. Types de pollution

Les types de pollution peuvent être divisés en trois grandes catégories :

- la pollution physique : les radiations dues aux radionucléides, la pollution thermique, le bruit et les infrasons ;
- la pollution chimique : produits naturels, minéraux ou organiques et substances synthétiques auparavant absentes dans la nature ; et
- la pollution microbiologique : Introduction intempestive de variétés animales ou végétales.

La pollution n’est pas seulement un phénomène à attribuer aux activités humaines. La nature produit également ses propres polluants, altérant, bien que dans une moindre mesure, la qualité de l’air. Les polluants naturels peuvent être:

- les particules minérales (embruns marins, corrosion des roches, érosion des sols) ;
- les particules vivantes (bactéries, virus, champignons microscopiques) ;
- les particules (pollens) ; et
- les gaz (radon, dioxyde de carbone, ozone).

1.6.3. Décontamination de l'atmosphère

La dépollution désigne l'élimination de la pollution et de la contamination des milieux ambiants tels que les sols, les eaux souterraines, les sédiments ou les eaux de surface. Les enjeux de la dépollution sont souvent financiers mais aussi d'intérêt général (protection de la santé publique et de l'environnement, ou par exemple dans le cas d'un site industriel ou commercial désaffecté, réutilisation).

La dépollution doit généralement répondre à un ensemble de normes législatives et peut également être fondée sur des évaluations des risques sanitaires ou écologiques lorsqu'il n'existe pas de norme législative ou lorsqu'elles sont à caractère consultatif.



Résumé

La session traite des questions de pollution sous toutes leurs formes et de leur impact sur l'écosystème. Il y a également des preuves de pollution naturelle. En outre, les notions de dépollution sont également présentées.

1.7 Propriétés physiques et chimiques de l'eau



Objectifs

A la fin de cette formation, les apprenants seront capables de :

- Expliquer l'importance de l'eau à travers ses paramètres physico-chimiques ;
- Identifier et caractériser tous les états de l'eau
- Analyser les différents réservoirs d'eau et les échanges entre eux.



Activité 1 (Remue-ménages) (20 minutes)

- Quelles sont les caractéristiques de l'eau ?
- Décrivez les différents états de l'eau. Énumérez les principaux réservoirs d'eau de votre collectivité ?

1.7.1. Eau de surface

Les eaux de surface sont composées, par opposition aux eaux souterraines, de toutes les masses d'eau communes ou stagnantes, douces, saumâtres ou salées, qui sont en contact direct avec l'atmosphère). Par conséquent, l'eau de surface est l'eau qui se trouve à la surface du sol ou à proximité de celui-ci. Il s'agit principalement des rivières, des océans, des mers, des lacs et des eaux de ruissellement (Bordet, 2007). Sa température varie en fonction du climat et des saisons. Ses matières en suspension sont variables en fonction de la pluviométrie, de la nature et du relief du terrain à proximité. Sa composition en sels minéraux varie en fonction du terrain, de la pluviométrie et des rejets ; elle retient peu les nitrates (Bordet, 2007). Une eau de surface est généralement riche en oxygène et faible en CO_2 .

Tôt ou tard, éventuellement après avoir contribué à la vie physiologique de la flore ou de la faune, l'eau de surface s'évapore ou rejoint le cours lent de l'eau souterraine. Les zones humides contiennent une quantité relativement constante d'eau de surface, ce qui contribue en retour à l'intérêt de la zone pour la biodiversité sous forme d'eau libre, d'humidité du sol ou d'eau qui s'imprègne à la base des formations végétales qui s'y reproduisent.

1.7.2 Propriétés de l'eau

Un formidable solvant

L'eau est le solvant naturel le plus important à la surface de la Terre. L'eau est capable de dissoudre presque n'importe quel substrat, au point qu'on peut affirmer que l'eau pure n'existe pas puisque la bouteille qui pourrait la contenir, sans être dissoute un peu par elle, est encore à inventer.

L'eau de pluie, qui provient essentiellement de l'évaporation de l'eau de mer (et donc de l'eau douce), est chargée de minéraux dans l'atmosphère. Sa teneur totale en sel dissous est proche de 7 g/m^3 . Lorsque les pluies s'écoulent ou s'infiltrent dans le sous-sol, leurs eaux se chargent de tous les minéraux ou matières organiques qu'elles rencontrent, y compris les substances polluantes ou toxiques. Ainsi, en moyenne, l'eau des rivières a une charge de sel dissous d'environ 120 g/m^3 .

Ce sont ces eaux qui sont responsables de la salinité de l'eau de mer, qui est d'environ $35\,000 \text{ g/m}^3$, soit près de 300 fois plus que l'eau douce. Tous ces minéraux et substances organiques dissoutes sont les nutriments ou oligo-éléments essentiels aux organismes photosynthétiques (algues, plantes, phytoplancton, cyanobactéries, etc.) pour leur production primaire.

Chaleur spécifique élevée

L'eau est l'élément naturel (sauf l'ammoniac NH_3) dont la chaleur spécifique est la plus élevée sur Terre. La chaleur spécifique est la quantité d'énergie qui doit être fournie à une masse d'eau donnée pour élever sa température de 1°C . Cela signifie que l'eau est aussi difficile à chauffer qu'à refroidir. On peut dire que, mis à part les strates les plus superficielles, l'océan mondial est essentiellement un hydrosystème froid. D'autre part, d'importantes masses d'eau continentales jouent un rôle important dans l'établissement des climats locaux.

Chaleur latente élevée de fusion et de vaporisation

Les chaleurs latentes de fusion et de vaporisation représentent les quantités de chaleur qui doivent être fournies soit pour faire fondre la glace, soit pour produire de la vapeur d'eau. L'énergie nécessaire est prélevée sur le substrat, c'est-à-dire que si la majeure partie de la vapeur d'eau atmosphérique provient de l'océan, elle est refroidie de façon constante par ce mécanisme de vaporisation.

Ces deux caractéristiques expliquent en grande partie pourquoi les hydrosystèmes, principalement océaniques mais aussi continentaux, se comportent comme de formidables tampons thermiques et aussi pourquoi la température à la surface de la Terre varie dans des proportions réduites.

Variations importantes de la densité

L'eau a une densité maximale à une température proche de $+4^\circ\text{C}$. Cela signifie que les eaux du fond de l'océan sont à une température de $+4^\circ\text{C}$. Cela est vrai partout, sauf dans les océans glaciaires puisque leurs eaux n'atteignent pas cette température. C'est aussi la température des eaux au fond des lacs situés dans les régions tempérées froides.

Lorsque les eaux superficielles sont refroidies à la température de $+4^\circ\text{C}$, elles deviennent plus lourdes que l'eau qui les supporte et vont donc couler vers le fond. Ce phénomène est très important, surtout pour les eaux intérieures, car il assure le mélange de l'eau, mélange qui se produit une ou deux fois par an (lacs monomiques ou lacs dimiques).

La glace, parce qu'elle flotte, joue un rôle fondamental pour empêcher la pénétration du froid dans les masses profondes des eaux soumises à un froid extrême.

L'eau et ses couleurs

L'eau semble incolore parce qu'elle est transparente dans le spectre visible. De grandes masses d'eau absorbent les radiations infrarouges sur quelques mètres. C'est la raison essentielle pour laquelle seules les couches les plus superficielles de l'eau sont chauffées. Il en va de même pour la vapeur d'eau atmosphérique, qui limite largement la pénétration du rayonnement infrarouge. C'est une des raisons pour lesquelles les différences de température entre l'hiver et l'été sont plus limitées dans les régions sous influence océanique que dans les régions continentales (loin de l'océan).

Les eaux restent transparentes à de grandes profondeurs pour les radiations vertes et bleues. C'est l'une des raisons pour lesquelles les lacs ou les océans, surtout si leurs eaux sont claires, sont verts (moins profonds) ou bleus (plus profonds). Les eaux ne sont transparentes à la photosynthèse-radiation que sur une épaisseur qui varie, en moyenne, de 10 à 50 mètres (zone euphotique).

Une molécule particulièrement stable

La constante diélectrique élevée de l'eau explique pourquoi les substances qu'elle dissout facilement se trouvent librement sous forme d'ions. La molécule d'eau est particulièrement stable parce que les atomes d'hydrogène et d'oxygène se lient avec un seul électron. En effet, les atomes d'hydrogène possèdent deux électrons et celui de l'oxygène en possède huit sur sa couche périphérique. C'est cette saturation de la couche externe de la molécule qui lui confère sa grande stabilité.

Même si la couche électronique extérieure reste saturée, les électrons ont tendance à migrer vers l'oxygène (O^2) en laissant l'hydrogène (H^+). Cette "disponibilité" électronique potentielle rend la molécule d'eau très raffinée pour de multiples substances qu'elle peut ainsi dissoudre.

De plus, le déséquilibre électronique a pour effet de rendre possible les liaisons entre l'atome d'hydrogène d'une molécule et l'atome d'oxygène d'une autre molécule (liaison hydrogène). En effet, une molécule d'eau s'entoure de quatre autres molécules constituant un tétraèdre dont les atomes d'oxygène occupent les sommets.

Cette liaison hydrogène, faible par rapport à la liaison covalente, est suffisante pour qu'à basse température, l'arrangement "cristallin" en tétraèdre soit permanent dans la glace et soit partiellement maintenu dans l'eau liquide. De $25^{\circ}C$ à $30^{\circ}C$, les liaisons hydrogène perdent beaucoup de leur efficacité jusqu'à ce qu'elles n'existent plus dans l'eau chaude ou bouillante et naturellement dans la vapeur. C'est l'existence de ce lien hydrogène qui explique pourquoi il est nécessaire de fournir beaucoup d'énergie pour vaporiser l'eau ; pour ce faire, il faut d'abord rompre ces liens dits faibles.

Le support pH

Il arrive qu'un atome d'oxygène d'une autre molécule capture un atome d'hydrogène d'une molécule d'eau. Deux molécules d'eau donneront donc naissance à un ion OH^- et un autre H_3O^+ (hydronium). Dans l'eau pure, il y a le même nombre d'ions OH^- et H_3O^+ . Mais si une substance dissoute donne un excès d'ions OH^- , la solution devient basique ; si cette autre substance donne un excès d'ions H_3O^+ , la solution devient acide.

Le pH reflète la concentration des ions H_3O^+ dans une solution : 0 à 7 acide ; 7 neutre ; 7 à 14 basique ou alcaline.

1.7.3 Les états de l'eau

L'eau peut exister dans les états suivants :

- **solide** : c'est l'état de glace ; les molécules d'eau sont parfaitement organisées de manière à former quelque chose de dur et de solide ;
- **liquide** : c'est l'eau des rivières, de l'océan, du robinet ; les molécules d'eau sont un peu dans tous les sens, mais proches les unes des autres ;
- **gazeux** : ce sont les nuages, la vapeur de la cuisinière à pression ; les molécules d'eau sont désordonnées et très espacées les unes des autres.

L'eau peut changer d'état à tout moment, mais certaines conditions doivent être remplies. Selon la température, l'eau peut prendre différentes formes. Par exemple, pour que l'eau passe de l'état liquide à l'état solide, la température doit descendre en dessous de $0^{\circ}C$ (zéro degré Celsius).

Ce phénomène est réversible, c'est-à-dire que si la température devient supérieure à $0^{\circ}C$, l'eau redevient liquide. Mais le passage d'un état à l'autre n'est pas immédiat : à $0^{\circ}C$, il y aura un peu d'eau liquide et un peu d'eau solide, jusqu'à ce que toute l'eau liquide devienne solide.

Les passages d'un état à l'autre portent des noms :

- **la condensation** : c'est le passage de l'état gazeux à l'état liquide ; il y a aussi la condensation solide, qui est le passage de l'état gazeux à l'état solide, sans passer par la phase liquide ;
- **l'évaporation** : c'est le passage de l'état liquide à l'état gazeux ;
- **la fusion** : c'est le passage de l'état solide à l'état liquide ;
- **la sublimation** : c'est le passage direct de l'état solide à l'état gazeux ; cela se produit dans certaines conditions de pression ; et
- la solidification : c'est le passage de l'état liquide à l'état solide.

1.7.4 Ressources mondiales en eau

Presque toute l'eau de la planète est salée ou gelée en permanence. L'eau accessible et nécessaire à la vie humaine, c'est-à-dire douce et liquide, ne représente que 0,0103% des réserves totales de la planète bleue.

Réservoirs d'eau sur Terre

L'eau de pluie a des tendances variables : sur un an et dans le monde entier - 11% s'infiltrent, 24% ruissellent et 65% s'évaporent. L'eau est présente dans quatre grands réservoirs :

- l'hydrosphère avec :
- d'une part, les mers et les océans ; et
- d'autre part, les eaux continentales, qu'elles soient superficielles ou souterraines ;
- l'atmosphère ; et,
- la biosphère.

Les seules quantités d'eau que l'on peut aujourd'hui estimer sont celles contenues dans les quatre grands réservoirs de l'hydrosphère, à savoir les mers et les océans, les eaux continentales (de surface et souterraines), l'atmosphère et la biosphère. Les volumes les plus difficiles à évaluer sont ceux des eaux souterraines de la croûte terrestre, dont les estimations varient, selon les différents auteurs, en fonction de l'épaisseur de la croûte qu'ils considèrent.

L'eau existe aussi dans le manteau terrestre : elle est assimilée à celle des basaltes des MORB (dorsales océaniques) soit 3 000 ppm. L'eau est donc répartie entre l'eau douce et l'eau salée. L'eau salée est de loin majoritaire : elle représente 97% du volume d'eau de la planète bleue. L'eau est définie comme fraîche si sa teneur en minéraux dissous est inférieure à 1 mg/l. Les glaciers et les eaux souterraines représentent 99,9 % de l'eau douce.

Dans l'ensemble, la quantité totale d'eau dans l'hydrosphère reste constante. Le volume des eaux océaniques a très peu changé en un milliard d'années. Toute perte d'eau par l'un ou l'autre des réservoirs est compensée par un gain d'eau par un autre réservoir,

Tableau 2. Réservoirs d'eau mondiaux en km³

Réservoirs	Réserves d'eau (km ³)
Océans	1 350 000 000
Eaux continentales	35 976 700
Glace	27 500 000
Eaux souterraines	8 200 000
Mers intérieures	105 000
Lacs d'eau douce	100 000
Humidité du sol	70 000
Rivières	1 700
Atmosphère (humidité de l'air)	13 000
Biosphère (cellules vivantes)	1 100

Débit entre les réservoirs d'eau

L'évaporation est une transition progressive de l'état liquide à l'état gazeux. Ce phénomène est donc une vaporisation progressive qui a pour effet d'absorber des calories et donc de réduire la température de l'environnement. Lorsqu'il y a un volume libre au-dessus d'un liquide, une fraction des molécules composant le liquide est sous forme gazeuse. A l'équilibre, la quantité de matière gazeuse définit la pression de vapeur saturée dans le cas d'un liquide pur (solvant), qui dépend de la température. Cette pression peut être partielle ou totale. Lorsque la pression partielle de la vapeur dans le gaz est inférieure à la pression de vapeur saturée et que cette dernière est elle-même inférieure à la pression ambiante totale, une partie des molécules passe de la phase liquide à la phase gazeuse : c'est l'évaporation, qui nécessite de fournir la chaleur latente correspondante, qui refroidit le liquide.

L'évapotranspiration (ET) est la quantité d'eau transférée à l'atmosphère par évaporation au niveau du sol et par la transpiration des plantes. C'est le transfert à l'atmosphère de l'eau du sol, de l'eau interceptée (Aussenac et Boulangeat, 1980) par la canopée et les plans d'eau. La transpiration est définie par le transfert d'eau dans la plante et la perte de vapeur d'eau dans les stomates de ses feuilles. Un changement dans la végétation peut entraîner des changements dans le rapport d'évapotranspiration (moyen ou maximum) (Zhang et al., 2001 ; Yang et al., 2015 ; Ying et al., 2018) et des changements importants dans le cycle de l'eau et la congestion du sol (Bosch et Hewlett, 1982 ; Lixin et al., 2018), mais dans une végétation dense (forêt, mégaphorbiae), une partie de l'eau retournera dans l'écosystème sous forme de rosée. Elle modifie ou explique certains microclimats et a des effets sur le climat à l'échelle biogéographique (Shukla et Mintz, 1982 ; Zeng et al., 2018). C'est une " magnitude " qui concerne également la pratique de l'hydrologie (Morton, 1983 ; Lei et al., 2017).

Le concept d'évapotranspiration et ses mesures sont apparus dans les années 1950 (Thornwaite et Mather, 1957). Il est important d'expliquer et de quantifier les transferts d'eau dans les écosystèmes, de calculer les besoins en eau des forêts, des cultures agricoles et plus généralement pour la gestion de l'eau dans les zones de végétation naturelle ou semi-naturelle, ou d'estimer l'importance des bulles de chaleur urbaines.

Les précipitations désignent tous les météores qui tombent dans une atmosphère et peuvent être solides ou liquides selon la composition et la température de l'atmosphère. Ce terme météorologique est toujours au pluriel et désigne les hydrométéores (cristaux de glace ou gouttelettes d'eau) sur Terre qui, ayant été soumis à des processus de condensation et d'agrégation au sein des nuages, sont devenus trop lourds pour rester en suspension dans l'atmosphère et tombent au sol ou s'évaporent dans les virga avant de l'atteindre. Par extension, le terme peut également être utilisé pour des phénomènes similaires sur d'autres planètes ou lunes ayant une atmosphère.

Le ruissellement désigne, en hydrologie, le phénomène d'écoulement de l'eau à la surface du sol. Il s'oppose au phénomène d'infiltration. Ce phénomène se produit lorsque l'intensité des précipitations dépasse la capacité d'infiltration et de rétention de la surface du sol. Le ruissellement diffus ou fuite d'eau est un lessivage de surface (lessivage en nappe) ou en filet divaguant qui, par l'érosion pluviale ("effet d'éclaboussure", projection de gouttes d'eau) et l'érosion latérale, exporte de fines particules et met en évidence les cailloux. Le ruissellement est conditionné par l'importance de l'érosion hydrique, qui dépend de plusieurs facteurs : l'érosivité des pluies, l'infiltrabilité, l'érosion du sol, la pente du sol, la couverture du sol (couverture végétale, pratiques culturales).

L'infiltration désigne, en hydrologie et en sciences de la Terre, le processus par lequel l'eau pénètre dans le sol ou d'autres substrats à partir de la surface du sol ou du substrat. Si le taux de précipitation dépasse le taux d'infiltration (et d'évaporation et d'évapotranspiration), un phénomène de ruissellement se produit généralement, à moins qu'il n'y ait une barrière physique qui formera un réservoir d'eau (naturel ou artificiel), qui peut, si son fond n'est pas imperméable, jouer un rôle tampon en alimentant de façon plus permanente le phénomène d'infiltration (et donc l'alimentation de la nappe phréatique et des sources qu'elle produit si nécessaire). L'infiltration est liée à la conductivité hydraulique à saturation du sol près de la surface.

1.7.5 Pluies acides, aérosols, rejets énergétiques

Pluie acide

Connue depuis le milieu du XIX^e siècle, la pollution acide est le résultat d'un ensemble de mécanismes qui provoquent le transfert de substances acides ou acidifiantes à l'interface air-sol-végétation. Elle est générée par des polluants (principalement le soufre, l'azote et l'ammoniac), qui proviennent principalement d'émissions anthropogéniques telles que la combustion de combustibles fossiles. En l'absence de pollution, l'eau de pluie est légèrement acide avec un pH proche de 5,6 en moyenne. Cette acidité est le résultat de la dissolution du CO₂ de l'air ainsi que de la présence d'acide sulfurique et d'acide nitrique. Plusieurs réactions chimiques sont à l'origine de la formation d'acide sulfurique dans l'atmosphère :

- dans l'atmosphère, le dioxyde de soufre (SO₂), provenant par exemple des émissions volcaniques, donne naissance à de l'acide sulfureux (H₂SO₃) au contact de la vapeur d'eau. L'acide sulfureux instable se transforme en sulfurique (H₂SO₄). Actuellement, une grande quantité de dioxyde de soufre provient des activités humaines.
- SO₂ en présence du radical OH⁻ se transforme en anhydride sulfurique SO₃, ce qui donne aussi de l'acide sulfurique en contact avec l'eau; la combinaison de dioxyde de soufre et de dioxyde d'azote en présence d'eau donne: $SO_2 + NO_2 + H_2O \rightarrow H_2SO_4 + NO$; et,
- au-dessus des océans, l'oxydation photochimique du sulfure de diméthyle est transformée en dioxyde de soufre et en sulfates.

Si l'acide sulfurique contribue pour plus des deux tiers à l'acidification des précipitations, l'acide nitrique HNO₃ formé par l'oxydation des oxydes d'azote provenant de la combustion industrielle joue également un rôle.

Aérosols

Un aérosol est une suspension de fines particules solides ou de gouttelettes liquides, dans l'air ou un autre gaz. Les aérosols peuvent être naturels ou anthropiques. Le terme aérosols couvre un large spectre de petites particules, comme les particules de sel marin, les poussières minérales, le pollen, les gouttes d'acide sulfurique et bien d'autres. Les aérosols ont un grand impact sur plusieurs phénomènes atmosphériques, sur le climat de la Terre et sur la biosphère. Pendant leur séjour dans l'atmosphère, les particules solides et liquides de différentes tailles influencent le rayonnement et le bilan énergétique de la surface de la Terre, le cycle hydrologique, la circulation atmosphérique et l'abondance des gaz à l'état de traces. Les particules d'aérosol peuvent être caractérisées par leur concentration, leur distribution de taille, leur structure et leur composition chimique, qui sont très variables dans le temps et dans l'espace.

Les exemples d'aérosols naturels sont le brouillard, la poussière, les exsudats forestiers et la vapeur de geyser. Les exemples d'aérosols anthropiques sont la brume sèche, les polluants atmosphériques particulaires et la fumée. Les particules liquides ou solides ont un diamètre, la plupart du temps inférieur à 1 µm environ ; les particules plus grosses ayant une vitesse de sédimentation importante font du mélange une suspension, mais la distinction n'est pas nette. Dans la conversation générale, le terme "aérosol" désigne habituellement un aérosol qui distribue un produit de consommation à partir d'une boîte de conserve ou d'un contenant semblable. Les autres applications technologiques des aérosols comprennent la dispersion des pesticides, le traitement médical des maladies respiratoires et une technologie convaincante. Les maladies peuvent également se propager par le biais de petites gouttelettes dans l'air expiré, également appelées aérosols (ou parfois bioaérosols).

Les émissions de gaz à effet de serre ne sont pas les seules activités humaines qui modifient le climat. Il faut ajouter l'émission de poussières et d'aérosols (qui sont de petites particules solides ou liquides en suspension dans l'atmosphère) provenant de l'activité industrielle (libération de molécules contenant du soufre), de la circulation, des feux de forêt ou de l'érosion des sols. Parmi les composés du soufre

présents à l'état de traces dans l'atmosphère libre, le dioxyde de soufre (SO₂) et le diméthyle de soufre (DMS) jouent un rôle essentiel dans la dynamique de l'équilibre radiatif de la Terre car ils subissent des transformations physico-chimiques complexes dont les produits finaux sont des aérosols submicroniques.

Une des manifestations des aérosols constitués de petites particules est de refroidir le système terrestre soit en réfléchissant directement le rayonnement solaire entrant dans l'atmosphère (effet d'albédo), soit en augmentant le nombre de noyaux de condensation dans les nuages pour qu'ils réfléchissent davantage le rayonnement solaire. Ces effets directs et indirects peuvent être un facteur de refroidissement de la surface de la Terre qui agit en opposition à l'effet de serre. En contribuant à réduire la température à la surface de la Terre, les aérosols limitent également la photosynthèse, la respiration et la méthanogenèse. Ces molécules de soufre contribuent également à acidifier les pluies et, lorsqu'elles sont injectées dans la stratosphère, catalysent la destruction de l'ozone au-dessus des pôles.

Les aérosols sont en principe précipités par la pluie après quelques semaines et ne s'accumulent pas dans l'atmosphère.

Sources de particules d'aérosols

Les aérosols proviennent d'une grande variété de sources naturelles et anthropiques. Diverses particules d'aérosols sont générées par une combinaison de processus physiques, chimiques et biologiques. En fonction des processus de formation, on peut distinguer différents types de sources. Les particules primaires sont émises directement dans l'atmosphère sous forme de liquides ou de solides, à travers une large gamme de procédés (Conversion des masses en particules, BPC). Certaines particules sont formées par la nucléation et la condensation de gaz précurseurs (Conversion des gaz en particules, GPC), et d'autres par les réactions de la substance dissoute dans les gouttelettes du nuage. Lors de la conversion de masses en particules, de nombreuses particules d'aérosol différentes sont générées à partir de matériaux de base solides ou liquides. Les océans et les régions continentales sèches sont les deux principales sources naturelles d'aérosols atmosphériques. Une grande quantité de gouttelettes d'eau et de sels marins est libérée dans l'atmosphère par les embruns et les bulles d'air à la surface des mers.

Lorsqu'une gouttelette d'eau s'évapore, le sel reste en suspension dans l'atmosphère et forme une particule d'aérosol en temps réel (p. ex. chlorure de sodium (NaCl), sulfate de magnésium (MgSO₄)). Une autre source importante de particules primaires est la poussière minérale soufflée par le vent provenant des zones continentales sèches, comme les déserts et les régions semi-arides. D'autres sources naturelles sont les cendres volcaniques, les particules d'argile provenant de l'érosion du sol et les matériaux biologiques (débris végétaux, pollen, etc.). En outre, différentes particules sont formées par des activités anthropiques, comme la combustion de la biomasse, la combustion de combustibles fossiles ou les activités industrielles.

Les particules d'aérosol provenant de la conversion de gaz en particules (p. ex. sulfates, matières organiques secondaires) ne sont pas émises directement, mais sont formées dans l'atmosphère à partir de précurseurs gazeux. Deux processus de base peuvent provoquer la formation de ces particules secondaires : une particule existante peut croître par la condensation du matériau à partir de la phase gazeuse, ou une nouvelle particule peut se former par nucléation homogène.

Certaines autres particules peuvent se former ou se transformer par les gouttelettes des nuages. Lorsqu'un noyau de condensation de nuage en tant que particule d'aérosol se dissout dans l'eau, puis réagit avec d'autres substances, il peut construire une nouvelle substance d'aérosol et former une nouvelle particule d'aérosol lorsque l'eau s'évapore.

Processus de nettoyage

Les aérosols peuvent être éliminés de l'atmosphère de différentes façons en fonction de leur taille et de leur disposition. Les deux principaux types de processus d'élimination des particules d'aérosol sont le dépôt humide et le dépôt sec (voir p. ex. Sportisse, 2007 ; Petroff et al., 2008). En moyenne mondiale annuelle, environ 80 à 90 % des particules d'aérosol sont éliminées de l'atmosphère par le piégeage dans les nuages et sous les nuages (dépôt humide). Les parties restantes des particules sont éliminées par différentes méthodes de dépôt sec, à savoir :

Les processus de dépôt humide (le principal puits de particules d'aérosols atmosphériques) : Pluie et lessivage : une partie des gouttelettes du nuage forme des précipitations qui atteignent la surface de la Terre en enlevant les aérosols du nuage et de la colonne d'air sous le nuage.

Dépôt de nuages : forme de dépôt d'aérosols dans les écosystèmes de haute altitude dû à l'interception des gouttelettes de nuages par la végétation.

Processus de dépôt sec (moins important à l'échelle mondiale) :

- Diffusion turbulente : pour les particules plus grosses (avec un diamètre supérieur à $1\mu\text{m}$), la diffusivité des tourbillons devient importante.
- Décantation gravitationnelle (sédimentation) : les plus grosses particules sont davantage influencées par la gravité et retombent à la surface. Ce processus devient de plus en plus important pour les particules de taille supérieure à $1\mu\text{m}$.
- Impaction : si une particule ne peut pas suivre le courant autour d'un obstacle (par exemple une particule plus grosse), une petite particule peut frapper cet obstacle.
- Interception : si un objet n'est pas directement sur le chemin d'une particule en mouvement dans le flux gazeux (comme dans le cas d'un impact), mais que la particule s'approche du bord des obstacles, elle peut être collectée par l'obstacle.
- Diffusion brownienne : les petites particules en mouvement aléatoire se heurtent entre elles (coagulation thermique) ou à des obstacles plus importants. Ce processus domine pour les tailles de particules inférieures à $0,2\mu\text{m}$. Les coefficients de diffusion brownienne augmentent à mesure que le diamètre des particules diminue. De plus, dans une couche très mince (environ 1mm) sur la surface, la diffusion brownienne devient plus importante pour les particules plus grosses également.



Résumé

La session a porté sur l'eau sous toutes ses formes, ses caractéristiques et ses différents états. Les différents réservoirs de l'eau sont présentés ainsi que les questions relatives aux précipitations, au ruissellement et à l'infiltration. Les problèmes environnementaux actuels ont également été abordés par le biais des pluies acides et des aérosols.

1.8 Phénomènes météorologiques



Objectifs

A l'issue de cette formation, les apprenants seront en mesure de

- Interpréter les données et les événements météorologiques ;
- Décrire les phénomènes à la base de la formation des nuages ; et
- Expliquer l'importance des phénomènes météorologiques dans les processus climatiques.



Activité 1 (Remue-méninges) (20 minutes)

- Qu'est-ce que la météorologie ?
- Énumérez les principaux phénomènes météorologiques.
- Expliquer la formation de nuages au-dessus des océans et des zones d'altitude (comme les montagnes).

1.8.1 Formation de nuages

Un nuage est formé par un ensemble de gouttelettes d'eau ou de cristaux de glace en suspension dans l'air. L'apparence du nuage dépend de la lumière qu'il reçoit et des particules qui le composent. Un nuage se forme par condensation de vapeur d'eau lorsque l'air humide se refroidit. Le refroidissement est causé soit par le contact avec une surface plus froide, soit – le plus souvent – selon le processus.

1.8.2 Convection

Le réchauffement du sol se transmet à l'air, qui, dilaté et donc plus léger, commence à s'élever et se refroidit par détente. Les nuages de convection apparaissent aussi facilement qu'il y a de l'air froid en altitude (masse d'air instable). Les bases de ces nuages sont horizontales, leurs sommets évoluent en fonction de la température. Ils sont fréquents sur terre pendant l'été et sur mer pendant l'hiver.

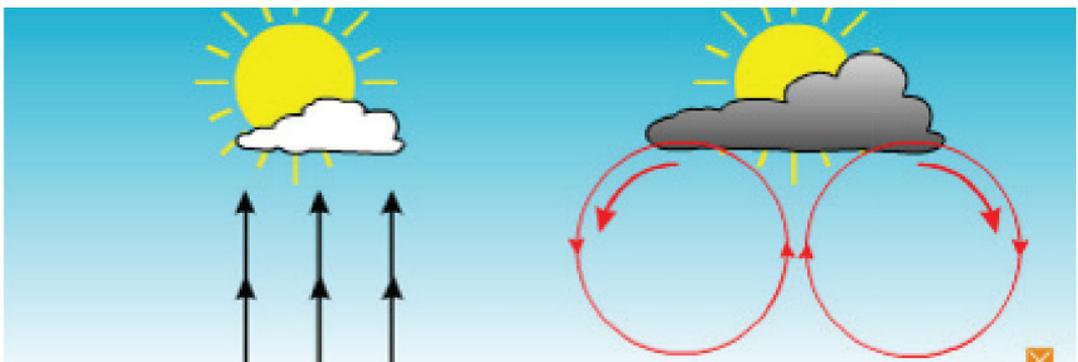


Figure 6. Phénomène de convection

<http://eduscol.education.fr/obter/appliped/circula/theme/atmos32.htm>

1.8.3 Soulèvement orographique

Le relief au sol oblige la masse d'air à s'élever sur sa face au vent. Lorsque la masse d'air augmente, sa température diminue et peut atteindre le seuil de saturation. Un nuage se forme sur la pente exposée au vent et se dissipe sur la pente sous le vent.

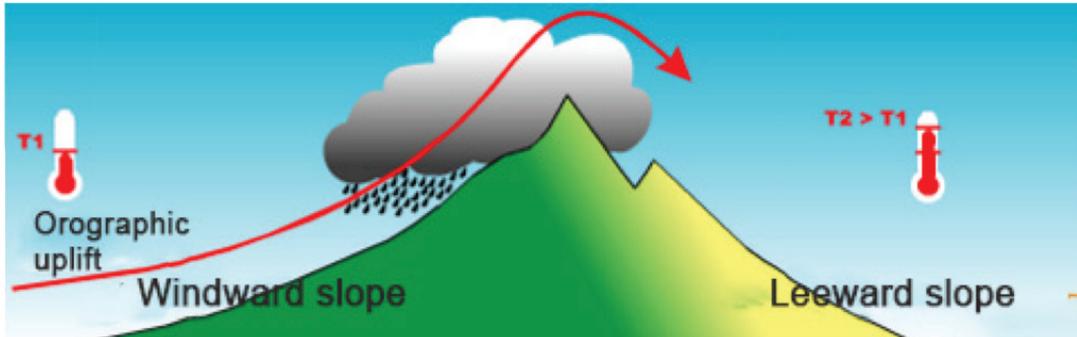


Figure 7. Phénomène de soulèvement orographique.

<http://eduscol.education.fr/obter/appliped/circula/theme/atmos32.htm>

1.8.4 Elévation de front

Dans une perturbation en mouvement, l'air chaud est soulevé à l'avant par la masse d'air froid antérieur (front chaud). L'air froid postérieur rejette l'air chaud à haute altitude (front froid). Des nuages se forment le long des fronts.

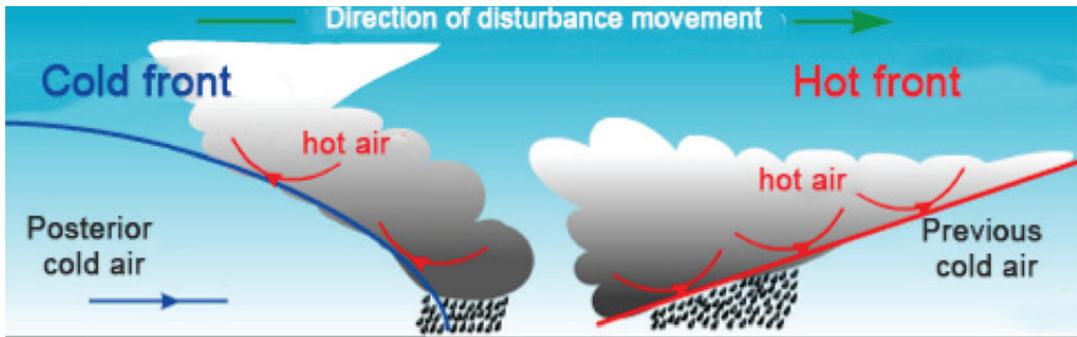


Figure 87. Phénomène d'élévation du front

<http://eduscol.education.fr/obter/appliped/circula/theme/atmos32.htm>, consulté le 7 août 2016.

1.8.5 Vents forts

Le vent est créé par des différences de température et de pression. La pression au sol est élevée (H) si l'air lourd et froid descend et faible si l'air chaud et léger monte. L'air chaud (plus léger) s'élève naturellement dans les couches supérieures de l'atmosphère pour créer une zone de basse pression "L". Cependant, l'air chaud attire une autre masse d'air : la zone de haute pression. C'est de cette différence de pression entre les deux masses d'air que provient le vent, simplement parce que l'air contenu dans le "H" a naturellement tendance à se précipiter dans le "L" qui lui est adjacent. L'air qui se déplace est le vent.

La grande cause de ce phénomène est le soleil. Il chauffe les mers et les continents mais pas au même rythme. Une fois chauffées, elles réchauffent les masses d'air qui les surplombent. L'air se déplace alors, car il augmente de volume lorsqu'il est chauffé. Il s'allège et s'élève. Un exemple à l'échelle de la Terre

de ce déplacement de masses d'air est que l'air chaud monte de l'équateur et que les masses d'air plus froides venant des pôles viennent le remplacer (ce sont les alizés).

Voici des exemples de vents dans la vie de tous les jours :

- l'ouverture d'une porte crée une différence de température, donc un courant d'air
- Si vous laissez tomber une plume au-dessus d'un radiateur de chauffage, elle s'élèvera.

Le vent est un courant d'air qui peut être représenté comme la grande roue d'une fête foraine : l'air chaud et léger monte, l'air froid et lourd descend. Le mouvement de l'air, comme celui de la grande roue, est circulaire. C'est un mouvement perpétuel : l'air monte et descend, il se réchauffe et se refroidit. Près du sol, le vent a une légère tendance à être dévié vers les basses pressions. Ainsi, le vent est un déplacement d'air représenté par une direction (celle d'où vient le vent) et une vitesse. La vitesse est généralement exprimée en km/h, mais le Système international utilise comme unité les m/s et les marins et pilotes les nœuds (1 nœud = 1,852 km/h). La mesure du vent est toujours une moyenne sur une période de temps donnée.

En météorologie, nous utilisons :

- le vent moyen sur 10 minutes mesuré à 10 mètres de hauteur ; et
- la rafale (ou le vent instantané), une moyenne d'environ 0,5 seconde.

Les origines des vents violents sont les tempêtes et les orages.

Tempêtes

En mer, une tempête est une dépression atmosphérique qui génère un vent moyen supérieur à 90 km/h. Sur terre, on parle de tempête lorsque la dépression génère des rafales de plus de 90 km/h. En France, par exemple, le diamètre des tempêtes est inférieur à 1 000 km. Les tempêtes en provenance de l'Atlantique se déplacent rapidement, jusqu'à 100 km/h. A un moment donné, leur durée ne dépasse pas quelques heures.

Orages

Ils provoquent des vents forts et courts (quelques minutes) sur une zone restreinte (quelques kilomètres carrés). Les cumulonimbus, nuages caractéristiques de la tempête, animés par de puissants mouvements verticaux, créent des rafales de direction imprévisible.

En montagne, le passage du vent sur les sommets peut créer de violentes rafales sous le vent, vers le bas. Les trombes d'eau et les tornades sont des phénomènes tourbillonnants liés aux cumulonimbus, nuages de tempêtes. La trombe (quelques dizaines de mètres de diamètre) est plus petite que la tornade (quelques centaines de mètres). Leur durée de vie n'excède pas une heure, mais plusieurs phénomènes peuvent se succéder.

Dans le domaine de la météorologie maritime, les services météorologiques diffusent des avertissements de vent fort à 50 km/h (force 7, échelle de Beaufort) dans les zones proches de la côte (jusqu'à 35 km au large). Au-delà de cette bande côtière, des avertissements de vent fort sont diffusés à partir de 62 km/h (force 8, échelle de Beaufort, avertissement de coups de vent).

Dans les régions tropicales, les vents forts sont générés par des phénomènes cycloniques.

1.8.6 Quelques concepts en Météorologie

Le changement climatique correspond à une modification durable (de la décennie au million d'années) des paramètres statistiques (paramètres moyens, variabilité) du climat global de la Terre ou de ses différents climats régionaux. Ces changements peuvent être dus à des processus intrinsèques à la Terre, à des forces externes ou à des activités humaines.

Dans le contexte récent de la politique écologique, le terme " changement climatique " ne fait référence qu'aux changements du climat actuel qui sont apparus tout au long du 20e siècle et qui sont attendus au 21e siècle. Dans les travaux du GIEC, le terme " changement climatique " désigne tout changement au fil du temps, qu'il soit dû à la variabilité naturelle ou aux activités humaines. Au contraire, dans la Convention-cadre des Nations Unies sur le changement climatique, le terme ne désigne que les changements dus aux activités humaines. La Convention cadre utilise le terme " variabilité climatique " pour désigner le changement climatique d'origine naturelle.

- Climat : au sens étroit, le climat est généralement défini comme le temps moyen, ou plus rigoureusement, comme la description statistique en termes de moyenne et de variabilité des quantités pertinentes sur une période de temps allant de quelques mois à des milliers ou des millions d'années. La période classique est de 30 ans, telle que définie par l'Organisation Météorologique Mondiale (OMM). Ces quantités sont le plus souvent des variables de surface comme la température, les précipitations et le vent. Le climat au sens large est l'état, y compris une description statistique, du système climatique.
- Le changement climatique désigne une variation statistiquement significative de l'état moyen du climat ou de sa variabilité, persistant pendant une période prolongée (généralement des décennies ou plus). Le changement climatique peut être dû à des processus internes naturels ou à des forces externes, ou à des changements anthropiques persistants dans la composition de l'atmosphère ou dans l'utilisation des terres.
- Variabilité climatique : la variabilité climatique désigne les variations de l'état moyen et d'autres statistiques (telles que les écarts types, l'apparition d'extrêmes, etc.) du climat à toutes les échelles temporelles et spatiales au-delà de celles des événements météorologiques individuels. La variabilité peut être due à des processus internes naturels au sein du système climatique (variabilité interne), ou à des variations de forces externes naturelles ou anthropiques (variabilité externe).
- Météorologie : le temps qu'il fait dans une région donnée à un moment donné.
- Météo : l'état de l'atmosphère à un endroit et à un moment précis en ce qui concerne la chaleur, les nuages, la sécheresse, le soleil, le vent, la pluie, etc.



Résumé

Tous les phénomènes atmosphériques importants ont été abordés au cours de cette session. Cela soulève la question des vents, de la formation des nuages, des phénomènes extrêmes tels que les tempêtes et les orages. L'accent est également mis sur la variabilité du climat et les différences avec le changement climatique.

Références

- Aussenac G. & C. Boulangeat, 1980. Interception des précipitations et évapotranspiration réelle dans des peuplements de feuillus (*Fagus sylvatica*) et de résineux (*Pseudotsuga menziesii*). In: Annales des Sciences forestières. EDP Sciences.
- Blin et al., 2007. La pollution photochimique in «Rapport analytique sur l'état de l'environnement wallon 2006-2007». 332-341.
- Bordet J., 2007. L'eau dans son environnement rural. Assainissement des agglomérations. Paris: Johanet.
- Bosch J.M. & J. Hewlett, 1982. A review of catchment experiments to determine the effect of vegetation changes on water yield and evapotranspiration. *J. of Hydrology* 55:3-23.
- Lei Sun, Lizhe Yang, Lu Hao, Di Fang, Kailun Jin and Xiaolin Huang. 2017. Hydrological Effects of Vegetation Cover Degradation and Environmental Implications in a Semiarid Temperate Steppe, China. *Sustainability* 9, 281; doi:10.3390/su9020281
- Lixin Wang, Xiaohua Wei, Kevin Bishop, Alison D. Reeves, Nadia Ursino and Rita Winkler. 2018. Vegetation changes and water cycle in a changing environment. *Hydrol. Earth Syst. Sci.* 22: 1731–1734
- Mahieu E., 2007. La destruction de la couche d'ozone et ses implications en Région wallonne. Ministère de la Région Wallonne-DGRNE.
- Morton F.I., 1983. Operational estimates of areal evapotranspiration and their significance to the science and practice of hydrology. *Journal of Hydrology* 66:1-76.
- OMM/WMO (World Meteorological Organization), 2003. Scientific Assessment of Ozone Depletion: 2002, Global Ozone Research and Monitoring Project. Report 47, Geneva.
- OMM/WMO (World Meteorological Organization), 1999. Scientific Assessment of Ozone Depletion: 1998, Global Ozone Research and Monitoring Project. Report 44, Geneva.
- Sivasakthivel.T and K.K.Siva Kumar Reddy. 2011. Ozone Layer Depletion and Its Effects: A Review. *International Journal of Environmental Science and Development*. 2 (1): 30-37
- Shukla J. & Y. Mintz, 1982. Influence of land-surface evapotranspiration on the Earth's climate. *Science* 215: 1498-1501.
- Thornwaite C. & J. Mather, 1957. Instructions and tables for computing potential evapotranspiration and the water balance. *Climatology* 10:183-243.
- Yang H, Luo P, Wang J, Mou C, Mo L, Wang Z, et al. (2015) Ecosystem Evapotranspiration as a Response to Climate and Vegetation Coverage Changes in Northwest Yunnan, China. *PLoS ONE* 10 (8): e0134795. doi:10.1371/journal.pone.0134795
- Ying Wang, Yuanbo Liu and Jiaxin Jin. 2018. Contrast Effects of Vegetation Cover Change on Evapotranspiration during a Revegetation Period in the Poyang Lake Basin, China. *Forests* 9, 217; doi:10.3390/f9040217
- Zhang L., W. Dawes & G. Walker, 2001. Response of mean annual evapotranspiration to vegetation changes at catchment scale. *Water Resources Research* 37:701-708.
- Zhenzhong Zeng, Shilong Piao, Laurent Z. X. Li, Tao Wang, Philippe Ciais, Xu Lian, Yuting Yang, Jiafu Mao, Xiaoying Shi, and Ranga B. Myneni. 2018. Impact of Earth Greening on the Terrestrial Water Cycle. *American Meteorological Society* 31: 2633-2650. DOI: 10.1175/JCLI-D-17-0236.1
- www.gwp.org.

Chapitre 2 : Écologie générale

2.0 Aperçu du chapitre

Le globe terrestre est composé de plusieurs écosystèmes dont la stabilité ou l'évolution dépend de plusieurs facteurs, tant endogènes qu'exogènes. Au sein des écosystèmes, les interactions entre les organismes et leur environnement peuvent entraîner des changements environnementaux. De même, l'influence de facteurs externes (par exemple, les éléments atmosphériques) peut entraîner des changements irréversibles dans l'écosystème ou dans les interactions entre les composantes de l'écosystème. Ce chapitre présente les concepts d'écologie, de biogéographie et de biodiversité.



Objectifs

A la fin de ce chapitre, les apprenants seront en mesure de :

- a) Définir l'écologie, son but et ses méthodes d'étude ;
- b) Définir l'écosystème, sa composition, sa structure, l'organisation de ses composantes et son fonctionnement.
- c) Identifier les facteurs et les indicateurs de perturbation des écosystèmes, les méthodes d'évaluation des perturbations ;
- d) Décrire les types d'écosystèmes forestiers, l'état et l'évolution des écosystèmes, l'état et l'évolution des espèces ;
- e) Définir la biodiversité, les différents niveaux de diversité, les indicateurs de mesure de la biodiversité, les méthodes d'évaluation de la biodiversité et les causes de la dégradation de la biodiversité ;
- f) Définir les services écosystémiques ainsi que les différents types : et,
- g) Définir le stress hydrique, les indicateurs de stress et les réponses, les mécanismes d'adaptation au déficit en eau.



Résultats finaux escomptés

- A la fin de cette formation, les apprenants seront capables de :
- Distinguer les grands écosystèmes terrestres et leur évolution ;
- Expliquer les interactions entre les organismes et leur environnement ;
- Décrire le rôle des forêts dans le changement climatique ; et,
- Identifier les menaces qui pèsent sur les espèces et les écosystèmes.

Contenu

Ce chapitre est structuré en deux sessions d'une durée moyenne de 4 heures chacune. Les détails de ces sessions et le matériel requis sont décrits ci-dessous.

Sessions	Heures requis	Approches	Matériel pédagogique
Concepts de l'écologie et fonctionnement de l'écosystème	4 heures	Échanges itératifs, écosystème, séances de démonstration, sessions questions et réponses, cours théoriques et visites de terrain	Ordinateurs, vidéo projecteur, équipement de terrain
Concepts de biodiversité	4 heures	Cours théoriques, tutoriels, échanges itératifs et visites de marché pour comprendre l'importance de la biodiversité	Ordinateurs, vidéo projecteur

2.1 Concepts d'écologie et fonctionnement des écosystèmes



Objectifs

A l'issue de cette formation, les apprenants seront capables de :

- Décrire les principes fondamentaux de l'écologie ;
- Expliquer les caractéristiques de l'écosystème ;
- Définir les principes du fonctionnement de l'écosystème ; et,
- Démontrer l'équilibre d'un écosystème.



Activité 1 (Travail de groupe) (20 minutes)

Divisez la classe en quatre groupes :

- le premier groupe définira l'écosystème, donnera ses composantes, sa structure et son fonctionnement ;
- le second groupe citera les types d'écosystèmes forestiers, leur évolution, les facteurs et indicateurs de leurs perturbations et les méthodes de leur évaluation ;
- le troisième groupe définira les services écosystémiques et présentera les différents types de services écosystémiques
- le quatrième groupe définira la biodiversité, donnera les causes de sa dégradation et ses méthodes d'évaluation.

2.1.1 Définition de l'écologie

Il existe plusieurs définitions de l'écologie. La plus répandue est " l'étude des interactions entre les organismes vivants et leur environnement, et les organismes vivants entre eux dans des conditions naturelles ". On peut aussi dire que l'écologie est l'étude des interactions qui déterminent la répartition et l'abondance des organismes, ou l'étude des écosystèmes. L'écologie apparaît donc comme la science de l'habitat, étudiant les conditions des organismes vivants et toutes sortes d'interactions qui existent entre eux et leur environnement. Il s'agit de comprendre les mécanismes qui permettent à différentes espèces de survivre et de coexister en partageant ou en se faisant concurrence pour les ressources disponibles (espace, temps, énergie, matière).

2.1.2 Histoire de l'écologie

Pour mieux comprendre l'écologie, on peut se pencher sur l'évolution historique de cette discipline (Frontier et Pichod-Viale, 1993).

- Tout d'abord, elle s'est intéressée aux espèces individuelles lorsqu'elle a tenté de définir les réponses d'une espèce aux facteurs environnementaux (sol et climat, par exemple). Aujourd'hui, ce sujet s'appelle autécologie. Il était question à l'origine d'expliquer la répartition des espèces à différentes échelles (aire de répartition planétaire, répartition due au sol, au climat, à l'altitude, répartition à l'échelle d'une station). L'autécologie a rapidement buté sur un obstacle : la répartition d'une espèce n'est pas seulement due à des facteurs abiotiques mais aussi à d'autres espèces avec lesquelles elle cohabite. Les espèces peuvent en effet interagir (relations prédateurs-proies, compétition, symbiose). Par exemple, la croissance de certaines espèces d'arbres est facilitée par les mycorhizes (champignons symbiotiques).

- En suivant les limites de l'autécologie, nous nous sommes intéressés à une écologie des interactions entre les espèces que nous appelons synécologie.
- Enfin, il a été observé que les organismes vivants modifient le milieu environnant, ce qui crée de nouvelles interactions (indirectes) entre les espèces. Par exemple, un peuplement forestier crée un microclimat, un environnement forestier qui permet à certaines plantes de s'installer (flore forestière typique) et à certains animaux de vivre (oiseaux, par exemple). Cette dernière observation conduit à un système complexe d'interactions entre les espèces et entre les espèces et leur environnement. Cela donne la notion d'écosystème.

2.1.3 Objet et méthodes de l'écologie

Les études écologiques se concentrent conventionnellement sur trois niveaux : l'individu, la population et la communauté.

Un individu est un spécimen d'une espèce donnée.

Une population est un groupe d'individus de la même espèce occupant un territoire particulier à une période donnée.

Chacun de ces trois niveaux fait l'objet d'une division de l'écologie :

- l'individu concerne l'autoécologie : c'est la science qui étudie les relations entre une seule espèce et son environnement ; elle définit les limites de tolérance et les préférences de l'espèce par rapport à divers facteurs écologiques et examine l'action de l'environnement sur la morphologie, la physiologie et l'éthologie ;
- la population concerne l'écologie ou la dynamique des populations : c'est la science qui étudie les caractéristiques qualitatives et quantitatives des populations ; elle analyse les variations d'abondance des diverses espèces afin d'en rechercher les causes et, si possible, de les prévoir ;
- la biocénose concerne la synécologie : c'est la science qui analyse les relations entre les individus appartenant à diverses espèces d'un même groupe et entre ces derniers et leur environnement.

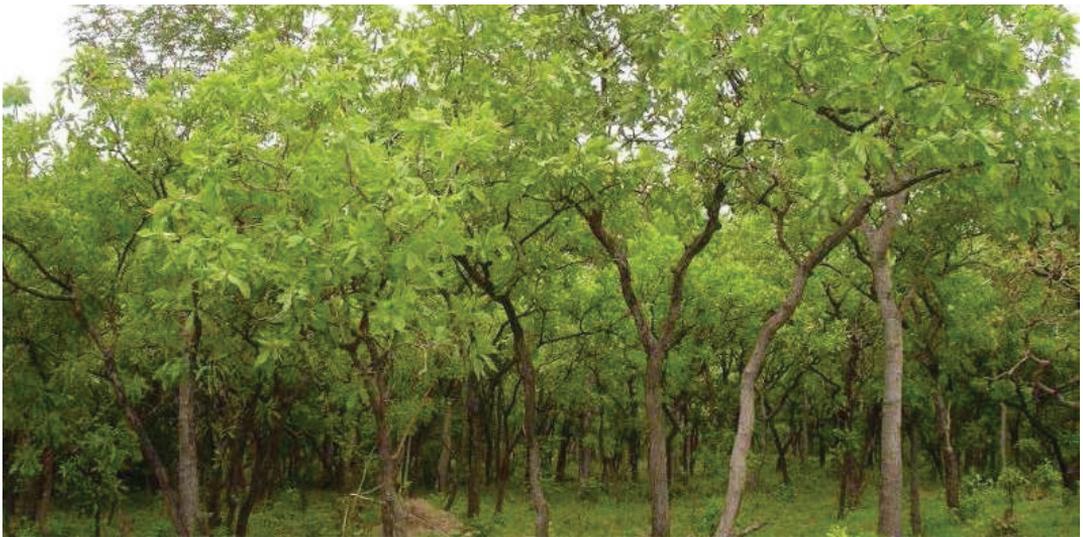


Figure 9. Population de *Terminalia macroptera*. (Crédit : A. Thiombiano)

Une communauté ou biocénose est un ensemble de populations dans un même environnement, des populations animales (zoocénose) et végétales (phytocénose) vivant dans les mêmes conditions environnementales et à proximité les unes des autres.



Figure 10. Vue de la phytocénose dans une formation de savane. (crédit A. Thiombiano)

L'écologie est une science transversale qui puise ses méthodes d'investigation et ses contenus dans plusieurs disciplines telles que la biologie, la physique, la statistique, la climatologie, l'hydrologie, l'océanographie, la chimie, la géologie, la pédologie, la physiologie, la génétique, l'éthologie, etc. Cela fait de l'écologie une science multidisciplinaire.

2.14 Composition, structure et fonctionnement des écosystèmes

Définition des concepts : écosystème, biodiversité, biome, biocénose

L'écosystème est un système fonctionnel formé par une biocénose intégrée dans son environnement abiotique, qui se compose d'un édaphotope (tous les paramètres édaphiques : propriétés physiques et chimiques du sol) et d'un climatope (tous les paramètres climatiques : lumière, précipitations, température).

C'est un système biologique formé par deux éléments inséparables, la biocénose et le biotope. La biocénose est l'ensemble des organismes qui vivent ensemble (zoocénose, phytocénose, microbiocénose, mycocénose) Le biotope (écotope) est le fragment de la biosphère qui fournit à la biocénose l'environnement abiotique nécessaire. Il est également défini comme l'ensemble des facteurs écologiques abiotiques (substrat, " édaphotope " du sol, " climatope " du climat) qui caractérisent le milieu où vit une biocénose spécifique.

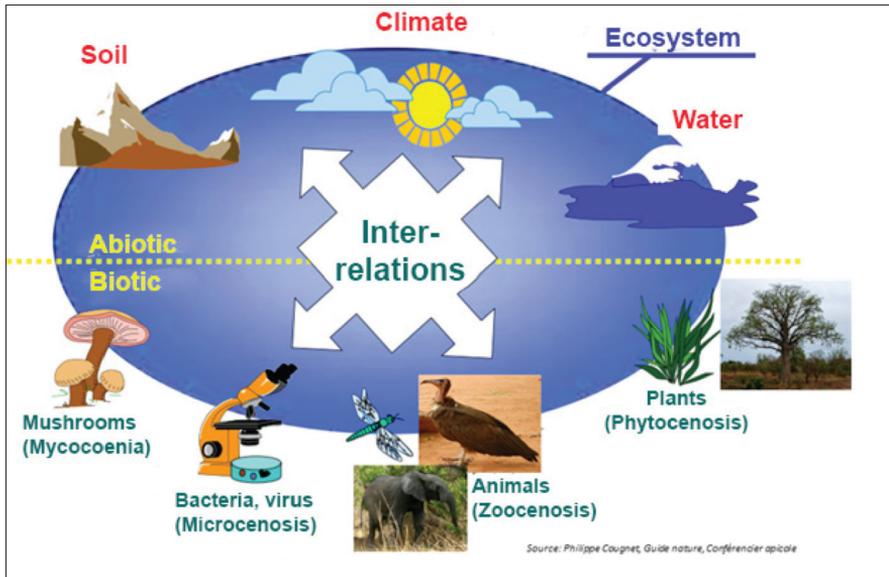


Figure 11. Diagramme symbiotique de l'écosystème. Source : Philippe Cougnet

Organisation des composantes d'un écosystème

Les composantes d'un écosystème forment un ensemble hiérarchique.

Different levels of study in ecologyand associated disciplines

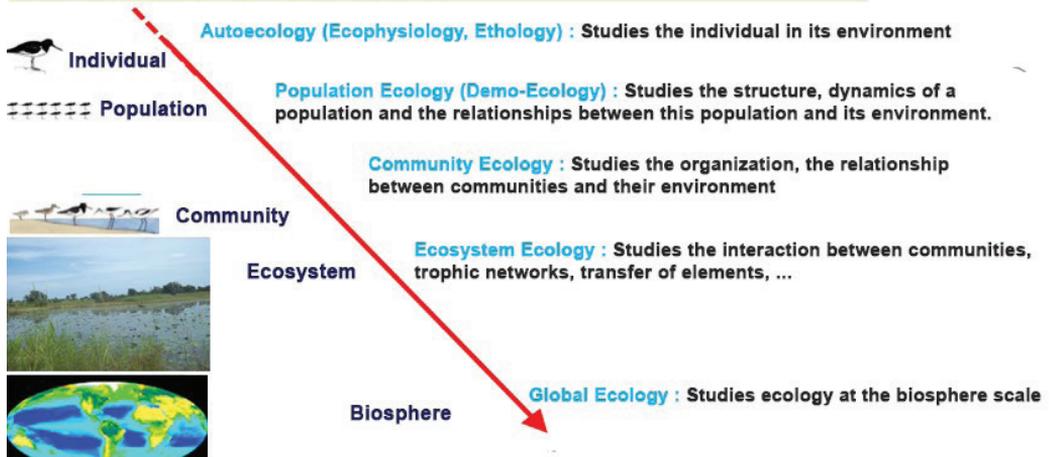


Figure 12. Niveau d'organisation des écosystèmes.

Source : Frontier et al., 1993

2.1.5 Types d'écosystèmes

Si l'on considère la biocénose, on peut distinguer trois types d'écosystèmes :

- la synusie : correspond au micro-écosystème : biocénose temporaire et indépendante ;
- la communauté : correspond au méso-écosystème : c'est une biocénose durable et autonome ; et,
- le biome est la communauté d'organismes vivants spécifique à un macro-écosystème.

La notion d'écosystème est multi-échelle, ce qui signifie qu'elle peut être appliquée à des portions de dimensions variables de la biosphère ; un lac, une prairie ou un arbre mort. Selon l'échelle de l'écosystème nous avons :

- un micro-écosystème : par exemple un arbre ;
- un méso-écosystème : par exemple, une forêt ;
- un macro-écosystème : par exemple, une région.

Le biome correspond à de vastes assemblages avec une certaine homogénéité dans les associations végétales et animales, comme la toundra, les steppes, les forêts boréales, les forêts méditerranéennes, les déserts, etc. La distribution de ces biomes est sous le contrôle étroit du macroclimat (température, humidité) de sorte qu'ils ont une distribution en bandes plus ou moins parallèles à l'équateur. Il existe 6 principaux types d'écosystèmes terrestres (biomes terrestres) :

- 1) les forêts tropicales humides - Amérique du Sud, Afrique centrale, Asie du Sud-Est ;
- 2) les déserts - de part et d'autre de l'équateur sur tous les continents ;
- 3) les prairies - Amérique du Nord, Amérique du Sud, Eurasie ;
- 4) les forêts tempérées - Hémisphère Nord ;
- 5) les forêts boréales - zone subarctique de l'hémisphère nord en Amérique et en Eurasie ; et
- 6) la toundra - les pôles arctique et antarctique.

Écosystèmes aquatiques (biomes aquatiques)

Les biomes aquatiques occupent la plus grande partie de la biosphère. Le biome aquatique peut être divisé comme suit:

L'eau douce est définie comme ayant une faible concentration en sel - habituellement inférieure à 1 %. Les plantes et les animaux des régions d'eau douce sont adaptés à la faible teneur en sel et ne pourraient pas survivre dans les zones à forte concentration de sel (c'est-à-dire les océans). Il existe différents types de régions d'eau douce : les étangs et les lacs, les ruisseaux et les rivières, et les zones humides. Les sections suivantes décrivent les caractéristiques de ces trois zones d'eau douce. On distingue deux catégories de biomes d'eau douce :

- les masses d'eau stagnante (lentic) : lacs, étangs et zones humides
- les masses d'eau en mouvement (lotiques) ; les rivières et les ruisseaux

Les régions marines couvrent environ les trois quarts de la surface de la Terre et comprennent les océans, les récifs coralliens et les estuaires. Les algues marines fournissent une grande partie de l'oxygène du monde et absorbent une énorme quantité de dioxyde de carbone atmosphérique. L'évaporation de l'eau de mer fournit l'eau de pluie pour la terre.

Les forêts de mangroves sont des arbustes ou de petits arbres qui poussent dans les eaux côtières salines ou saumâtres. Le terme est également utilisé pour la végétation côtière tropicale composée de ces espèces. Les mangroves sont présentes dans le monde entier dans les zones tropicales et subtropicales, principalement entre les latitudes 25° N et 25° S. En 2000, la superficie totale des forêts de mangroves dans le monde était de 137 800 kilomètres carrés, couvrant 118 pays et territoires.

Les forêts marécageuses d'eau douce, ou forêts inondées, sont des forêts qui sont inondées d'eau douce, de façon permanente ou saisonnière. On les trouve normalement le long des cours d'eau inférieurs et autour des lacs d'eau douce et dans diverses zones climatiques, allant de la zone boréale à la zone tempérée et subtropicale, en passant par la zone tropicale.

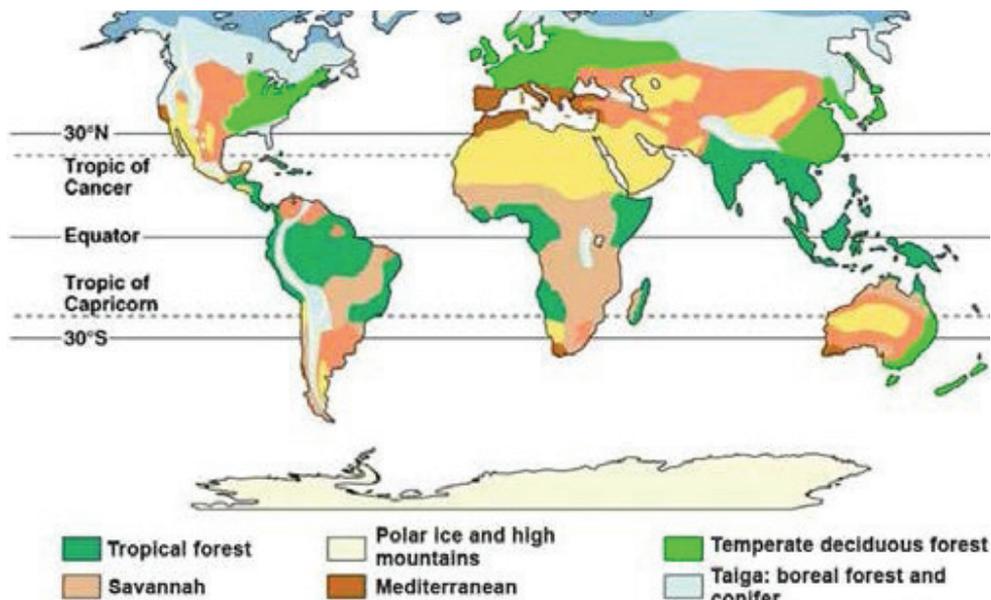


Figure 13. Principaux biomes terrestres.

Source : Frontier et al. (1993).

2.1.6 Facteurs écologiques

Un facteur écologique est tout élément de l'environnement capable d'agir directement ou indirectement sur les organismes vivants (animaux ou plantes) au moins pendant une partie de leur cycle de développement. Les facteurs écologiques sont de deux types : les facteurs abiotiques et les facteurs biotiques.

Facteurs abiotiques

C'est l'ensemble des facteurs physico-chimiques qui exercent une action sur les organismes vivants de l'environnement. Les facteurs abiotiques comprennent :

- les facteurs climatiques : température, précipitations, lumière, vent, etc ;
- les facteurs liés au sol : texture et structure du sol, composition chimique ; et
- les facteurs hydrologiques : caractéristiques de l'eau.

Il existe plusieurs autres facteurs abiotiques qui sont tout aussi importants sur le plan écologique, comme le relief (altitude), la latitude, les dimensions continentales ou maritimes.

Facteurs biotiques

Les facteurs biotiques sont des interactions entre les plantes, entre les animaux, entre les plantes et les animaux et l'action humaine. Ces interactions sont de deux types, à savoir les interactions homotypiques et les interactions hétérotypiques.

Les interactions homotypiques ou intraspécifiques sont des interactions entre individus d'une même espèce.

Il y en a trois types :

- **L'effet de groupe** : il s'agit des changements morphologiques, physiologiques ou comportementaux qui surviennent lorsque plusieurs individus d'une même espèce vivent dans un espace donné avec suffisamment de nourriture et d'autres ressources. L'effet de groupe se produit lorsque des changements se produisent chez les animaux d'une même espèce ; généralement, l'effet de groupe est bénéfique pour les individus (lutte contre les ennemis, recherche de nourriture, etc.) ; pour plusieurs espèces, la survie est conditionnée par le nombre d'individus dans la colonie, connu en écologie comme le principe de la population minimale ;
- **Effet de masse** : il se produit lorsque l'environnement est surpeuplé et est généralement nocif pour les individus ;
- **La concurrence intraspécifique** : elle consiste en une même recherche active de la même ressource dans l'environnement. Dans ce cas, les individus agissent de façon défavorable les uns envers les autres. Deux types de compétitions sont observés : une compétition active lorsque l'individu, par son comportement, interdit l'accès à une ressource disponible ; une compétition passive dans laquelle le comportement n'intervient pas. La compétition pour la possession d'une même ressource est d'autant plus grande entre deux espèces voisines d'un point de vue génétique. En fin de compte, on suppose que deux espèces ayant exactement les mêmes besoins ne peuvent pas cohabiter, l'une d'entre elles étant contrainte de disparaître à plus ou moins long terme. Cette règle est connue sous le nom de principe d'exclusion concurrentielle.

Les interactions hétérotypiques ou interspécifiques représentent les interactions entre les individus de différentes espèces. Nous distinguons :

- **Le neutralisme** : dans ce cas, les espèces en question sont indépendantes, elles n'ont aucune influence les unes sur les autres ;
- **L'amensalisme** : une association entre deux espèces qui est préjudiciable à l'une des espèces mais qui n'a aucun effet sur l'autre. Un exemple courant d'amensalisme est la libération de toxines chimiques par les plantes qui peuvent inhiber la croissance d'autres espèces végétales (voir allélopathie) ;
- **Le mutualisme** : il s'agit d'une association entre deux individus d'espèces différentes dont les deux partenaires tirent profit. On distingue deux types de mutualisme : la coopération qui est une association facultative avec bénéfice mutuel entre deux individus d'espèces différentes ; la symbiose qui est une association intime, durable et obligatoire entre deux individus d'espèces différentes dans laquelle chacun bénéficie de la présence de l'autre. Le caractère obligatoire de l'association découle du fait que l'un ou l'autre des associés ne peut vivre sans la présence de l'autre ;
- **Le commensalisme** : c'est une association facultative et temporaire entre deux individus d'espèces différentes dans laquelle une seule espèce profite de la vie en commun sans toutefois nuire à la vie de celle qui n'en profite pas ;
- **Prédation** : le prédateur peut être défini comme un organisme libre qui recherche de la nourriture animale ou végétale vivante. Les prédateurs peuvent être polyphages (attaquant un grand nombre d'espèces), oligophages (se nourrissant de quelques espèces), ou monophages (ne subsistant que sur une seule espèce) ; et,
- **Parasitisme** : c'est une relation dans laquelle le parasite bénéficie au détriment de l'autre appelé hôte.

2.1.7 Concept de potentiel écologique

Le potentiel écologique d'une essence forestière caractérise son degré de compétitivité par rapport aux autres essences mixtes. Ce potentiel est le résultat d'une combinaison de facteurs internes (génétiques) et externes (combinaison station-forestière), dont certains sont déterminants. Si la tolérance à l'ombre joue un rôle essentiel dans l'expression du degré de compétitivité d'une essence, plus l'essence en question sera située dans son optimum écologique, mieux ce degré pourra être exprimé.

2.1.8 Théories fondamentales

La détermination des relations trophiques dans un écosystème nécessite la connaissance des régimes alimentaires des différentes espèces qui y vivent. Pour cela, il existe différentes méthodes qui donnent des résultats quantitatifs et qualitatifs très précis.

Les relations trophiques peuvent être présentées de deux façons différentes :

- par des chaînes alimentaires qui mettent en évidence la notion de transfert de matière d'un maillon à l'autre : la chaîne alimentaire est définie comme les dépendances des organismes qui mangent certains organismes avant d'être mangés à leur tour par d'autres ; c'est la circulation de la matière organique ou de l'énergie entre les différents niveaux, des producteurs autotrophes aux consommateurs finaux ; et,
- par des réseaux trophiques qui mettent en évidence la complexité des relations qui existent dans les environnements.

Un réseau trophique est l'ensemble des chaînes alimentaires d'un écosystème. L'étude des réseaux montre qu'un même animal peut occuper plusieurs niveaux trophiques différents dans différentes chaînes d'un même écosystème.

2.1.9 Capacité de charge

C'est la taille maximale des populations qui peut être supporté par un écosystème sans être affecté négativement. Les rapports sur la taille des populations des espèces devraient tenir compte de la relation entre les niveaux trophiques. La capacité de charge est une mesure particulièrement importante pour comprendre l'équilibre de l'écosystème sur les pâturages et pour fixer les quotas de chasse. Sa mesure est donc importante pour régler les tailles en fonction des aliments disponibles. Lorsque la capacité de charge est dépassée, l'environnement subit une dégradation réversible ou non réversible selon le stade, ce qui affecte la résilience de l'écosystème.

2.1.10 Concept de climax

Dans son expression originale, le climax est le terme ultime pour l'évolution de la végétation d'un écosystème (le stade de maturité), après une succession de stades intermédiaires, en l'absence de perturbations naturelles ou anthropiques. C'est une étape dite d'équilibre entre la communauté végétale et son environnement, constitué par le sol et le climat, vers laquelle tend en théorie tout écosystème terrestre. Le terme " climax " désigne l'état d'équilibre dynamique atteint par la végétation spontanée sous l'action du milieu naturel abiotique et biotique, à l'exclusion de toute action humaine directe ou indirecte.

2.2 Facteurs et indicateurs de perturbation des écosystèmes

Définitions de la perturbation

La perturbation d'un écosystème consiste en un ou plusieurs événements qui modifient - dans le temps et dans l'espace - la relation entre les organismes vivants et leurs habitats (Wali, 1987).

L'écologie des perturbations représente un domaine complexe, difficile à synthétiser et pour lequel les tentatives de généralisation semblent être un exercice particulièrement délicat (White et Jentsch 2001). Le terme " perturbation ", polysémique, vague et ambigu (Rykiel 1985), recouvre une grande diversité de situations et de points de vue qui n'épargnent pas le domaine forestier lui-même, et le concept de perturbation doit être défini en fonction du contexte écologique et des objectifs de l'étude. La perturbation désigne tout événement discret dans le temps et l'espace qui entraîne une réduction de la biomasse ou de la mortalité des entités fondamentales du système, comme les arbres d'un peuplement forestier. Cette définition des perturbations correspond à celles de Huston (1994) et de Grime (1979), ainsi qu'à celle de Pickett et al. (1989), largement utilisée dans les études de perturbations.

Une perturbation de l'écosystème est une modification rapide d'un ou de plusieurs paramètres entraînant une rupture de l'équilibre écologique. Ces variations peuvent être :

- **biologique** : absorption ou disparition importante d'organismes constituant une biocénose ;
- **physique** : modification des facteurs abiotiques tels que le pH, la température ; et
- **chimique** : pollutions diverses. A ce niveau, les principaux facteurs perturbateurs sont les hydrocarbures, les antibiotiques, les détergents, les pesticides (organochlorés, organophosphorés, carbamates), les minéraux, les métaux lourds, etc

La déforestation est le phénomène de régression du couvert forestier. Elle est le résultat d'opérations de déforestation et de défrichement, liées à l'extension des terres agricoles, à l'exploitation des sources de minerais dans le sous-sol, à l'urbanisation et même à l'exploitation excessive ou anarchique de certaines espèces d'arbres. Cependant, il est important de définir ce qu'est la déforestation. La déforestation est une action anthropique ou naturelle qui provoque la disparition définitive d'une forêt.

La déforestation entraîne la destruction des habitats de milliers d'espèces animales et végétales, souvent condamnées à disparaître, et elle perturbe les équilibres et les assemblages d'espèces, souvent sous l'effet de l'agriculture, ou de l'urbanisation. C'est aussi un facteur de fragmentation des écosystèmes qui réduit la résilience écologique des forêts.

Processus de perturbation

Trois étapes principales accompagnent le processus de perturbation : (i) l'apparition d'un agent perturbateur (p. ex., le vent), (ii) l'effet sur le système (p. ex., le souffle du vent, la mortalité) et (iii) la réponse du système (p. ex. régénération, croissance).

Cette distinction a l'avantage de séparer la cause de l'effet, souvent confondue dans les études sur les perturbations (Rykiel, 1985 ; Collins et al., 1995).

La perturbation : un facteur écologique fondamental

Les perturbations sont des événements discrets, souvent imprévisibles, qui agissent à toutes les échelles spatiales et qui touchent la majorité des écosystèmes terrestres (Pickett et al. , 1999 ; White et Jentsch, 2001). Depuis l'importante synthèse de White en 1979, de nombreux articles ou ouvrages tentent d'identifier et d'analyser les effets des perturbations sur la structure et le fonctionnement de différents systèmes écologiques, notamment les communautés végétales (Pickett et al., 1999 ; Laska, 2001 ; White

et Jentsch, 2001 ; Frelich, 2002), tout en précisant la notion fondamentale de perturbation (Pickett et al., 1989 ; Laska, 2001). En raison de leur propagation et de leur distribution, les écosystèmes forestiers sont affectés par une grande variété de perturbations: incendies, tempêtes, ouragans, cyclones, tornades, insectes nuisibles, tempêtes de neige, glissements de terrain, avalanches, érosions torrentielles (White et Jenstsch, 2001), avec des conséquences importantes pour la biodiversité, les cycles des nutriments, le cycle de l'eau (Aber et al., 2000) et une vulnérabilité sociale et environnementale accrue (Gillian, 2008).

Contribution de l'élevage à la perturbation de l'écosystème

Selon un rapport de la FAO, l'élevage est l'une des principales causes des grands problèmes environnementaux : réchauffement climatique, dégradation des terres, pollution de l'atmosphère et de l'eau et perte de biodiversité. En effet, le pâturage et le bétail sont les principales menaces en termes de dégradation, notamment pour les écosystèmes sahéliens. Le surpâturage est toujours une cause de dégradation des ressources biologiques et d'exposition des sols à diverses conditions climatiques, ce qui les rend vulnérables à toute forme d'érosion et, par conséquent, à une diminution importante de la résilience des écosystèmes associés.

2.2.1 Méthodes d'évaluation des perturbations

L'évaluation d'impact environnemental (EIE) est une " procédure permettant d'examiner les conséquences bénéfiques et néfastes qu'un programme ou un projet de développement proposé aura sur l'environnement et de s'assurer que ces conséquences sont dûment prises en compte dans la conception du projet ou du programme " (OCDE, 1992a). L'EIE telle que décrite dans ce livre prend en compte les impacts biophysiques et humains. Il comprend une gamme d'évaluations spécialisées sur les impacts sociaux, les impacts économiques, les impacts sur la santé et l'analyse des risques.

L'évaluation environnementale consiste en un ensemble de processus qui tiennent compte de l'environnement dans la planification des opérations ou l'élaboration de projets, de programmes, de plans ou de politiques. Nous la définissons comme un processus systématique d'évaluation et de documentation des possibilités, des capacités et des fonctions des ressources et des systèmes naturels et humains afin de faciliter la planification d'un développement durable et la prise de décisions en général, et en particulier de prévoir et gérer les impacts et les conséquences négatives des proportions d'utilisation des terres.

L'EIE peut être considérée comme une activité s'inscrivant dans un cadre général de rationalisation des activités humaines. Il s'agit de l'intégrer dans les processus de gestion et de planification des différentes administrations et autorités concernées. Son action se traduit également par "l'internalisation" du coût des dommages environnementaux. Cela signifie que les dommages environnementaux, y compris les "coûts sociaux", sont pris en compte dans la comptabilité habituelle du projet, ce qui n'est généralement pas le cas.

L'expression " évaluation d'impact environnemental " contient trois termes distincts qui englobent assez bien son domaine d'investigation. Ces trois grands concepts, évaluation, impact et environnement, déterminent trois ensembles qui, intégrés dans un tout, représentent l'EIE.

Le concept d'"évaluation" se réfère à l'étude plus ou moins systématique d'une question ou d'un problème, selon les besoins de la procédure en question et les possibilités concrètes d'examen. Cette étude est généralement une somme d'études spécifiques sur des sujets spécifiques. De plus, puisqu'il s'agit d'un exercice de planification, l'évaluation en question est plutôt une estimation, c'est-à-dire une approximation des changements prévus. Compte tenu des multiples procédures d'EIE possibles et de l'ampleur variable des projets concernés, ainsi que des différents acteurs impliqués (internes et externes), il existe plusieurs types d'évaluation, de la plus simple à la plus complète. Cependant, il ne s'agit pas d'une évaluation du type recherche théorique fondamentale sur un sujet " socialement neutre ", mais plutôt d'une pratique prospective et opérationnelle sur une question confrontant divers points de vue et

de multiples intérêts. Enfin, plus qu'une simple étude suivie de la rédaction d'un rapport, l'"évaluation" dans le contexte de l'EIE est en fait un processus d'examen. Ce processus implique également des discussions, des pourparlers et des négociations. L'EIE s'inscrit, en somme, dans le mouvement de négociation environnementale et de recherche de compromis, voire de consensus au développement.

L'EIE est généralement conçue comme ayant deux objectifs : "évaluer l'importance des impacts biophysiques et sociaux d'un projet, en évaluer la pertinence, compte tenu de ses avantages et de ses impacts environnementaux, et, si nécessaire, élaborer une solution de moindre impact pour sa réalisation" (Lacoste et al., 1988). De façon plus normative, certains pensent que les deux objectifs de l'EIE sont de "faciliter une prise de décision optimale et intégrée" et "d'atteindre ou soutenir les objectifs fondamentaux de la protection de l'environnement et du développement durable" (Sadler, 1996).

Plus systématiquement, les trois objectifs de l'EIE sont donc les suivants :

- Connaître les conséquences environnementales du projet étudié ;
- Réduire les impacts négatifs sur l'environnement et optimiser les impacts positifs
- Permettre l'approbation du projet par les acteurs concernés.

2.2.2 État et évolution des écosystèmes forestiers

L'extension de la notion de santé des écosystèmes part de la mise en évidence d'un dysfonctionnement de nombreux écosystèmes sous l'effet des activités humaines. Un système sain est défini comme un système capable de maintenir son organisation et son autonomie fonctionnelle au fil du temps.

Au niveau opérationnel, les indicateurs de l'état de santé sont fournis en partie par des indicateurs biotiques ou physico-chimiques. Mais il est également nécessaire de prendre en compte les aspirations de la société qui sont liées à son système de valeurs et de représentations. Ainsi, il est généralement accepté que le terme "santé de l'écosystème" est utilisé pour décrire l'état souhaité d'un écosystème, généralement défini par un groupe de parties prenantes. Un critère peut être, par exemple, de pêcher certaines espèces de poissons ou d'observer certaines espèces d'oiseaux. La perception peut être différente selon le type d'écosystème et l'époque, et le concept de santé est donc relatif.

Les Canadiens ont élaboré un concept assez semblable d'intégrité de l'écosystème. L'intégrité biotique des écosystèmes peut être définie comme la capacité d'un milieu à abriter et à maintenir une communauté équilibrée et adaptée d'organismes ayant une composition, une diversité et une organisation fonctionnelle spécifiques comparables aux habitats naturels de la région (ou du moins aux habitats les moins perturbés). Le concept d'intégrité, tout comme le concept de santé, fait appel à des valeurs sociales. Face aux perturbations, l'écosystème doit conserver la capacité de réagir par lui-même et de progresser jusqu'à un stade final qui est soit normal soit "bon" pour l'écosystème.

Les notions de santé ou d'intégrité ont une signification éthique et morale : il y a des états d'écosystèmes qui sont "normaux" et d'autres qui sont "anormaux". Pour ce dernier, on parle de dysfonctionnement.

2.2.3 Dynamique des états et des espèces

Le statut des espèces dans une zone décrit leur statut d'indigène. L'état de conservation d'une espèce est utilisé comme indicateur pour évaluer l'état de la population d'une espèce à un moment donné et est donc susceptible d'évoluer. Certaines espèces peuvent être en bonne santé alors que d'autres sont au bord de l'extinction ou éteintes. Les niveaux de menace sont variables.

La Liste rouge de l'UICN classe les espèces menacées en trois catégories, selon l'ampleur de leur risque d'extinction : "vulnérable", "en danger" et "en danger critique d'extinction". Une classification quelque peu similaire existe pour les races domestiques d'intérêt agricole.

En biologie, l'évolution est la transformation des espèces vivantes qui s'exprime par des changements de

leurs caractéristiques génétiques au fil des générations. Ces changements successifs peuvent résulter de la formation de nouvelles “espèces filles” à partir d’une seule espèce. Le phénomène de l’évolution est à l’origine de la biodiversité sur Terre.

Les espèces envahissantes : On dit qu’une espèce est envahissante lorsque, naturellement présente et se reproduisant dans une zone géographique non indigène, elle devient un agent de perturbation et interfère avec la diversité biologique. Ces “ envahisseurs “ peuvent perturber les milieux naturels et provoquer des désagréments pour les activités humaines (qualité de l’eau, irrigation, agriculture, pêche, etc.) ou la santé publique (allergies, toxicité, transmission des maladies, etc.).

Espèces menacées et types de menaces : Une espèce est déclarée menacée si elle répond à des critères précis (perte d’habitat, déclin important de la population, érosion génétique, chasse ou pêche trop intensive, etc.) Ces critères, généralement établis ou validés par l’Union Internationale pour la Conservation de la Nature (UICN), permettent d’affiner le risque d’extinction de l’espèce (actuel, court et moyen terme) et de lui accorder un statut de conservation et parfois de protection (espèces protégées).

Espèces endémiques : L’endémisme caractérise la présence naturelle d’un groupe biologique exclusivement dans une zone géographique définie. Ce concept, utilisé en biogéographie, peut être appliqué aux espèces ainsi qu’à d’autres taxons et peut concerner toutes sortes d’organismes vivants : animaux, plantes ou autres. Une espèce endémique est une espèce (animale ou végétale) présente naturellement sur un territoire donné, même si elle a été plantée ou dispersée dans le monde entier. Quelques espèces endémiques connues sont : le lémurien, endémique à Madagascar ; le cyprès, endémique en Californie ; et, le koala, endémique en Australie.

Ces différentes espèces sont si importantes pour la planète sur le plan biologique et écologique que tout changement dans l’environnement (y compris le climat) peut entraîner leur extinction.

2.2.4 Biogéographie

Les biomes sont des écosystèmes terrestres ou aquatiques caractéristiques de grandes zones biogéographiques soumises à un climat particulier.

Les biomes peuvent être divisés en trois catégories : les biomes terrestres (forêt tropicale, savane, désert, forêt méditerranéenne, prairie tempérée, forêt tempérée à feuilles caduques, taïga, toundra) ; les biomes d’eau douce (étangs et lacs, cours d’eau) ; et les biomes marins (estuariers, zones intertidales, récifs coralliens, biome océanique pélagique, benthos).

La répartition des biomes dans le monde résulte de l’interaction de différents facteurs abiotiques : la température (elle affecte les processus biologiques, et la plupart des organismes sont incapables de réguler précisément leur température corporelle), l’eau (les organismes d’eau douce et marins sont sujets à un déséquilibre en eau si la concentration des solutés intracellulaires ne correspond pas à celle des solutés dans l’eau environnante), la lumière (elle fournit l’énergie qui alimente presque tous les écosystèmes), le vent (il augmente la perte de chaleur par vaporisation et convection et la perte d’eau par vaporisation chez les animaux et par transpiration chez les plantes, et a un effet sur la forme des plantes), les roches et le sol (structure physique, pH et composition minérale qui limitent la distribution des plantes et des herbivores), et les perturbations périodiques (incendies, ouragans, tornades, éruptions volcaniques, etc.) Lorsqu’ils sont très rares et imprévisibles dans le temps et l’espace, les organismes ne peuvent pas s’adapter. D’autre part, de nombreuses plantes se sont adaptées aux incendies qui se produisent fréquemment dans certaines communautés).

2.2.5 Phytogéographie

1.1.29 La phytogéographie (du grec phuton, plante, ge, Terre, et graphein, pour écrire), ou géographie botanique ou géobotanique est une science au carrefour de la botanique et de la géographie, qui étudie la répartition des plantes à la surface du globe et les causes de cette répartition ainsi que les relations existantes entre les espèces ou communautés végétales d'une part, et les caractéristiques géographiques, mésologiques (climat, sol) et biologiques (tous les organismes vivants) d'autre part.



Résumé

Cette session a présenté l'écologie en clarifiant ses concepts et ses fondements à travers l'écosystème. Ainsi, l'écosystème est abordé à travers ses caractéristiques, ou- organisation et fonctionnement. Les facteurs de perturbation sont présentés ainsi que leur impact sur la dynamique des écosystèmes et des espèces a également été couvert dans cette session.

2.3 Concepts de la biodiversité



Objectifs

A la fin de cette formation, les apprenants seront capables de :

- Mettre en évidence les concepts clés de la biodiversité ;
- Décrire les méthodes d'évaluation ;
- Expliquer la dynamique actuelle ; et,
- Evaluer l'importance de la biodiversité.



Activité 1 (Remue-méninges) (20 minutes)

- Comment définissez-vous l'écologie ?
- Comment définissez-vous l'écosystème ?
- Y a-t-il des écosystèmes multiples ? Si oui, quelles sont les différences ?
- Comment reconnaître un écosystème équilibré ?

2.3.1 Définition et concepts de la biodiversité

Le terme biodiversité a été formé par la contraction des mots biologie et diversité. Il s'agit de la diversité des organismes vivants (faune, flore, bactéries, etc.) et des écosystèmes présents sur la Terre. Le concept de biodiversité a été consacré lors de la Conférence de Rio en 1992, avec l'adoption de la Convention sur la diversité biologique (CDB), où la biodiversité est définie comme "La variabilité des organismes vivants de toute origine y compris les écosystèmes terrestres, marins et autres écosystèmes aquatiques et les complexes écologiques dont ils font partie ; cela comprend la diversité au sein des espèces et des écosystèmes et entre eux" (article 2).

Vandermeer et Perfecto (1995) dans Altieri (1999) présentent la biodiversité avec une définition simple : « La biodiversité désigne l'ensemble des plantes, des animaux et des micro-organismes vivants et en interaction au sein d'un écosystème ».

Ces interactions, directement ou indirectement, conditionnent le fonctionnement, la stabilité et la productivité d'un écosystème. Ainsi, la biodiversité ne se limite pas à un groupe d'organismes vivants mais elle est aussi la source de nombreuses fonctions écologiques, agronomiques et patrimoniales, assurant l'équilibre de l'écosystème. La complexité des phénomènes qui régissent la biodiversité rend sa mesure délicate.

La Convention internationale sur la diversité biologique ajoute que la biodiversité « comprend trois niveaux distincts : le gène, l'espèce et l'écosystème ».

La complexité de la définition de la biodiversité réside notamment dans les périmètres du concept : la diversité génétique au sein d'une espèce, la diversité des espèces, la diversité fonctionnelle ou écosystémique des relations entre diversité susmentionnée et les écosystèmes.

La biodiversité est généralement subdivisée en trois niveaux : la diversité génétique, la diversité spécifique et la diversité des écosystèmes :

La diversité génétique est la diversité des gènes au sein d'une espèce. Les généticiens des populations et les généticiens quantitatifs utilisent différents paramètres pour estimer la variabilité génétique au sein d'une population.

Pour éviter toute confusion de vocabulaire, le polymorphisme des marqueurs moléculaires sera appelé diversité génétique par opposition à celui des caractères phénotypiques appelé variabilité génétique. La

première notion repose essentiellement sur l'étude des distributions des fréquences alléliques tandis que la seconde repose sur les composantes de la variance génétique des caractères quantitatifs.

La diversité spécifique correspond à la diversité des espèces. Le concept de diversité spécifique prend donc en considération l'abondance relative des espèces en plus de leur nombre. La diversité spécifique tient également compte de la diversité taxonomique. La diversité des espèces est souvent assimilée au nombre d'espèces. Au-delà du nombre, c'est surtout l'hétérogénéité entre les espèces qui est appréciée.

La diversité des écosystèmes fait référence à la variété et à la variabilité temporelle des habitats. Il est généralement admis que la richesse des espèces dépend de la diversité des habitats et du nombre de niches écologiques potentiellement utilisables. Les écosystèmes, du fait de leur diversité biologique, jouent un rôle global dans la régulation des cycles géochimiques (fixation, stockage, transfert, recyclage des nutriments, etc.

La diversité biologique au sens écologique est donc un système d'interactions au sein et entre les niveaux organisationnels du monde vivant, ainsi qu'avec l'environnement physico-chimique.

2.3.2 Évaluation de la biodiversité

Les opinions divergent sur la façon de mesurer la biodiversité. Il n'y a pas de mesures universelles et celles qui sont utilisées dépendent réellement des objectifs poursuivis. Au niveau théorique, tous les aspects de la biodiversité devraient être évalués dans un système donné. Mais c'est une tâche pratiquement irréalisable et il faut se contenter d'une estimation approximative en se référant à des indicateurs qui peuvent concerner la génétique, les espèces ou les peuplements, la structure de l'habitat ou toute combinaison qui fournit une évaluation relative mais pertinente de la diversité biologique.

La richesse en espèces (nombre d'espèces) qui peut être déterminée pour tous les taxons présents dans un environnement, ou pour des sous-ensembles de taxons, est l'unité de mesure la plus courante. Bien sûr, plus le nombre d'espèces est élevé, plus il est probable qu'il y ait une plus grande diversité génétique, phylogénétique, morphologique, biologique et écologique. Pour certains groupes qui sont bien connus sur le plan taxonomique, la liste des espèces est relativement faible à établir.

Il existe généralement trois types de diversité :

- **La diversité alpha** est la richesse des espèces dans un écosystème local ; Divers indices sont utilisés pour mesurer une diversité spécifique :

L'indice probabiliste SIMPSON :

$$D = \frac{\sum n(n-1)}{N(N-1)} \quad (\text{équation 4})$$

n = le nombre total d'organismes d'une espèce particulière

N = le nombre total d'organismes de toutes les espèces

L'indice de SHANNON dérivé de la théorie de l'information :

$$H = -\sum_{i=1}^S p \ln(p) \quad (\text{équation 5})$$

$i=1$

où p_i est la proportion de caractères appartenant au i ème type de lettre dans la chaîne de caractères d'intérêt. En écologie, p_i est souvent la proportion d'individus appartenant à la i ème espèce dans l'ensemble de données d'intérêt.

Cet indice est également utilisé avec les logarithmes naturels ou avec les logarithmes décimaux. Sa valeur varie de 0 (une seule espèce) à $\log S$ (lorsque toutes les espèces ont la même abondance). Les valeurs prises par ces indices de diversité dépendent à la fois de la richesse spécifique S et de la répartition des effectifs entre les différentes espèces.

- **La diversité bêta** consiste à comparer la diversité des espèces entre les écosystèmes ou le long de gradients environnementaux. Elle reflète le changement de la diversité alpha lors du passage d'un écosystème à un autre dans un site ;

$$\beta(Y) = \frac{\sum_j 1/P w_j \times \beta(y_j)}{\sum_j 1/P w_j \times EVE(y_j)}$$

Les poids w_j (avec $0 \leq w_j \leq 1$) et $\sum_j w_j = 1$ peuvent être déterminés selon les exigences des utilisateurs dans le cadre spécifique des analyses. Si toutes les espèces sont considérées comme également importantes, comme pour les données de présence et d'absence, les poids peuvent être uniformément fixés à $1/P$. Par contre, pour les données sur l'abondance des espèces, une approche raisonnable consiste à établir les poids proportionnels à l'abondance totale des espèces dans la table de composition des communautés, de sorte que $w_j = y_{j+}/y_{++}$ où $y_{++} = \sum_j y_{j+} = \sum_n y_{jn}$ est le grand total de toutes les abondances des espèces dans Y .

- **La diversité gamma** correspond à la richesse des espèces au niveau régional ou géographique. C'est la diversité de l'ensemble du paysage (pool d'espèces régionales). Parmi celles-ci, les diversités alpha et gamma sont assez simples. Il est plus difficile de saisir ce que signifie la diversité bêta, car elle est généralement utilisée de façon assez vague. C'est une sorte de pont entre l'échelle locale (alpha) et l'échelle régionale (gamma).

2.3.2 Érosion génétique, spéciation, endémisme

L'érosion génétique est la perte de la diversité génétique entre et au sein des populations au fil du temps en raison de l'intervention humaine ou des changements environnementaux. Selon la FAO, le remplacement des variétés locales par des variétés améliorées ou exotiques est une cause majeure d'érosion génétique dans le monde.

La spéciation est, en biologie, le processus évolutif par lequel de nouvelles espèces vivantes apparaissent. Une espèce, au sens du concept biologique d'espèce, est définie comme ayant une communauté d'ascendance au sein de laquelle tout individu interfère avec les autres et donne une progéniture fertile.

L'endémisme désigne les espèces ou sous-espèces d'animaux et de plantes (ou leurs populations) dont l'aire de répartition est limitée à une zone particulière. L'endémisme peut être décrit sur toute l'étendue de l'échelle géographique : un organisme peut être endémique à une seule montagne ou un seul lac, à une chaîne de montagnes ou un bassin versant, à une île, un pays ou même un continent. Le terme est souvent utilisé au niveau de l'espèce, mais il peut aussi s'appliquer à des sous-espèces, des genres, des familles et d'autres groupes taxonomiques. En général, plus une région reste longtemps isolée d'autres régions similaires, plus sa proportion d'espèces endémiques est élevée. Les îles très anciennes comme Madagascar et la Nouvelle-Zélande ont un taux d'endémisme très élevé.

2.3.4 Indicateurs mondiaux de mesure de la biodiversité

Il est particulièrement difficile de mesurer le capital naturel. En effet, qui peut ou doit juger de son exploitation et de sa surexploitation (c'est-à-dire des dommages causés aux capacités de régénération) ? Il n'est pas facile de s'entendre sur la définition des seuils d'alerte, ni même de mesurer la résilience des écosystèmes ou le degré de réversibilité des dommages.

Les indicateurs directs de biodiversité sont construits à partir de données taxonomiques mesurant directement une ou plusieurs composantes de la biodiversité : diversité génétique, abondance des

espèces, nombre d'espèces dans un groupe particulier, etc. Ils peuvent refléter l'état de la biodiversité à un moment donné ou la dynamique de son évolution sur une période donnée. Par exemple, les oiseaux sont généralement considérés comme de bons indicateurs directs de la fonctionnalité des écosystèmes et de l'état de conservation des habitats en raison de leur position élevée dans les chaînes alimentaires et de leur vitesse de réaction aux changements environnementaux. Cependant, la littérature scientifique montre que dans un environnement donné, la diversité d'un taxon n'est généralement pas fortement liée à la diversité des autres composantes de la biodiversité.

Indicateurs indirects. Dans le cas de la biodiversité forestière, ils sont généralement basés sur les caractéristiques des peuplements forestiers ayant un lien plus ou moins quantitatif avec la biodiversité (fragmentation du paysage, diversité des espèces d'arbres, etc.). Plus faciles et moins coûteux à informer, ils sont souvent disponibles à plus grande échelle et pourraient éventuellement intégrer les réponses de vastes composantes de la biodiversité. Néanmoins, leur champ de validité ainsi que leur robustesse, leur fiabilité et leur précision sont mal connus.

Indicateurs mondiaux couramment utilisés : Aujourd'hui, les indicateurs les plus utilisés sont :

- **Indice Planète Vivante du WWF :** cet indicateur mesure le statut de 1 686 espèces de vertébrés au sein de 5 000 populations dans le monde. Il reflète l'état des écosystèmes de la planète. Au cours des 35 dernières années, l'indice a chuté de 30 %.
- **Liste rouge de l'UICN :** cette liste d'espèces en danger d'extinction est mise à jour régulièrement. Elle existe au niveau international, national ou même régional.
- **Empreinte écologique :** elle mesure la demande en biosphère de l'humanité en termes de " surfaces terrestres et marines biologiquement productives " nécessaires pour fournir les ressources que nous utilisons et absorber les déchets que nous produisons. Elle est calculée par pays. En moyenne, la demande par habitant en 2005 était de 2,7 hectares.
- **Biocapacité :** Elle est calculée par pays en multipliant les surfaces terrestres et maritimes productives par leur bioproduction, chaque pays ayant une réserve disponible. Les gains de productivité sont souvent réalisés au prix d'une utilisation accrue des ressources ou d'une augmentation des déchets produits. En moyenne, au niveau mondial, en 2005, chaque humain disposait de 2,1 hectares.
- **Empreinte de l'eau :** Ce nouvel indicateur permet de connaître, par pays, la quantité d'eau nécessaire aux activités de production et de consommation. De nombreux pays, par l'importation massive de produits, externalisent leur déficit en eau.
- **Espace écologique :** Le concept d'espace écologique a été proposé par les Amis de la Terre en 1995 dans un rapport sur la solidarité en Europe. Le principe de l'égalité d'accès aux ressources implique pour chaque type de ressource la définition d'un seuil minimum ainsi que d'un plafond de consommation maximum qui prend en compte la capacité de régénération des ressources renouvelables et le stock de ressources non renouvelables. La quantité d'énergie, d'eau, de terre, de matières premières non renouvelables et de bois qui peut être utilisée de manière durable est appelée " espace écologique ".

Les indicateurs de biodiversité forestière sont la restriction des indicateurs de biodiversité appliqués au domaine forestier. Une distinction sera faite entre les indicateurs écologiques qui décrivent la biodiversité forestière du point de vue de l'écologie forestière et les indicateurs socio-économiques qui traitent de la dimension sociale et économique de la biodiversité.



Activité 2

Les apprenants devraient discuter de:

- l'impact de la croissance de la population humaine sur les écosystèmes forestiers;
- les principales causes de la dynamique de l'écosystème ; et,
- les conséquences de la dégradation de la biodiversité sur la vie des populations locales.

2.3.5 État de la biodiversité selon les catégories de l'UICN

Il existe différents systèmes pour évaluer l'état de conservation d'une espèce. Le plus courant est celui fourni périodiquement par l'UICN, qui comprend neuf catégories :

- Éteint (EX) : Aucun individu survivant connu ;
- Éteint à l'état sauvage (EW) : Survivants connus uniquement en captivité ou en dehors de leur habitat d'origine ;
- En danger critique d'extinction (CR) : risque extrêmement élevé d'extinction dans la nature ;
- En danger (EN) : risque élevé d'extinction dans la nature ;
- Vulnérable (VU) : risque élevé de mise en danger ;
- Quasi menacé (NT) : probabilité d'être en danger dans un avenir proche ;
- Préoccupation mineure (PC) : ne répond pas aux critères d'une catégorie en danger de disparition ; les animaux répandus et abondants sont inclus dans cette catégorie ;
- Données insuffisantes (DD) : pas assez de données pour évaluer le risque d'extinction ; et,
- Non évalué (NE) : n'a pas encore été évalué.

2.3.6 La conservation de la biodiversité

Il existe des modes traditionnels de conservation in situ et ex situ de la diversité biologique. En effet, dans certaines localités des pays, les paysages agraires sont constitués d'espèces à usages multiples, délibérément préservées lors des défrichements successifs. Ces paysages, formés par des parcs différents, sont l'expression d'une méthode traditionnelle de conservation in situ des espèces et des formations végétales. Au niveau institutionnel, la création de nombreuses aires protégées pendant la période coloniale dans les pays africains contribue à une meilleure conservation de la biodiversité. Les seuils sont fixés au niveau mondial pour encourager les différents États à protéger les écosystèmes fragiles et riches en ressources biologiques. La signature des différentes conventions, dont la Convention sur la diversité biologique, vise à engager chaque État dans un esprit de conservation et d'utilisation durable de la biodiversité. Au niveau communautaire, différentes populations ont identifié des espèces qu'elles conservent et protègent dans les zones agricoles grâce à l'agroforesterie.

2.3.7 Services de l'écosystème

Par définition, les services écosystémiques sont les bénéfiques que les hommes tirent des écosystèmes. L'importance de la biodiversité se retrouve principalement dans les services écosystémiques. La biodiversité est indispensable à l'homme car elle intervient dans tous les domaines de la vie quotidienne. L'Évaluation des Ecosystèmes pour le Millénaire a identifié quatre catégories : *soutien, approvisionnement, régulation et services culturels et sociaux*,

Tableau 3. Catégories de services écosystémiques

Services de régulation	Services d'approvisionnement	Services de soutien	Services Sociaux et culturels
<ul style="list-style-type: none"> • Régulation du climat • Réduction des maladies, des parasites et des odeurs • Purification de l'eau et de l'air • Contrôle de l'érosion et des inondations • Pollinisation • Dispersion des semences 	<ul style="list-style-type: none"> • Nourriture • Eau pure • Combustible • Fibre • Espèces ornementales • Animaux de compagnie • Eléments biochimiques • Ressources génétiques 	<ul style="list-style-type: none"> • Développement du système immunitaire • Développement humain 	<ul style="list-style-type: none"> • Spiritualité • Loisirs et tourisme • Esthétique • Éducation et inspiration • Sentiment d'appartenance • Patrimoine culturel

(Adapté de l'Évaluation des Ecosystèmes pour le Millénaire, 2005)

Services de soutien

Ce sont ceux qui sont nécessaires à la production de tous les autres services écosystémiques. Ils diffèrent des trois autres catégories de services parce que leurs effets sur les êtres humains sont indirects ou se produisent sur de longues périodes de temps. Ainsi, certains services, tels que le contrôle de l'érosion, peuvent être qualifiés de " soutien " ou de " régulation " selon l'échelle de temps des effets de ses changements sur les êtres humains. Par exemple, les humains n'utilisent pas directement les services de formation des sols des écosystèmes (services de soutien), bien que des changements dans ce service affectent indirectement les êtres humains par l'effet sur la production alimentaire.

Services d'approvisionnement

Ils permettent aux humains d'obtenir des biens commercialisables à travers l'exploitation des écosystèmes, par exemple

- Aliments, fibres : cette catégorie comprend une vaste catégorie de produits alimentaires dérivés de plantes, d'animaux, de bactéries, ainsi que de matériaux tels que le bois, le jute, le chanvre, la soie ;
- Combustible : bois énergie, tourbe, fumier et autres matériaux qui servent de sources d'énergie ;
- Ressources génétiques : comprennent les gènes et l'information génétique utilisés pour l'élevage, la culture des plantes et la biotechnologie ;
- Substances chimiques : de nombreux médicaments, biocides, additifs alimentaires tels que les alginates, et matériaux biologiques sont issus des écosystèmes ;
- Des plantes médicinales ;
- Ressources ornementales : produits tels que les peaux et les coquillages, les fleurs utilisées comme ornements ; la valeur de ces ressources est souvent déterminée par le contexte culturel de leur utilisation ;
- Les matériaux de construction - bois, sable, etc,
- Faune sauvage chassable.

Services de régulation

Il s'agit des avantages obtenus par la régulation des processus des écosystèmes, tels que :

- Maintien de la qualité de l'air : les écosystèmes apportent des produits chimiques et en extraient de l'atmosphère, ce qui influence la qualité de l'air ;
- Régulation du climat : les écosystèmes influencent le climat à la fois localement et globalement ; par exemple, à l'échelle locale, les changements d'utilisation des terres peuvent influencer à la fois les températures et les régimes de précipitation ; à l'échelle mondiale, les écosystèmes peuvent jouer un rôle important dans le climat, soit en séquestrant, soit en émettant des gaz à effet de serre ;
- Le cycle de l'eau : la récurrence et l'importance du ruissellement, des inondations et de la recharge des aquifères peuvent être influencées par des changements d'utilisation des terres, par des altérations qui peuvent modifier le potentiel de stockage de l'eau au niveau des écosystèmes ; ces altérations peuvent être dues à la conversion des zones humides ou des forêts en zones agricoles, ou en zones urbaines ;
- Contrôle de l'érosion : la couverture végétale joue un rôle important dans la rétention du sol et la prévention des glissements de terrain ;
- Épuration de l'eau et traitement des déchets : les écosystèmes peuvent apporter des impuretés dans l'eau mais peuvent aussi aider à filtrer et à décomposer les déchets organiques introduits dans les zones humides, les eaux intérieures et les écosystèmes marins ;
- La régulation des maladies humaines : les changements dans les écosystèmes peuvent modifier directement l'abondance des agents pathogènes (par exemple le choléra) et des vecteurs de maladies (par exemple les moustiques) ;
- Lutte biologique : les changements dans les écosystèmes peuvent affecter la prévalence des maladies et des prédateurs des cultures et du bétail ;
- Pollinisation : les changements dans les écosystèmes peuvent affecter la distribution, l'abondance et l'efficacité de la pollinisation ; et
- Protection contre les tempêtes et les inondations - par exemple, la présence d'écosystèmes forestiers peut réduire l'intensité des vents et/ou des eaux.

Services socioculturels

Il s'agit des avantages non matériels que les êtres humains tirent des écosystèmes par l'enrichissement spirituel, le développement cognitif, la réflexion, la création, les expériences esthétiques, etc :

- L'emploi, comme résultat de la gestion, de la restauration, de la protection, etc. des écosystèmes ;
- Valeurs éducatives : les écosystèmes et leurs composantes constituent une base pour l'éducation dans de nombreuses sociétés ;
- Une source d'inspiration - pour l'art, le folklore, les symboles nationaux, l'architecture et la publicité ;
- Valeurs esthétiques : de nombreuses personnes trouvent la beauté ou les valeurs esthétiques dans divers aspects des écosystèmes ; cela se traduit, par exemple, par les visites de parcs, de "paysages" et par le choix des lieux pour la construction des maisons ;
- Relations sociales : les écosystèmes influencent les relations sociales ; par exemple, profiter des aspects esthétiques et récréatifs des écosystèmes (forêts, parcs, etc.) peut contribuer à renforcer les liens sociaux (par exemple entre jeunes ou entre voisins, etc.) ;

- Valeurs “ patrimoniales “ : de nombreuses sociétés apprécient le maintien de paysages terrestres historiquement importants (“ paysages culturels “) ou d’espèces végétales/animales d’importance culturelle ; et
- Loisirs et écotourisme : par exemple, les gens choisissent souvent les destinations de leurs vacances en fonction des caractéristiques naturelles du lieu.

2.3.7 Les causes de la dégradation de la biodiversité

La biodiversité fait aujourd’hui face à de graves menaces qui ont également des effets négatifs sur les êtres humains. Les nouveaux critères du bien-être humain ont pris le dessus sur d’autres composantes régissant l’équilibre nécessaire des écosystèmes, à savoir les dimensions sociales et écologiques de la biodiversité. Les nouvelles technologies, une population croissante et la soif du bien-être économique, ont conduit à une surexploitation des ressources, ce qui a affaibli le système qui soutient la vie sur Terre. La surexploitation des ressources a des répercussions sur le climat mondial, car il n’y a aucun doute sur les liens très étroits entre les ressources biologiques et la régulation des phénomènes climatiques. La situation est telle qu’aujourd’hui, même si l’homme cesse toute exploitation des ressources, il faudra plusieurs décennies pour rétablir l’équilibre des écosystèmes. Compte tenu de la pression exercée sur la biodiversité et des tendances actuelles, il faudrait au moins deux fois la même planète pour satisfaire les besoins de l’homme. Nous pouvons résumer comme suit le rôle de la société humaine face à la dégradation :

- la négligence humaine, voire l’agressivité envers la nature ;
- la méconnaissance de l’importance de la biodiversité et l’inadéquation des politiques publiques pour lutter contre l’érosion de la biodiversité ; et
- une concurrence accrue entre les activités en raison de la croissance de la population humaine et du développement d’activités basées sur l’utilisation des ressources naturelles.

2.3.8 Principes fondamentaux de l’écophysiologie

Stress écophysiologique

Cela comprend tous les facteurs de stress qui contribuent à faire souffrir les plantes. Ils sont soit biotiques, soit abiotiques (bios = vie en grec) selon qu’ils sont dus à des organismes vivants (insectes, virus, bactéries, etc.) ou à d’autres facteurs (sécheresse, manque de luminosité, etc.).

Indicateurs de stress et réponses

Pour Girardin (1999) cité par Pindard (2000), il y a un stress dans la plante lorsque l’état hydrique perturbe son métabolisme. Cela implique qu’il y a des répercussions plus ou moins directes sur la croissance et le développement des organes. La première manifestation du stress hydrique chez une plante est le flétrissement, mais les recherches ont montré que le flétrissement du feuillage ne peut pas être utilisé pour détecter le stress car les fonctions métaboliques sont affectées chez une plante stressée avant que le stress ne soit visible. Il faut utiliser des mesures ou des estimations au niveau de la plante ou du sol (Pindard, 2000). Parmi les méthodes de mesure de l’état de l’eau, on peut citer :

- la micromorphométrie : elle consiste à mesurer les micro-variations du diamètre de la tige de la plante qui révèlent les variations de l’état hydrique de la plante ; et
- mesure du flux de la sève : méthode basée sur la mesure du flux de la sève dans le xylème.

Mécanismes d'adaptation au déficit en eau

Le déficit en eau se manifeste par la combinaison de la baisse de la disponibilité en eau du sol et de l'augmentation de la demande d'évaporation. La tolérance à la sécheresse est la capacité de la plante à croître et à fournir des rendements satisfaisants dans les zones sujettes à des déficits hydriques épisodiques (Chaves et al., 2002 ; Tardieu et al., 2006). Ainsi, dans les zones arides, les plantes ont développé des mécanismes de régulation qui assurent leur survie, généralement au détriment de la productivité. Cependant, les stratégies d'adaptation utilisées par la plante pour se protéger du stress hydrique dépendent de l'intensité du déficit auquel elle est soumise. Elles seront aussi différentes pour une plante qui subit un stress sévère impliquant sa survie, que pour une plante de culture qui, en fonction du risque climatique local, ne sera soumise qu'à un déficit hydrique plus modéré. La principale réaction de la plante qui a un déficit en eau est de réduire activement sa transpiration en fermant ses stomates dès l'apparition du déficit et en réduisant sa surface foliaire : réduction de la vitesse de croissance des feuilles ou de leur nombre, accélération de la sénescence foliaire (INRA, 2006). La première stratégie d'adaptation des plantes à la sécheresse consiste à " éviter " tout stress hydrique et la seconde est la capacité à le " tolérer ".

La phénologie est récemment apparue comme une priorité importante de la recherche écologique car elle est un très bon indicateur des conditions climatiques locales et donc du changement climatique, étant très sensible aux variations thermiques (Chmiliowski & Rötzer, 2001 ; Sparks & Menzel, 2002). Thompson & Clark (2004), à travers la surveillance de 27 stations dans le monde, ont révélé que le début du cycle saisonnier du CO₂ atmosphérique, c'est-à-dire sa fixation par les plantes, a progressé au cours des dernières décennies.

La phénologie est la distribution dans le temps des événements biologiques cycliques (de la flore ou de la faune) qui sont influencés par l'environnement (Schwartz, 2003). Le champ d'étude de la phénologie peut également être étendu à l'étude des facteurs qui l'influencent (Defila & Clot, 2001). Chez les arbres, deux catégories d'événements phénologiques se produisent en un an. La première catégorie concerne la phénologie foliaire et affecte la photosynthèse, la productivité et la survie des individus (débourrement au printemps, sénescence foliaire en automne). La deuxième catégorie concerne la floraison et la maturation du fruit, et affecte la reproduction et la descendance de l'arbre. Ainsi, la phénologie est cruciale pour l'aptitude des plantes (Fenner, 1998 ; Bennie et al., 2010) car elle affecte leur croissance, leur survie et leur reproduction. Chez les arbres tempérés, les événements phénologiques sont généralement considérés comme un moyen d'adaptation aux stress environnementaux, leur permettant de persister dans une niche temporelle locale (Pau et al., 2011). Les études phénologiques peuvent être utilisées à différentes fins. Elles enrichissent les connaissances sur l'autoécologie des espèces, leurs capacités d'adaptation et ont récemment été utilisées pour étudier la réponse de la végétation au changement climatique.

Pour les forestiers, ces études peuvent permettre de choisir les essences et les provenances les mieux adaptées à un contexte climatique particulier, voire de fournir des outils dans les programmes d'amélioration génétique.



Activité 3. Questions de compréhension

- Quelles sont les différentes méthodes utilisées pour l'évaluation de la biodiversité ?
- Quelles sont les causes de la dégradation de la biodiversité ?
- Donnez les différentes catégories de services écosystémiques disponibles avec des exemples.
- Quels sont les mécanismes d'adaptation des plantes au stress hydrique ?



Résumé

La biodiversité est la base de la vie. Cette session est entièrement consacrée aux concepts fondamentaux de la biodiversité. Ainsi, il est défini à travers ses 3 échelles (génétique, spécifique et écosystème). L'importance de la biodiversité, les facteurs de dégradation ainsi que les méthodes d'évaluation sont présentés aux apprenants.

Références

- Aber, J., N. Christensen, I. Fernandez, J. Franklin, L. Hidingier et al., 2000. Applying ecological principles to management of the U.S. National Forests. *Issues in Ecology* 6.
- Altieri, M., 1999. The ecological role of biodiversity in agroecosystems. *Agriculture, Eco-systems and Environment* 74:19-31.
- Bennie J, E. Kubin, A. Wiltshire, B. Huntley & R., Baxter, 2010. Predicting spatial and temporal patterns of bud-burst and spring frost risk in NW Europe: the implications of local adaptation to climate. *Global Change Biol.* 16:1503-1514.
- Chaves M.M., J.S. Pereira, J. Maroco, M.L. Rodrigues, C.P.P. Ricardo, M.L. Osorio, I. Carvalho, T. Faria & C. Pinheiro, 2002. How plants cope with water stress in the field. Photosynthesis and growth. *Annals of Botany* 89:907-916.
- Chmielewski F.M. & T. Rötzer, 2001. Response of tree phenology to climate change across Europe. *Agr. Forest Meteorol.* 108:101-112.
- Collins, S.L., S.M. Glenn & D.J. Gibson, 1995. Experimental analysis of intermediate disturbance and initial floristic composition: decoupling cause and effect. *Ecology* 76: 486-492.
- Defila C. & B. Clot, 2001. Phytophenological trends in Switzerland. *Int. J. Biometeorology* 45:203-207.
- Fenner M. 1998. The phenology of growth and reproduction in plants. *Perspect. Plant. Ecol.* 1:78-91
- Frelich, L.E., 2002. Forest dynamics and disturbance regime. *Studies from temperate evergreen-deciduous forests*. Cambridge Studies in Ecology, Cambridge University Press.
- Frontier S. & D. Pichod-Viale, 1993. Ecosystèmes - Structure, fonctionnement, évolution. Collection d'écologie 21, Masson Paris, 2e éd. 447 p.
- Gillian Allard 2008. Climate change impacts on forest health. FAO, Rome, Italy
- Grime, J.P., 1979. Plant strategies and vegetation processes. Wiley, Chichester.
- Huston, M., 1994. Biological diversity. Cambridge University Press, Cambridge.
- INRA, 2006. Sécheresse et agriculture: réduire la vulnérabilité de l'agriculture à un risque accru de manque d'eau. Synthèse du rapport d'expertise scientifique collective, 76p.
- Lacoste & Coll., 1988. L'évaluation environnementale: une pratique à généraliser, une procédure d'examen à parfaire. Rapport du Comité de révision de la procédure d'évaluation et d'examen des impacts environnementaux (Rapport Lacoste). Gouvernement du Québec, Québec, 169 p. et annexes.
- Laska, G., 2001. The disturbance and vegetation dynamics: a review and an alternative framework. *Plant Ecology* 157:77-99.
- OCDE, 1992a. Bonnes pratiques pour les études de l'impact sur l'environnement exercé par les projets de développement. Comité d'aide au développement, Lignes directrices sur l'environnement et l'aide n°1, Paris, 18p.
- Pau S, E.M. Wolkovich, B.I. Cook, T.J. Davies, N.J.B. Kraft, K. Bolmgren, J.L. Betancourt & E.E. Cleland, 2011. Predicting phenology by integrating ecology, evolution and climate science. *Global Change Biol.* 17:3633-3643.
- Pickett, S.T.A., J. Kolosa, J.J. Armesto & S.L. Collins, 1989. The ecological concept of disturbance and its expression at various hierarchical levels. *Oikos* 54:129-136.

Pickett, S.T.A., J. Wu & M.L. Cadenasso, 1999. Patch dynamics and the ecology of disturbed ground. From Ecosystems of the world: ecosystems of disturbed ground, L.R. Walker ed., Elsevier Science.

Pindard A., 2000. La relation stress hydrique-- rendement du maïs en Bresse: quelle perspective de spatialisation? Utilisation d'un simulateur de culture (SnCS). Mémoire d'ingénieur. Etablissement National d'Enseignement Supérieur Agronomique de Dijon (France), 61 p.

Rykiel, E.J., 1985. Towards a definition of ecological disturbance. Australian Journal of Ecology 10:361-365. Sadler, B., 1986. Impact assessment in transition: a framework for redeployment, dans Lang, R. (Ed.):

Integrated Approaches to Resource Planning and Management. The Banf Center School of Management. University of Calgary Press, Calgary, Canada, p. 99-129.

Schwartz, M.D., 2003. Phenology: an integrative environmental science. Kluwer Academic Publishers, Netherlands.

Sparks, T.H. & A. Menzel, 2002. Observed changes in seasons: an overview. Int J Climatology 22:1715-1725.

Tardieu F., P. Cruziat, J.L. Durand, E. Triboï & M. Zivy, 2006. Perception de la sécheresse par la plante. Conséquences sur la productivité et sur la qualité des produits récoltés, pp 49-67.

Thompson, R. & R.M. Clark, 2008. Is spring starting earlier? Holocene 18:95-104.

Wali. M.L., 1987. The structure, dynamics, and rehabilitation of drastically disturbed ecosystems. In: Khoshoo

T.N. (ed.): Perspectives in environmental management. New Delhi, India: Oxford and IBH Publishing, 163-183.

White, P.S. & A. Jentsch, 2001. The search for generality in studies of disturbance and ecosystems dynamics.

Progress in Botany 62: 399-449.

Chapitre 3 : Gestion durable des forêts

3.0 Aperçu du chapitre

La gestion durable des forêts (GDF) peut non seulement contribuer à atténuer les effets néfastes du changement climatique, mais aussi à améliorer d'autres services environnementaux, comme la protection des sols contre les effets des inondations. Les forêts peuvent également contribuer à la réhabilitation des terres dégradées et au maintien de la qualité de l'eau en piégeant les sédiments, en favorisant l'absorption des nutriments et en neutralisant les substances toxiques. Ce chapitre fournit aux apprenants des outils et des approches pour la GDF, notamment : les techniques d'inventaire forestier, l'économie forestière, la cartographie et la télédétection, l'exploitation des ressources forestières, la gestion environnementale et la certification forestière.



Objectifs

A la fin de ce chapitre, les apprenants seront capables de :

- a) faire un inventaire des ressources forestières ;
- b) analyser les données d'inventaire ;
- c) effectuer une certification forestière ;
- d) énumérer quelques systèmes de certification forestière dans le monde ;
- e) décrire diverses méthodes d'évaluation économique des écosystèmes ;
- f) analyser la gestion des ressources naturelles et les processus impliqués ;
- g) analyser les circuits de production et de commercialisation des produits forestiers ; et
- h) analyser les connaissances et les pratiques locales.



Activité 1 Discussion (15 minutes)

- Analyser les différentes notions relatives à la gestion durable des forêts.
- Mettre en évidence les concepts clés de l'utilisation durable des forêts.

Plan de déroulement de la séance

Ce chapitre est composé de cinq séances d'une durée moyenne de 4 heures chacune. Les détails de ces sections et les matériaux requis sont décrits dans le tableau ci-dessous.

Sessions	Temps nécessaire	Approche	Matériel pédagogique
Définition des concepts de base de l'AFD	4 heures	Cours théoriques, échanges itératifs, séances de questions et réponses	Ordinateurs, vidéo projecteur
Inventaire forestier	4 heures	Cours théoriques, travail de terrain, échanges itératifs	Ordinateurs, vidéo projecteur, équipement de terrain
Phytosociologie	4 heures	Cours théoriques, travail de terrain, échanges itératifs	Ordinateurs, vidéo projecteur, équipement de terrain
GDF et certification	4 heures	Cours théoriques, travail de terrain, échanges itératifs	Ordinateurs, vidéo projecteur, post-it
Évaluations environnementales	4 heures	Cours théoriques, travail de terrain, échanges itératifs	Ordinateurs, vidéo projecteur, équipement de terrain

3.1 Définitions des concepts de base en matière de gestion durable des forêts



Objectifs

A la fin de cette séance, l'apprenant sera en mesure " D'expliquer les concepts de base d'une GDF.

Décrire les vocabulaires techniques et scientifiques et avoir une connaissance générale de la compréhension globale de la GDF.



Activité 1 (Remue-méninges) (20 minutes)

- Qu'est-ce que la gestion durable des forêts ?
- Quelles sont les précautions à prendre pour assurer une gestion durable ?

3.1.1 Définition de certains concepts

Phytosociologie : c'est l'étude descriptive et causale des associations de plantes (Bergonzi et Lanly, 2000) ou du schéma de regroupement des plantes dans les communautés. C'est la branche de l'écologie qui a pour but de décrire la structure de la phytocénose ; l'analyse des groupes de plantes à partir desquels les associations de plantes sont définies et l'étude de l'évolution des communautés végétales dans le temps (successions écologiques). Il est basé sur un inventaire floristique préalable à partir duquel des groupes de plantes peuvent être identifiés ; les liens fonctionnels entre les communautés végétales et le milieu naturel sont décrits et expliqués.

Le mot "dendrométrie" vient de deux termes grecs : Dendros = arbre et Metrons = mètre, mesure. Étymologiquement, la dendrométrie est la méthode de mesure des arbres.

Le concept de gestion forestière est également basé sur la recherche de la durabilité dans la production forestière. Cependant, elle est basée sur un processus de planification visant à " réguler l'exploitation forestière " (Guillard, 1999). Pour les forestiers, il s'agit " d'imiter la nature, d'accélérer son travail " (Lanly, 1999). Ce concept semble avoir été créé en France au XVIII^e siècle (Boutefeu, 2005).

L'échantillonnage est la sélection d'une partie dans un ensemble.

Le mot **biométrie signifie** " mesure des organismes vivants " et, dans un sens très large, désigne l'étude quantitative des êtres vivants.

Le **taux d'échantillonnage** est le rapport de proportionnalité entre la taille de l'échantillon et la taille de la population mère.

En botanique et en biogéographie, **une formation végétale** est une communauté d'espèces végétales caractérisée par une certaine physionomie qui détermine un paysage caractéristique. Cette physionomie, appelée aussi "végétation", permettant une description générale à une échelle assez étendue, dépend des espèces qui composent la formation végétale et du milieu qui l'accueille. Les exemples de formation végétale comprennent les forêts, les mangroves, les steppes, la savane, la lande, etc. Dans ces grandes catégories, on peut identifier des formations végétales plus spécifiques, en tenant compte des conditions écologiques qui les caractérisent : on peut ainsi, par exemple, distinguer différents types de forêts.

Association végétale : c'est une communauté ou une colonie redondante d'espèces associées (Moreau, 1960). C'est une combinaison originale d'espèces, dont certaines, dites caractéristiques, sont particulièrement liées, d'autres étant appelées compagnons. C'est aussi un groupe de plantes de composition floristique déterminée ayant une physionomie uniforme et poussant dans des conditions

stationnaires uniformes (Lebrun et Gilbert, 1954).

Groupement végétal : c'est une communauté végétale concrète dont la composition floristique, structurale et écologique qui faciliterait sa classification dans un système phytosociologique, physiologique ou phytocologique reste à déterminer (Evrard, 1968).

Forme biologique : elle désigne la physiologie d'une espèce au cours de son cycle de vie en relation avec le comportement vis-à-vis des facteurs environnementaux et, en particulier, sa capacité à résister aux saisons difficiles (Schmitz, 1971).

3.1.2 Histoire et concepts de la gestion durable des forêts

L'analyse documentaire que nous avons effectuée indique que le terme "gestion durable des forêts" (GDF) est apparu dans la littérature scientifique en 1990. Présenté au Sommet de la Terre à Rio de Janeiro en 1992, il a été largement utilisé depuis lors par une très grande variété d'acteurs locaux et internationaux. Comme nous le verrons plus loin, il repose sur plusieurs approches et est devenu progressivement le "modèle" de gestion des écosystèmes forestiers tropicaux. Les pratiques mises en œuvre sous ce terme ne datent pas des années 1990 : elles sont fortement inspirées des différents modèles managériaux déjà utilisés et doivent donc être partiellement appréhendées comme un héritage de pratiques préexistantes.

Une définition de la gestion durable des forêts a été proposée par la «Conférence ministérielle sur la protection des forêts en Europe» en 1993 et a depuis été adoptée par la FAO : «La gestion durable des forêts est la gestion et l'utilisation des forêts et des terres boisées d'une manière et à un rythme qui maintiennent leur diversité biologique, leur productivité, leur capacité de régénération, leur vitalité et leur potentiel à remplir, maintenant et à l'avenir, des fonctions écologiques, économiques et sociales pertinentes, aux niveaux local, national et international, et qui ne cause pas de dommages aux autres écosystèmes «

La définition généralement acceptée du développement durable est celle proposée par Brundtland : «Le développement durable est celui qui répond aux besoins du présent sans compromettre la capacité des générations futures à répondre à leurs propres besoins ». Le mot clé est d'assurer un équilibre positif entre trois piliers fondamentaux : l'économie, le social et l'environnement.

Néanmoins, en 1992 à Rio, les pays en développement (PED) ont fortement plaidé pour que le développement économique reste une des conditions préalables au progrès écologique (Le Prestre, 2005). Un consensus a été atteint et clarifié dans les principes 3 et 4 de la Déclaration de Rio : " Principe 3 - Le droit au développement doit être réalisé de manière à répondre équitablement aux besoins des générations présentes et futures en matière de développement et d'environnement. Principe 4 - Pour parvenir à un développement durable, la protection de l'environnement doit faire partie intégrante du processus de développement et ne peut être considérée isolément ".

Élaborée au Sommet de la Terre à Rio de Janeiro en 1992, la GDF est fondée sur le concept de développement durable, largement utilisé par le Rapport Brundtland de la Commission des Nations Unies sur l'environnement et le développement (1987). Cependant, lors de cette conférence, les États n'ont pas pu s'entendre sur la signature de la convention forestière. C'est pourquoi la forêt n'a fait l'objet que d'une déclaration légale et opérationnelle.

La Déclaration de Rio sur les forêts résume les engagements internationaux et les recommandations en matière de GDF. Cependant, la Convention sur la biodiversité comprend des principes d'application théoriquement contraignant, dont certains concernent la forêt, et devraient inclure la biodiversité faunique du sol, souvent surestimée en raison de sa non visibilité, mais vitale pour les processus de sylvo-génèse, de formation naturelle et de maintien des dimensions « fractionnées » du sol et en particulier de l'humus forestier.

3.1.3 Critères d'évaluation de la gestion durable

Il existe de nombreux ensembles de critères et indicateurs dans le monde qui sont utilisés par des processus régionaux particuliers de GDF (par exemple, FOREST EUROPE, Processus de Montréal), des organisations internationales et leurs activités (par exemple, l'Évaluation des ressources forestières mondiales de la FAO) ou la certification de la gestion forestière et des produits forestiers (par exemple, le Forest Stewardship Council, le Programme de reconnaissance des certifications forestières).

Les critères : ils caractérisent ou définissent les éléments essentiels ou l'ensemble des conditions ou des processus permettant d'évaluer la GDF (CMPFE, 1998b). Il y a 6 critères :

1. Maintien et amélioration appropriée des ressources forestières et de leur contribution aux cycles mondiaux du carbone ;
2. Maintien de la santé et de la vitalité des écosystèmes forestiers ;
3. Maintien et stimulation des fonctions productives des forêts (ligneux et non ligneux) ;
4. Maintien, conservation et amélioration appropriée de la diversité biologique dans les écosystèmes forestiers ;
5. Maintenance et renforcement approprié des fonctions de protection dans la gestion des forêts (notamment du sol et de l'eau) ; et
6. Maintien d'autres fonctions et conditions socio-économiques.

Les indicateurs suivent les changements quantitatifs et qualitatifs dans le temps pour chaque critère et décrivent les progrès accomplis dans la réalisation de leurs objectifs (CMPFE, 1998a).

- Les indicateurs quantitatifs sont exprimés en unités de mesure et les données nécessaires sont collectées par le biais d'inventaires forestiers réguliers, d'autres enquêtes de terrain, de la télédétection, etc. Des indicateurs mesurés périodiquement montrent la tendance du changement par rapport au critère. La liste des indicateurs quantitatifs comprend, par exemple, la superficie forestière et le stock sur pied (volume de bois vivant) pour le critère 1, les dommages forestiers pour le critère 2, l'accroissement et les coupes pour le critère 3, le volume de bois mort ou les classes de naturalité pour le critère 4, la superficie des forêts de conservation pour le critère 5, et la contribution des forêts au PIB ou la superficie des forêts de loisirs pour le critère
- Les indicateurs qualitatifs sont ceux qui doivent être décrits et évalués, et les données sont recueillies au moyen de questionnaires. Ils sont utilisés pour décrire les cadres juridiques et institutionnels de la foresterie, ainsi que les politiques et les instruments de mise en œuvre de la GDF.



Résumé

Cette session est consacrée à la définition des concepts clés de la gestion durable des forêts, à l'historique de la gestion durable des forêts et aux critères d'évaluation basés sur les indicateurs clés. Ces indicateurs montrent comment la gestion des forêts peut être durable.

3.2 Inventaires forestiers



Objectifs

A la fin de cette session, les apprenants seront capables de :

- décrire les différents types d'inventaire ;
- discuter des différentes techniques d'inventaire ; et,
- Expliquer l'importance des inventaires forestiers.



Activité 1 (Remue-méninges) (20 minutes)

- Qu'est-ce qu'un inventaire forestier ?
- Quelle est l'importance de l'inventaire forestier pour le développement de votre région ou pays ?
- Quelles sont les exigences pour réaliser un inventaire forestier ?

3.2.1 Définitions et concepts

Probablement dérivé du principe "Mieux connaître pour mieux gérer", l'inventaire forestier est un processus de collecte de données telles que les superficies, l'âge des arbres et la quantité de bois disponible dans les forêts. Les données recueillies peuvent également s'étendre à la superficie boisée et non boisée, à la répartition des espèces et aux diverses formations forestières.

La législation forestière prévoit généralement qu'un inventaire des ressources disponibles dans les zones forestières soit établi et mis à jour par les administrations forestières. Les inventaires constituent la base du suivi de la qualité du contrôle et de l'inspection des forêts, et peuvent avoir un impact sur l'exploitation illégale.

3.2.2 Objectifs de l'inventaire

En général, les inventaires forestiers visent à évaluer l'état actuel et la dynamique de la végétation ligneuse. L'inventaire de la végétation est un outil précieux pour la prise de décision dans la gestion des formations végétales (Fonweban, 1995 ; Rondeux, 1999 ; Kangas & Maltamo, 2007). Comme les formations végétales sont souvent trop étendu pour un inventaire exhaustif, il est presque toujours basé sur l'échantillonnage (Picard, 2006 ; Van Laar & Akça, 2007). Par conséquent, la minimisation des erreurs d'échantillonnage pendant la réalisation de l'inventaire est cruciale pour une plus grande fiabilité des données recueillies. Sinon, un accent particulier devrait être mis sur la technique d'échantillonnage qui a une incidence sur l'erreur d'échantillonnage.

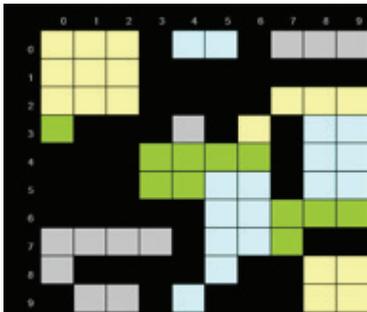
L'inventaire forestier fait partie intégrante du processus de planification pour la gestion durable des ressources forestières (Kaboré, 2004). Il vise à fournir les données nécessaires sur les espèces afin d'établir des normes forestières, de simuler la production et l'évolution des ressources et d'analyser les relations station-production (Bergeret & Couteron, 1995 ; Couteron & Serpantié, 1995 ; Fonweban & Houillier, 1997). Ces résultats constituent la base de la prise de décision en matière de foresterie, d'économie forestière, de politique forestière et de génie forestier. Les inventaires sont utilisés pour la planification de l'exploitation et jouent un rôle de plus en plus important dans l'aménagement du territoire et la protection de l'environnement.

3.2.3 Produits forestiers non ligneux

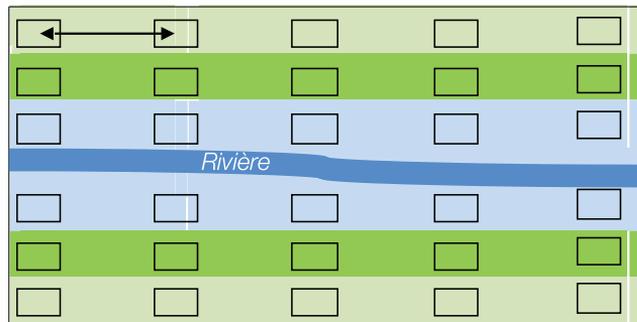
Les produits forestiers non ligneux (PFNL), également appelés produits forestiers secondaires, ont diverses définitions. Il s'agit de " toutes les ressources biologiques et tous les services marchands, à l'exception de toutes les formes de bois, provenant de la forêt ou de tout autre écosystème ayant des fonctions similaires " (Chandrasekharan, 1995). Il s'agit également de " biens d'origine biologique autres que le bois, provenant de forêts, d'autres régions boisées et d'arbres hors forêt ". Ils peuvent être récoltés à l'état sauvage ou produits dans des plantations forestières, ou par des arbres hors forêt (FAO, 1999). Tsiamala-Tchibangu et Ndjigba (1998) ont indiqué qu'ils comprennent les aliments, les champignons comestibles, les médicaments, les animaux et les produits dérivés d'animaux, les matières premières pour l'artisanat et les produits utilisés dans la construction ou lors de manifestations culturelles ou religieuses ". Dans l'ensemble, les PFNL sont considérées comme " tout matériel biologique qui peut être extrait des forêts naturelles, des bois, des jachères ou des plantations forestières ainsi que leur utilisation à des fins de loisirs, de parc ou de réserve "

3.2.4 Types d'inventaires

Les inventaires forestiers ont pour but d'identifier toutes les informations forestières nécessaires à l'évaluation du potentiel de gestion rationnelle et durable. Il existe plusieurs types d'inventaires allant de l'échelle nationale à l'échelle locale. L'inventaire forestier actuellement réalisé porte sur le potentiel ligneux par la collecte d'informations sur les structures des populations (mesures de paramètres dendrométriques tels que le diamètre et la hauteur), leur état de santé, leur phénologie et leur potentiel de régénération. Des informations importantes qui contribuent à une meilleure gestion des zones forestières peuvent être tirées des inventaires forestiers. Les inventaires forestiers nationaux sont des outils essentiels pour identifier toutes les informations nationales sur le potentiel biologique, la distribution des espèces, la structure des populations, la productivité du bois et le potentiel de séquestration du carbone. Les inventaires nationaux devraient être réalisés tous les 20 ans.



Échantillonnage aléatoire
(Source : Thiombiano, X)



Échantillonnage systématique (
source : Sambaré, 2013)

3.2.5 Méthodes d'échantillonnage

Comme les forêts sont souvent trop étendues pour un inventaire complet, l'inventaire forestier est presque toujours basé sur un échantillonnage (Picard, 2006). Les types d'échantillonnage utilisés dans l'inventaire forestier sont l'échantillonnage aléatoire et simple, l'échantillonnage systématique, l'échantillonnage stratifié, l'échantillonnage en grappes, l'échantillonnage à plusieurs degrés et l'échantillonnage à plusieurs phases (Picard, 2006).

3.2.6 Plan d'échantillonnage

Parcelles pour observations ponctuelles (parcelles non permanentes)

Les parcelles temporaires sont des parcelles à usage unique parce qu'elles ne sont pas délimitées sur le terrain (Picard et al., 2010). Ce sont des parcelles mesurées une seule fois et qui caractérisent différents peuplements à un moment donné, sans tenir compte de la cinétique de croissance (Pauwels et al., 1999). Un tel inventaire rend impossible le suivi en temps opportun de variables telles que la croissance. Des parcelles temporaires peuvent être utilisées pour obtenir des évaluations de l'état actuel de la forêt.

Parcelles permanentes

Les parcelles permanentes font référence aux sites d'échantillonnage forestier qui sont délimités ou simplement identifiés et remesurés à différents moments (Köhl et al., 2006). Contrairement aux parcelles temporaires, la technique des parcelles permanentes consiste à suivre dans le temps l'évolution de la végétation sur un même espace. Dans les stocks permanents, les unités sont matérialisées indirectement par un piquet métallique encastré au centre et les arbres sont marqués par l'angle de vue sous lequel ils sont vus depuis le centre et par la distance qui les sépare du piquet (Rondeux, 1999). Il s'agit de parcelles établies sur le terrain pour une période assez longue (plusieurs années, voire décennies), ce qui permet de comparer les inventaires successifs.

Pour estimer les variations des stocks de carbone des arbres, on peut utiliser des parcelles permanentes ou temporaires pour l'échantillonnage à long terme. L'utilisation de parcelles permanentes pour les arbres présente plus d'avantages (vérification efficace des résultats) que d'inconvénients. Les parcelles permanentes sont généralement considérées comme statistiquement plus efficaces pour calculer les changements dans les réserves de carbone forestier que les parcelles temporaires.

Forme et taille des parcelles selon le type d'inventaire

La nature, la forme et la taille des parcelles d'échantillonnage sont un compromis entre l'exactitude, la précision, le temps et le coût de la mesure.

En ce qui concerne la forme des parcelles, on distingue généralement les parcelles de taille fixe et les parcelles de taille variable. Les parcelles de taille fixe sont les plus utilisées en Afrique de l'Ouest. Les parcelles d'inventaire peuvent avoir une forme circulaire, carrée ou rectangulaire (Kenkel & Podani, 1991 ; Rondeux, 1999 ; Kangas & Maltamo, 2007). Les parcelles circulaires représentent la figure géométrique ayant le plus petit périmètre pour une forme donnée ; elles réduisent ensuite le nombre d'arbres de bordure par rapport à d'autres formes de parcelles de même superficie (Kangas & Maltamo, 2007) et sont donc les plus utilisées dans les inventaires forestiers nationaux et internationaux (Lecomte & Rondeux, 2002). Néanmoins, les parcelles rectangulaires dont la longueur coïncide avec les lignes de plantation sont plus adaptées aux plantations forestières (Van Laar & Akca, 2007).

En effet, pour une même zone, les parcelles rectangulaires permettent l'identification de plus d'espèces que les autres formes (Jyrki et al., 1998). Dans les formations tropicales, il est plus approprié d'utiliser des parcelles carrées ou rectangulaires (Van Laar & Akça, 2007). Cela est confirmé par des études récentes indiquant que les parcelles carrées sont les plus recommandées dans les forêts tropicales humides (Houéto et al., 2013 ; Salako et al., 2013).

La taille des parcelles d'inventaire est une caractéristique importante de la précision de l'estimation des paramètres de végétation. Le choix de la taille optimale des parcelles dépend de plusieurs caractéristiques liées au peuplement considéré. En effet, la densité des arbres, leur âge, leur taille et la structure spatiale du peuplement influencent la taille optimale des parcelles (Rondeux, 1999 ; Van Laar & Akça, 2007). La méthode "classique" d'inventaire des formations de savane est un inventaire stratifié systématique utilisant des parcelles de taille fixe, souvent entre 1 000 et 1 250m² (en particulier des rectangles de 20 × 50 m ou 25 × 50 m) (Arbonnier, 1990) mais jusqu'à 2 500m².

3.2.7 Dendrométrie et dendrochronologie

Dendrométrie

L'évaluation du volume de bois et de produits forestiers remonte à l'histoire de l'humanité, depuis que l'homme a commencé à vendre du bois. Au cours des 18^e et 19^e siècles, de nombreux forestiers ont tenté de trouver des méthodes pour déterminer le volume des arbres et des peuplements forestiers : la science de la mesure des arbres se mettait lentement en place.

Le mot "dendrométrie" est composé de deux termes grecs : "Dendros" = arbre et "Metrons" = mètre/mesure. Étymologiquement, la dendrométrie est la méthode de mesure des arbres.

Dendrochronologie

La dendrochronologie (du grec dendros, arbre, et chronos, temps) est l'étude de la croissance des arbres dans le temps. Il s'agit de l'étude des cernes, qui sont des enregistrements des variations de croissance des arbres dans des conditions naturelles (Fritts, 1976 ; Schweingruber, 1988), permettant de reconstituer les chronologies et les variations météorologiques/climatiques du passé. C'est une technique qui permet de dater avec une grande précision les sites archéologiques contenant du bois.

Cette discipline est une façon intéressante de détecter l'impact du changement climatique et de l'augmentation du CO₂ sur la productivité des forêts (Graumlich et al., 1989). Certains auteurs croient même que la dendrochronologie a un rôle majeur à jouer dans le cadre de la recherche sur les changements globaux (Cherubini, 2000), la force de cette discipline étant d'analyser des données pour lesquelles le temps et l'espace sont parfaitement maîtrisés.

Dans ce contexte, les séries dendrochronologiques peuvent servir à la fois de contrôle historique et de référence pour simuler les variations futures.

La dendrochronologie utilise généralement des modèles statistiques, des fonctions de réponse pour quantifier la relation entre les anneaux de croissance des arbres, puis pour faire des reconstructions climatiques (Cook & Kairiukstis, 1990). Les fonctions de réponse ont récemment été utilisées pour évaluer l'impact du changement climatique sur la croissance des arbres (Keller et al., 1997, 2000). Toutefois, aucun modèle n'a encore pu évaluer l'impact de l'augmentation des émissions de CO₂ atmosphérique sur la croissance des arbres.

Dans les régions climatiques qui imposent une période d'activité et une période de repos à la végétation dans la même année, les arbres développent chaque année à la périphérie de leur tronc un anneau de croissance ou un anneau annuel. L'influence des facteurs climatiques se traduit par un anneau large dans une année où les conditions météorologiques correspondaient aux exigences climatiques de l'espèce, mais un anneau mince si ce n'est pas le cas. Ainsi, des séquences de cernes assez similaires peuvent être observées sur la série de tous les arbres d'une même espèce poussant sous un même climat et constituent donc des repères chronologiques.



Résumé

Cette séance sur les inventaires forestiers présente d'abord les définitions et concepts clés. De plus, il présente les objectifs de l'inventaire forestier, les types d'inventaires, la méthode d'échantillonnage, les dispositifs de suivi (ponctuel ou à long terme), la dendrométrie et la dendrochronologie.

3.3 Phytosociologie



Objectifs

A la fin de cette session, vous serez en mesure de :

- Décrire les notions de base de la phytosociologie ;
- Démontrer les techniques de conduite des relevés phytosociologiques ; et
- Expliquer l'importance de la phytosociologie dans le suivi de la dynamique.



Activité 1 (Remue-méninges) (20 minutes)

- Définir le terme "phytosociologie" ?
- Quelles sont les précautions à prendre pour effectuer une enquête phytosociologique ?
- Quelle est l'importance de la phytosociologie pour vous ?

3.3.1 Définition et objet

D'un point de vue floristique, écologique, dynamique, chronologique et historique, la phytosociologie peut être définie comme l'étude des communautés végétales. La définition la plus couramment utilisée est l'étude des associations de plantes ; une association de plantes est un groupe de plantes ayant une composition floristique déterminée et une physionomie et des conditions stationnaires homogènes. Selon Blanquet (1932), l'association végétale est un groupe végétal plus ou moins stable en équilibre avec le milieu environnant, caractérisé par une composition floristique spécifique dans laquelle certains éléments exclusifs ou espèces caractéristiques révèlent par leur présence une écologie spécifique et autonome. Il existe de nombreuses autres définitions du concept d'association de plantes, ce qui montre la complexité de cette notion.

Pour le phytosociologue, la première étape de la détermination des associations de plantes en fonction de leur composition floristique est l'établissement de listes d'espèces sur le terrain. Ainsi, les enregistrements ne devraient pas être réalisés au hasard. Le choix de l'emplacement et des dimensions des surfaces de végétation analysées est très déterminant pour le phytosociologue.

3.3.2 Relevés phytosociologiques

Détermination de la surface minimale

Il est habituel en phytosociologie de préciser la zone d'enregistrement. Toutefois, l'indication de la superficie totale d'enregistrement ne suffit pas pour juger si la superficie minimale est atteinte ou si la superficie maximale est dépassée (Gillet, 2000). Un relevé ne sera considéré comme représentatif de l'individu de l'association étudiée que s'il est effectué sur une superficie au moins égale à la superficie minimale, c'est-à-dire une superficie "suffisamment" grande pour contenir presque toutes les espèces présentes dans l'association (Guinochet, 1973). Une zone trop petite rendrait l'enquête fragmentaire et non représentative, car elle ne contiendrait qu'une partie limitée du mélange floristique habituel de la communauté d'intérêt. A l'inverse, une zone trop étendue rendrait l'enquête hétérogène, avec le risque de contenir une trop grande proportion d'individus associés adjacents (Gillet, 2000). La surface minimale, représentative de l'échantillon de la zone d'étude (c'est-à-dire contenant 90 à 95 % de l'espèce) est déterminée progressivement en doublant la surface d'enregistrement consécutive (commencer par 1 m² pour la strate herbacée et 5 ou 10 m² pour la strate arborée) : c'est la surface minimale.

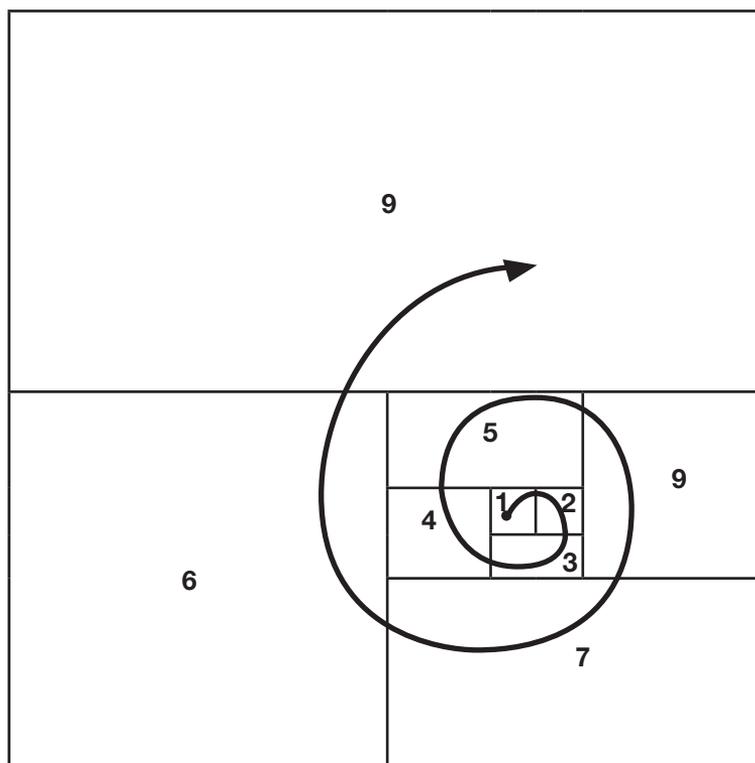


Figure 15. Technique de détermination de la surface minimale.

Relevés et caractérisation des groupes de plantes

Le relevé consiste à identifier toutes les espèces présentes sur la parcelle en attribuant à chacune d'elles un coefficient d'abondance-dominance qui permet d'estimer le poids de chaque espèce dans l'écosystème. Pour ce faire, la méthode de Braun-Blanquet (1932) est généralement utilisée. L'abondance-dominance est évaluée au moyen d'une échelle qui combine le nombre d'individus et leur importance relative en termes de chevauchement. L'échelle Braun-Blanquet utilisée à cet effet est la suivante :

1 :	0-1% ;	RM = 0,5 % ;
2 :	1 - 5% ;	RM = 3 % ;
3 :	5-25% ;	RM = 15% ;
4 :	25-50% ;	RM = 37,5 % ;
5 :	50-75% ;	RM = 62,5 % ;
6 :	75 - 100% ;	RM = 87,5 %.

L'objectif premier des enregistrements étant les associations de plantes, la disposition des enregistrements en fonction de la similarité floristique constitue la base de l'analyse des données. Les associations de plantes ou groupes de plantes identifiés constitueront des écosystèmes forestiers de base pour toute action de conservation ou de restauration qui devrait tenir compte de l'équilibre établi au sein de cette association. Les associations de plantes illustrent les conditions environnementales de l'écosystème à travers les exigences spécifiques de certaines espèces (décrites comme des espèces caractéristiques). La flore inventoriée contribue à :

- surveiller les changements de la composition floristique au fil du temps
- faire une typologie des formations végétales qui caractérisent l'observatoire et mettre à jour les typologies existantes.

Les associations de plantes sont identifiées par leurs espèces caractéristiques qui ont une valeur d'indice significativement plus élevée dans le groupement qu'elles caractérisent. Plusieurs outils existants permettent de générer soit des dendrogrammes (Figure 16), soit des tableaux.

3.3.3 Les types biologiques comme indicateurs de l'évolution des groupes de plantes

L'analyse d'une formation végétale met en évidence des relations parfois évidentes entre la constitution des plantes et des caractéristiques importantes de leur environnement. Ainsi, les plantes des régions semi-désertiques sont, dans une certaine mesure, adaptées pour survivre à de longues périodes de sécheresse. Ces observations montrent qu'il est intéressant de distinguer des groupes de plantes ayant comme caractères principaux le même port, la même configuration, le même comportement et, d'une manière générale, la même forme biologique. Les différentes formes biologiques reconnues dans les plantes peuvent être interprétées et classées en tenant compte des facteurs environnementaux.

Le botaniste danois Raunkiaer a classé les plantes vasculaires des pays tempérés en plusieurs types biologiques selon le degré de protection dont bénéficient leurs pousses (branches) persistantes pendant la période de repos en hiver. Selon Raunkiaer, cette protection dépend principalement de la situation des pousses par rapport au sol et ensuite des caractéristiques phytosociologiques et morphologiques des plantes.

Le système Raunkiaer ne comprenait à l'origine que des espèces des pays tempérés. Il a été entretenu, notamment par Rübél, Braun Blanquet et plus récemment par Ellenberg et Mueller-Dombois, en considérant les plantes de toutes les zones climatiques. Ces types biologiques se trouvent dans les pays tropicaux avec une saison sèche marquée. Il convient de souligner que le type biologique d'une plante est la résultante sur sa partie végétative de tous les processus biologiques, y compris ceux qui sont modifiés par l'écologie au cours de la vie de la plante et qui ne sont pas, par conséquent, héréditaires.

Il existe cinq types biologiques de base : les phanérophytes, les chaméphytes, les hémicryptophytes, les cryptophytes et les thérophytes.

Le nom de phanérophytes englobe les arbres, les arbustes et les vignes, ainsi que les grandes herbes vivaces, dont la tige pousse à plus de 25-50 cm au-dessus du sol. On distingue les nanophanérophytes dont la taille est comprise entre 2 et 5 m, les mésophanérophytes de 5 à 50 m de haut et les mégaphanérophytes qui dépassent 50 m de haut. On les trouve dans les régions où la saison chaude est longue.

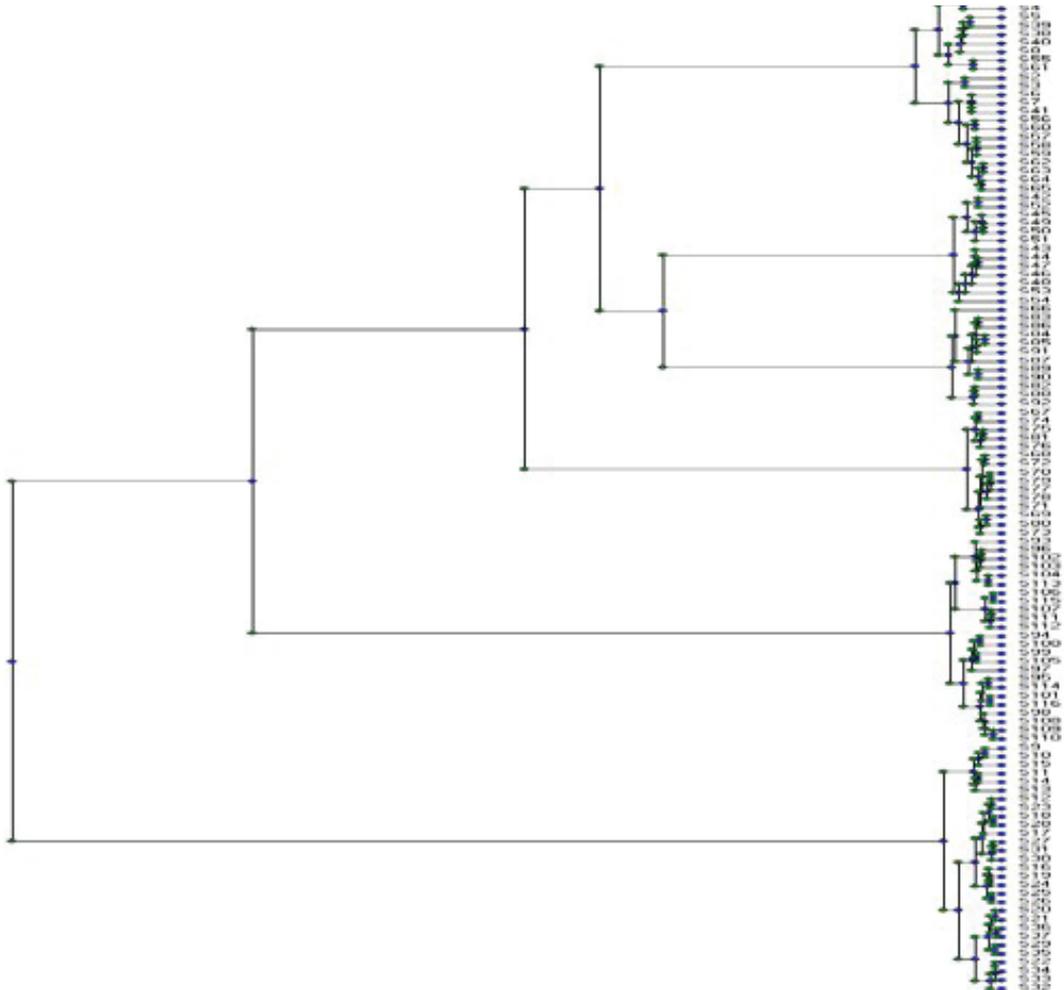
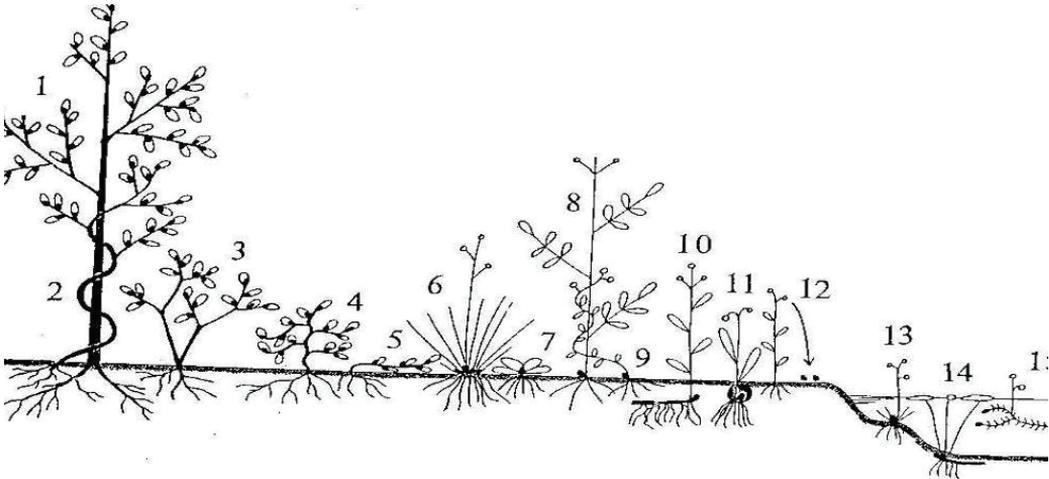


Figure 16. Dendrogramme illustrant les différents groupes (Savado, 2013).

Les chaméphytes prolongent les phanérophytes dans les voies d'involution (évolution régressive). Leur tige, quel que soit son architecture ou son caractère adaptatif, ne s'élève pas à plus de 50 cm au-dessus du sol. Ces plantes bénéficient du microclimat particulier qui se produit dans leur sur-arondissement immédiat. Ce sont des arbustes ou des herbes miniatures qui peuvent être dressés ou rampants. Les chaméphytes sont en général très polycalles et pollacanthes (fleurissent plusieurs fois au cours de leur existence). Ils vivent en moyenne moins longtemps que les phanérophytes. Les chaméphytes se trouvent dans les zones de montagne où le climat est sec et la saison froide longue.

Chez les plantes semi-cachées, ou hémicryptophytes, l'appareil caulinien très involontaire s'est retiré dans le sol. Il est constitué d'un rhizome ou d'un tubercule dont les bourgeons sont très proches de la surface du sol et qui développe, à des moments favorables, des tiges feuillues poussant au-dessus du sol. Les hémicryptophytes sont particulièrement répandus dans les régions de grand froid et les savanes. Sous les tropiques, elles sont représentées par les graminées et les cyperacées des savanes.

Les cryptophytes sont des plantes invisibles pendant la mauvaise saison et donc soustraites aux effets néfastes des périodes défavorables. Dans le cas des Géophytes, les organes sont pérennes et cachés dans le sol. Quant aux hydrogéophytes, leurs organes pérennes sont cachés dans la boue.



Représentation des principales formes de vie avec 1 : mésophanérophilie, mégaphanérophilie ; 2 : liane phanérophilie ; 3 : nanophanérophilie ; 4 : chaméphyte frutescent ; 5 : chaméphyte rampant ; 6 : cespiteux hémicryptophyte ; 7 : hémicryptophyte à rosette ; 8 : hémicryptophyte érigé ; 9 : hémicryptophyte liane ; 10 : géophyte à rhizome ; 11 : géophyte à bulbe ; 12 : thérophyte ; 13 : hydrohémicryptophyte ; 14 hydrogéophyte ; 15 : hydrophyte flottant.

Figure 17. Types biologiques

Les théophytes des plantes qui ne vivent que pendant l'été. Ce sont des plantes annuelles qui traversent la mauvaise saison à l'état de diaspore. Ce sont des hapaxanthes (qui ne fleurissent qu'une fois dans leur vie). Les théophytes peuvent être assimilés à des inflorescences portant le nombre de feuilles assimilatives strictement nécessaire à la formation d'un maximum de fleurs et de fruits. La durée de vie maximale des théophytes n'est que de quelques mois à plusieurs dizaines de jours. Ces plantes se trouvent sous tous les climats. Cependant, ils sont admirablement préparés à vivre dans des climats secs ou froids. On les trouve dans les régions sub-désertiques et désertiques.

Aux cinq principaux types biologiques, on peut ajouter les épiphytes qui n'ont pas de racines dans le sol et qui se développent sur d'autres plantes. Un épiphyte est une plante qui vit sur une autre plante sans lui être nuisible. Ces plantes utilisent les autres plantes comme de simples supports. Ils n'exploitent pas les nutriments qu'ils contiennent et ne sont donc pas des parasites. Les épiphytes sont caractéristiques des forêts humides intertropicales denses.

3.3.4 Types phytogéographiques

Indicateurs de la répartition spatiale des groupes de plantes

La phytogéographie étudie la répartition des espèces végétales à la surface du globe. La détermination des affinités chorologiques des différentes espèces s'est faite à l'aide de subdivisions au niveau du globe.

Les types de répartition phytogéographique ont été établis en fonction des principales sous-divisions chorologiques existant pour l'Afrique (White, 1986). Les principaux types de distribution (TP) utilisés sont :

- Espèces à large répartition :
Cos = cosmopolite, espèces présentes dans les pays tropicaux et non-tropicaux ; Pan = pantropical, espèces réparties dans toutes les régions tropicales ;
Pal = paléotropical, espèces présentes en Afrique tropicale, Asie tropicale, Australie et Madagascar ;
Aam = Afro-Américain, espèce présente en Afrique et en Amérique tropicale ;
- Espèces africaines pluri- régionales :
SZ = Sudano-Zambésien, espèce présente à la fois dans les centres d'endémisme soudanais et zambiens ;
AT = Afro-tropical, espèce distribuée dans toute l'Afrique tropicale ; AM = Afro-malgache, espèce distribuée en Afrique et à Madagascar ;
P-A = Espèce africaine multirégionale dont l'aire de répartition s'étend à plusieurs centres régionaux d'endémisme ;
GC = espèce guinéenne-congolaise, espèce largement distribuée dans la région guinéenne ;
SS = espèce sahélo-saharienne, à la fois sahélienne et saharienne ;
S-S = Espèces sahélo-soudanaises, à la fois sahéliennes et soudanaises.
S = Espèces soudanaises, espèces largement distribuées dans le Centre régional d'endémisme soudanais.

3.3.5 Autres méthodes d'étude de la végétation

Phytoécologie, phytosociologie synusiale

La phytoécologie est l'étude des relations entre l'environnement et la végétation. La phytosociologie synusiale intégrée a été développée dans les années 1980 sur la base des travaux de trois chercheurs : B. de Foucault, F. Gillet et P. Julve. Elle puise ses racines dans les concepts développés au début du siècle par, Lippmaa, Braun-Blanquet, Gams, Du Rietz, Tüxen et Raunkiaer entre autres. Elle a été développée par l'introduction de l'intégration paysagère, de concepts systémiques et structuralistes, et par l'apport de méthodologies précises (analyse dynamique, architecturale et écologique).

Un des concepts centraux de la phytosociologie synusiale est basé sur la définition de la synusie végétale. D'un point de vue fonctionnel écologique, les synusies sont des communautés très homogènes. Elles comprennent des espèces qui vivent ensemble et ont des stratégies de vie similaires.



Résumé

La phytosociologie est une science qui étudie la structure des groupements de plantes. Cette session qui traite de la question commence par une définition des concepts avant de présenter la fiche phytosociologique elle-même à travers ses principales étapes avant de terminer par la distinction des groupes de plantes. De plus, les notions de types biologiques, de types phytogéographiques et d'autres méthodes d'étude connexes sont abordées.

3.4 Gestion durable des forêts et certification



Objectifs

AA la fin de cette session, l'apprenant sera capable de :

- identifier les outils nécessaires à une bonne gestion des forêts ;
- expliquer les techniques et l'importance de la certification forestière ; et,
- décrire les différentes normes de certification forestière



Activité 1 (Remue-méninges) (20 minutes)

- Qu'est-ce que la certification forestière ?
- Quelle est l'importance de la certification forestière ?
- Comment réaliser une certification forestière ?

3.4.1 Indicateurs de gestion durable des forêts

Un indicateur est un attribut quantitatif, qualitatif ou descriptif qui, lorsqu'il est assuré ou contrôlé périodiquement, indique la tendance du changement.

Des indicateurs devraient être utilisés pour quantifier le suivi de l'application des plans et directives régionaux de gestion des forêts, ainsi que des instructions sur l'inclusion de la biodiversité dans la gestion et le développement des forêts. Les indicateurs de gestion durable intègrent de nombreux facteurs, notamment la richesse floristique, le taux de rétablissement, la densité et la structure de la population.

3.4.2 Certification des forêts

Définition, origine et évolution du concept

La certification forestière est ancrée dans le concept de **développement durable**, terme utilisé par l'Union Internationale pour la Conservation de la Nature (UICN) au début des années 1980. Le terme a été adopté par la Commission mondiale sur l'environnement et le développement en 1987 dans le rapport s. Ce livre, communément appelé " Rapport Brundtland ", en référence à la présidente de la Commission, Gro Harlem Brundtland, définit le concept de développement durable comme " un développement qui répond aux besoins du présent sans compromettre la capacité des générations futures de répondre aux leurs ". Le développement durable peut également être exprimé comme une activité qui est " économiquement viable, socialement acceptable et respectueuse de l'environnement ".

Comme le concept de développement durable est étroitement lié aux ressources naturelles, le secteur forestier a fait l'objet d'une attention particulière, notamment lors du Sommet de la Terre tenu à Rio de Janeiro en 1992, où les dirigeants mondiaux se sont mis d'accord sur l'adoption d'un cadre international pour la gestion durable des forêts, faisant ainsi référence au développement durable des forêts.

La déforestation dans les régions tropicales mobilise différentes catégories d'acteurs qui attirent l'attention de la communauté internationale, en particulier depuis la fin des années 1980 (Tsayem et Fotsing, 2004). Cette mobilisation est essentiellement menée par de nombreuses organisations internationales non gouvernementales établies dans les pays développés et qui plaident avec force pour la protection/conservation des forêts tropicales dans les pays en développement. La pression exercée par ces ONG internationales, très souvent avec le soutien des médias, a conduit les pays développés et la communauté internationale en général à adhérer à la volonté de mettre en œuvre une " gestion durable " des forêts tropicales, considérées comme " réservoirs de biodiversité ", " patrimoine génétique et biologique mondial " et/ou " bien planétaire ", victimes de surexploitation et d'extinction. Les conférences internationales de Rio de Janeiro (1992) et de Johannesburg (2002) ont intégré ce paradigme dans le concept de développement durable.

Afin de réaliser et d'évaluer cette gestion durable, la certification forestière, initiée en 1989 par l'ONG internationale américaine Rainforest Alliance, a été progressivement promue comme une norme de qualité visant à garantir aux consommateurs occidentaux de bois et de produits connexes que ces matériaux proviennent de systèmes de production et de gestion qui respectent les principes et les critères de durabilité. Plus de cinquante systèmes de certification forestière sont actuellement distribués dans le monde entier, ce qui conduit parfois à une sorte de " guerre des labels " (Arnould, 1999). Ces systèmes de certification sont basés sur des processus différents et utilisent des outils d'évaluation qui se caractérisent et se différencient les uns des autres. Contrairement aux continents européen et américain, la certification forestière reste très faible en Afrique et particulièrement en Afrique centrale.

Quelques systèmes de certification forestière dans le monde

Les systèmes de certification forestière les plus courants comprennent : le **Forest Stewardship Council** (FSC), le Programme de reconnaissance des certifications forestières (PEFC) et l'Organisation internationale de normalisation (ISO). A ces trois principaux systèmes de certification, s'ajoute la certification forestière panafricaine (PAFC) qui a été créée pour être appliquée spécialement en Afrique.

Le système de certification du Forest Stewardship Council (FSC) a été établi en 1993 sous la direction du WWF, avec le soutien de Greenpeace et des Amis de la Terre. Aujourd'hui, elle est basée à Bonn, en Allemagne, et comprend des membres représentant diverses catégories socioprofessionnelles : opérateurs économiques (industries et commerce du bois), ONG environnementales et de défense des droits de l'homme, organisations syndicales, etc. Souhaitant avoir une dimension internationale, le FSC a élaboré et publié un ensemble de principes et de critères pour la gestion durable des forêts. Ces principes et critères sont au nombre de dix et comprennent le respect de la loi, le régime foncier, les droits des peuples autochtones, les impacts environnementaux, les plans de gestion, etc. (Smouts, 2001). Elles servent de base à l'élaboration des normes de certification FSC applicables aux entreprises publiques ou privées qui opèrent dans le domaine de l'exploitation et de la transformation du bois et qui souhaitent obtenir le certificat FSC. Le processus de certification FSC comporte plusieurs étapes :

- l'accréditation de certificateurs indépendants de la GDF conformément aux principes et critères publiés par le FSC ;
- la vérification de la durabilité de la gestion forestière par des certificateurs accrédités ;
- l'attribution de certificats de gestion durable et de traçabilité du bois pour une période de cinq ans ;
- le contrôle des certificateurs accrédités ; et,
- les audits de contrôle pour le respect continu des principes et critères de durabilité par les détenteurs de certificats FSC ;

Le FSC certifie la durabilité de la gestion forestière et la traçabilité des produits du bois. Cette certification conduit à l'étiquetage des produits selon deux types de labels : le label FSC 100% et le label Mixed Sources. L'étiquetage des produits du bois garantit aux acheteurs que le bois provient d'une forêt certifiée et qu'il a été transformé selon les normes de durabilité.

Le **Programme de Reconnaissance des Certifications Forestières** (PEFC), connu à l'origine sous le nom de Certification forestière paneuropéenne, est une association non gouvernementale à but non lucratif créée en 1999 à l'initiative des présidents des fédérations nationales de propriétaires forestiers de six pays européens (Allemagne, Autriche, Finlande, France, Norvège et Suède). Créé pour s'appliquer en Europe, le PEFC a depuis 2001 étendu son champ d'application au-delà de l'Europe (Canada, Etats-Unis).

Le PEFC défend le principe de subsidiarité, qui permet à chaque niveau géographique de définir et de préciser les règles de la GDF en fonction des situations locales. Elle inscrit la certification dans le

processus de normalisation ISO, en respectant ses règles de vérification et ses méthodes de contrôle. Les règles de GDF sont précisées en fonction des circonstances locales. Ainsi, pour le niveau européen, les règles de GDF découlent de processus intergouvernementaux tels que les processus d'Helsinki (1993), de Lisbonne (1998) et de Vienne (2003). Le processus d'Helsinki définit six grands critères pour la GDF, notamment le maintien de la viabilité des forêts et de leurs fonctions de production de bois, la conservation et l'amélioration de la biodiversité, des avantages et des conditions socio-économiques des populations.

Les processus intergouvernementaux définissent les grandes lignes de la GDF qui serviront de base à la mise au point des normes et des modèles nationaux sur lesquels repose l'évaluation de la certification PEFC. Les schémas nationaux de gestion forestière sont spécifiques et adaptés aux réalités locales de chaque pays là où il existe des organismes nationaux et régionaux de PEFC. La démarche de certification PEFC s'inscrit dans une dynamique participative de ses acteurs et d'amélioration continue des pratiques au sein des entités nationales et régionales du PEFC. Les entités PEFC nationales et régionales de chaque pays sont composées de trois collèges : producteurs, transformateurs et consommateurs. L'entité nationale définit, sur la base de critères issus de processus intergouvernementaux, le système national de certification PEFC ou le cadre de référence des principes et recommandations pour la GDF.

L'Organisation internationale de normalisation (ISO) a été créée en 1947 et s'est d'abord intéressée aux normes techniques relatives aux produits. A vocation internationale comme le FSC ou le PEFC, l'ISO est une ONG qui regroupe 140 organismes nationaux de normalisation. Il réunit des entreprises, grandes et petites, des gouvernements et des ONG. Depuis la conférence de Rio en 1992, l'ISO s'intéresse au processus de production et fournit, à travers sa série 14000, un cadre pour la certification des systèmes de gestion environnementale. Cette série 14000 est une initiative d'entreprises qui cherchent à améliorer leur image auprès des pouvoirs publics, du public, des ONG environnementales et des partenaires financiers. Ces entreprises se sont engagées à respecter les exigences de la norme ISO afin d'améliorer la maîtrise des impacts environnementaux de leurs activités.

La certification des systèmes de gestion environnementale est basée sur la norme ISO 14001, mondialement connue comme un système de référence permettant à tout organisme ou à toute organisation demandant la certification de mettre en place un système de gestion environnementale (SGE). Le SGE désigne l'ensemble des moyens et processus mis en œuvre dans le cadre d'une démarche formelle de gestion environnementale. Il est basé sur la définition précise des règles de procédure et d'organisation et vise l'amélioration continue des performances de l'organisation par la mise en œuvre de cinq principes définis par l'ISO. Ces principes sont liés à la politique environnementale et à sa planification par l'entreprise, à sa mise en œuvre et à son suivi.

La **certification forestière panafricaine (PAFC)** a été initiée au milieu des années 1990 en se positionnant comme le système de certification forestière qui intègre les valeurs et les réalités socioculturelles et économiques de la gestion forestière en Afrique. C'est un outil qui permet aux producteurs de bois africains de gérer durablement les forêts et de s'adapter à l'évolution des marchés internationaux du bois. Proposé comme une alternative au monopole des systèmes internationaux de certification forestière, elle est basée sur la volonté politique des dirigeants des pays africains. Elle est membre de l'Organisation Africaine du Bois (OAB) dans le but d'inclure la certification forestière dans les priorités de la GDF pour les forêts du bassin du Congo. Elle utilise les principes, critères et indicateurs de la GDF définis par l'OAB et l'OIBT (Organisation internationale des bois tropicaux). Ces principes, critères et indicateurs ont été validés par les administrations forestières des pays membres de l'OAB. Ils comprennent l'utilisation des forêts et le maintien de leurs fonctions, la fourniture de biens et de services, et l'amélioration du bien-être économique et social des employés et des populations locales (OAB-OIBT, 2003). L'approche de certification de la PAFC est basée sur celle du PEFC, par exemple en ce qui concerne la définition des régimes nationaux.

3.4.3 Synthèse des systèmes de certification FSC, PEFC, ISO et PAFC

La comparaison de ces quatre systèmes de certification montre que chacun d'entre eux possède ses outils et ses approches de certification avec des caractéristiques qui les distinguent tout en les rapprochant les uns des autres. La représentation cartographique des zones forestières certifiées par le FSC et le PEFC, deux des systèmes de certification les plus répandus dans le monde, indique que les forêts tempérées et boréales sont plus certifiées que les forêts tropicales.

Tous les systèmes de certification se concentrent sur la composante environnementale. La composante sociale est davantage prise en compte par le FSC et le PAFC comparativement aux autres systèmes. De nombreux principes et critères du FSC et du PAFC se chevauchent (principes 2 à 10 du FSC et principes 2 à 4 du PAFC). Les systèmes FSC et ISO sont ouverts aux gestionnaires, propriétaires, exploitants et industriels qui en font la demande sans aucune obligation d'y adhérer, contrairement au PEFC dont le certificat et le label ne peuvent être attribués qu'aux membres des entités PEFC ou aux acteurs forestiers des pays ayant un système de certification reconnu par le Conseil du PEFC. Cependant, la démarche de certification PEFC semble intéressante à plusieurs égards : le développement de systèmes de certification nationaux adaptés au contexte d'application, la possibilité de certification de petites surfaces forestières, et la mise en commun de ressources financières par des groupes d'acteurs forestiers pour soutenir les frais de certification.

Contrairement aux continents européen et américain, la certification forestière reste très faible en Afrique (RODA, 2001). Avec environ 1 523 000 ha de forêts certifiées (tous systèmes confondus), l'Afrique centrale dispose d'une petite superficie de forêts certifiées. La première expérience de certification forestière en Afrique centrale remonte à 1996. Elle est issue de la société Leroy Gabon mise en place au Gabon. Elle a donné lieu à la délivrance d'un certificat FSC après évaluation par la Société Générale de Surveillance (société franco-suisse accréditée par le FSC).



Résumé

Cette séance a porté sur la GDF et la certification. Ainsi, les définitions des concepts clés sont d'abord données avant d'aborder les indicateurs de gestion durable. En outre, la séance consacrée à la certification forestière a porté principalement sur les définitions et les principaux systèmes de certification forestière.

3.5 Évaluations environnementales



Objectifs

A la fin de cette session, les apprenants seront capables de :

- Expliquer le concept d'écosystème dégradé ;
- Décrire les concepts et les différentes étapes de l'évaluation environnementale
- Clarifier les techniques d'évaluation économique des ressources.



Activité 1 (Remue-méninges) (20 minutes)

- Comment reconnaître un écosystème dégradé ?
- Quelles mesures peuvent être prises pour atténuer les impacts de toute gestion ?
- Qu'est-ce qu'une évaluation environnementale ?
- Comment effectuer une évaluation environnementale ?
- Précautions à prendre pour assurer une bonne évaluation environnementale ?

3.5.1 Évaluation de la dégradation des écosystèmes

La dégradation des écosystèmes arides est traditionnellement liée à deux facteurs : le changement climatique et les activités humaines. La première est considérée comme inévitable tout au long du siècle. Cependant, la végétation des zones arides est adaptée à ce type de changement récurrent et ses effets sur la disparition des espèces sont généralement limités (Darkoh, 2003). En revanche, l'impact des activités humaines (notamment l'élevage) sur la végétation reste à définir à court terme. Il est probable qu'il soit la cause de changements majeurs et peut-être irréversibles dans la couverture végétale et donc dans les ressources naturelles vivantes (Khresat et al., 1998 ; Darkoh, 2003).

3.5.2 L'évaluation environnementale

Une définition au sens large de l'évaluation environnementale fait référence à l'évaluation de la composition et des conditions des environnements biophysique, humain et non humain. L'évaluation environnementale doit prendre en compte l'environnement dans son ensemble (ressources, biodiversité, risques naturels ou technologiques, énergie, patrimoine, aménagement du territoire, gestion, etc.) et rendre clair le processus de prise de décision par l'information et la participation du public. Elle fournit notamment un cadre pour l'analyse transversale et permet un décroisement des thèmes et des études.

L'évaluation environnementale est un processus continu et itératif. Elle permet d'analyser les effets environnementaux d'un projet, d'un plan ou d'un programme et de prévenir les effets néfastes sur l'environnement. Cette analyse couvre l'état de l'environnement, les impacts prévisibles, la justification des choix par rapport aux alternatives possibles, les mesures pour éviter, réduire ou même compenser les effets sur l'environnement, et un résumé non technique.

L'intégration des préoccupations environnementales doit être priorisée en appliquant le triptyque éviter> réduire>compenser. C'est-à-dire qu'il faut chercher à éviter et à éliminer les impacts avant de les réduire et, s'il reste des impacts résiduels importants, les compenser dans la mesure du possible. De plus, l'accent doit être mis sur l'action à la source et l'utilisation des meilleures technologies économiquement acceptables disponibles.

L'évaluation environnementale est un outil d'aide à la décision. Elle doit donc être initiée le plus tôt possible et s'insérer suffisamment tôt dans la procédure d'autorisation ou d'agrément afin d'orienter les choix du requérant et de l'autorité décisionnelle.

3.5.3 Objectifs de l'évaluation environnementale

Le processus d'évaluation environnementale assure la prise en compte de l'environnement le plus en amont possible afin d'assurer un développement équilibré du territoire. Il permet de cerner les enjeux environnementaux et de s'assurer que les orientations envisagées dans le plan ou le programme sont pertinentes. Les objectifs de l'évaluation environnementale sont les suivants :

- vérifier que tous les facteurs environnementaux ont été pris en compte à chaque étape de la préparation du plan ou du programme ;
- analyser, tout au long du processus d'élaboration du plan ou du programme, les effets potentiels des objectifs et des orientations de développement et de gestion sur l'ensemble des composantes du milieu ;
- permettre les changements nécessaires afin d'assurer la compatibilité des lignes directrices avec les objectifs environnementaux ; et
- préparer une évaluation factuelle des effets du plan ou du programme sur l'environnement.

L'évaluation environnementale doit être considérée comme une approche pour un projet cohérent et durable. Il doit s'appuyer sur tous les processus qui permettent de vérifier l'intégration des :

- objectifs de la politique de protection et de développement de l'environnement, qui doivent se traduire par des engagements aussi précis que ceux relatifs à la planification et au développement ;
- dispositions visant à réduire les effets négatifs et à renforcer les effets positifs des lignes directrices adoptées ;
- études sur les impacts environnementaux ; et,
- des résultats des discussions sur la compatibilité des différents enjeux territoriaux (économiques, sociaux et environnementaux).

3.5.4 Les différents types d'évaluation environnementale

L'évaluation environnementale doit prendre en compte l'environnement dans son ensemble (ressources, biodiversité, risques naturels ou technologiques, énergie, patrimoine, aménagement et gestion du territoire, etc.) et clarifier la prise de décision notamment par l'information et la participation du public. En particulier, elle fournit un cadre pour l'analyse transversale et permet un décloisonnement des thèmes et des études. Pour les projets, l'étude d'impact existe depuis 1976.

3.5.5 Évaluation économique des écosystèmes

Importance de l'écosystème dans l'évaluation économique

Les concepts d'écosystème, de biodiversité et de biens et services écologiques méritent d'être clarifiés dans ce texte, car il sera possible de comprendre les différentes relations entre ces composantes. Cela nous permettra de mesurer les valeurs et d'essayer ensuite de soutenir plus efficacement la gestion des ressources naturelles.

La symbiose de deux composantes, le biotope et la biocénose, est nécessaire pour satisfaire à la définition d'un écosystème (Olivier, 2011). Le biotope est représenté par un amalgame de facteurs abiotiques, c'est-à-dire de composantes de nature physique et chimique qui différencient un milieu naturel donné d'un autre et créent une grande variété d'habitats. Ce milieu physico-chimique doit être relativement stable dans le temps pour permettre à la biocénose, c'est-à-dire au monde vivant, de s'y associer et de trouver sa niche. La biocénose est composée d'une communauté spécifique dans laquelle les interactions entre les populations, les individus et les espèces sont très organisées.

Celles-ci résultent des unités structurelles et fonctionnelles de l'écosystème. Par définition, un écosystème est donc sans dimension spatiale puisque la seule condition pour être en présence d'un écosystème est qu'il y ait une vie particulière dans un habitat spécifique. La dimension est délimitée par ce que l'on cherche à comprendre (ib.). Cette allégation est particulièrement importante dans un contexte d'évaluation économique qui aide à la prise de décision, car elle est généralement liée à une contrainte spatiale. En effet, comme les écosystèmes diffèrent énormément les uns des autres et ne fournissent donc pas tous les mêmes services écologiques, il est essentiel d'entreprendre des évaluations économiques à une échelle temporelle et spatiale spécifique (UK NEA, 2011).

Biens et services écologiques

Sans biodiversité, aucun bien ou service écologique ne peut exister (Limoges, 2011). Ils sont les bienfaits des écosystèmes qui contribuent au bien-être humain. La qualité et la quantité de ces services écologiques semblent dépendre de l'intégrité des écosystèmes et du maintien de la biodiversité. Plus un écosystème génère des biens et services écologiques utiles aux humains, plus sa valeur économique sera élevée. Il est donc important de connaître et de comprendre comment les écosystèmes fonctionnent et dans quelle mesure ils génèrent leurs biens et services.

La résilience des écosystèmes, c'est-à-dire leur capacité à s'adapter aux perturbations et à continuer à produire des biens et services, doit être connue pour assurer leur continuité dans le temps (Sukhdev, 2010). Cependant, il manque encore beaucoup de connaissances pour évaluer avec précision cette résilience, qui peut entraîner la détérioration de l'écosystème au-delà de son seuil critique, son point de non-retour (ib.). Cette situation entraînerait l'obligation de remplacer les services fournis par cet écosystème. Ce remplacement pourrait être plus coûteux que si l'écosystème avait été mieux géré au départ.

Catégories de biens et services écologiques

Les services écologiques varient énormément d'un écosystème à l'autre, ce qui rend difficile l'identification de ceux qui sont pertinents pour l'étude de cas. Étant donné la complexité du fonctionnement et des processus des écosystèmes, l'une des premières étapes pour bien comprendre l'évaluation consiste à regrouper ces fonctions où il est possible de classer les différents biens et services écologiques (De Groot, 2002). Cette approche facilite la comparaison des différents bénéfices (Wallace, 2007) et limite également la possibilité d'une double comptabilisation des services écologiques, ce qui fausserait les résultats de l'évaluation économique (UK NEA, 2011).

Il existe un large éventail de systèmes de classification des biens et services écologiques (UK NEA, 2011 ; DSS 2010 ; Limoges 2009 ; Wallace 2007 ; Boyd et al., 2006 ; De Groot 2002). Cependant, le classement de l'EM semble être le plus fréquemment adopté (DSS, 2010) par les scientifiques indépendants (UK NEA 2011, Brahic et Terreux 2009) et par les entités gouvernementales (Reveret et al., 2008). Selon l'EM, les services peuvent être classés en quatre catégories : les services d'achat, les services de réglementation, les services culturels et les services de soutien.

3.5.6 Évaluation économique des biens et services

L'économie inclut la science du compromis (Bourassa, 2011a). En effet, la totalité des ressources et surtout les ressources naturelles étant en quantité limitée, des choix quant à leur utilisation sont nécessaires. Ces choix peuvent être éclairés par l'évaluation de solutions de substitution aux utilisations possibles du capital naturel en comparant les avantages et les coûts (Sukhdev, 2008). Pour ce faire, il est conseillé de réduire la comparaison à une unité commune, le dollar, et " l'économie devient, entre autres choses, un " traducteur " en dollars des changements d'unités physiques par écosystème (m³, nombre de poissons, etc.) ". (Bourassa, 2011a).

Concepts

Plusieurs concepts économiques doivent être observés lors de l'évaluation des biens et services écologiques. D'abord, il est important de noter que l'évaluation économique est basée sur une approche anthropocentrique où les valeurs environnementales sont liées au concept d'utilité (Bourassa, 2011a, Nolet, 2011 ; National Research Council of the National Academies (NRC), 2004). En d'autres termes, et dans son expression la plus simplifiée, l'évaluation économique prend en compte l'utilité d'un bien ou d'un service écologique et le bien-être qu'il procure aux êtres humains. Toutefois, l'avantage qu'un individu tire de l'utilisation d'un bien n'est pas nécessairement perçu comme un avantage pour les autres, c'est-à-dire que ce qui est utile pour l'un ne l'est pas nécessairement pour les autres. Inévitablement, les valeurs attribuées aux biens sont relatives et dépendent de l'individu. En effet, ceux-ci dépendent des besoins et des désirs, contraints et influencés par la disponibilité du bien, le revenu et le niveau d'éducation de chacun ainsi que la variable temporelle (Brahic et Terreaux, 2009 ; NRC, 2004). En général, les évaluations économiques recherchent la valeur que la société attribue en agrégeant les valeurs individuelles. De plus, il est important de rappeler que le contexte et l'échelle de temps pour la prise de décision sont inhérents à l'évaluation économique (CNRC, 2004 ; Sawyer et al., 2001).

Une autre notion importante en économie renvoie au fait que les individus ont des préférences pour certains biens et services (Field et Olewiler, 2005). Ces préférences se reflètent dans la volonté de payer (VDP) de l'individu (NRC, 2004). Pour connaître la valeur qu'un individu donne à un bien, il faut se demander combien il est prêt à payer pour ce bien ou combien il est prêt à recevoir pour compenser sa perte ou sa dégradation (Field et Olewiler, 2005). Les évaluations économiques tentent d'identifier ces préférences pour les changements de l'état de l'environnement et de les traduire en termes monétaires (Defra, 2007). La notion de marginalité est donc particulièrement importante (Field et Olewiler, 2005) puisque c'est à partir de la valeur marginale, c'est-à-dire de la dernière unité, qu'il sera possible d'évaluer ce qu'un simple changement dans la productivité d'un écosystème donné peut induire en termes de bien-être humain (Brahic et Terreaux, 2009). Dans un tel contexte, il est important de comprendre comment un changement dans la quantité et la qualité des composantes environnementales qui constituent les écosystèmes et produisent des biens et services écologiques aura un impact sur le bien-être humain.

Le prix du marché correspond au point d'équilibre, c'est-à-dire lorsque la courbe de l'offre croise celle de la demande (Field et Olewiler, 2009). Le prix est une mesure qui démontre l'importance d'un actif en termes économiques mais qui sous-estime la valeur de l'actif parce que le surplus du consommateur n'est pas pris en compte dans ce prix. Le surplus du consommateur est un concept important en économie qui équivaut à l'avantage net qu'un consommateur tire de l'utilisation d'un bien (Poder, 2011). Cet avantage correspond à la zone hachurée en jaune dans laquelle s'inscrit le " surplus du consommateur " sous la courbe de la demande et au-dessus du prix fixe. La VDP correspond à toutes les zones hachurées (grises et jaunes), y compris le surplus pour le consommateur.

Valeur économique totale

La valeur économique totale (VET) est un cadre d'évaluation permettant de déterminer l'ensemble des valeurs générées par les biens et services écologiques d'un écosystème (Brahic et Terreaux, 2009, Reveret et al., 2008 ; CNRC, 2004). L'avantage de l'utilisation de la VET pour catégoriser les différentes valeurs des biens et services écologiques est qu'elle favorise une approche économiquement logique et qu'elle inclut tous les aspects de la valeur environnementale (Marbek, 2010). En premier lieu, il apparaît essentiel de préciser que la VET résultant des évaluations économiques correspond à des valeurs pertinentes pour la prise de décision et offre un ordre de grandeur pour évaluer les compromis environnementaux en fonction des objectifs de l'évaluation (Bourassa, 2011c ; Nolet, 2011). Le cadre de la VET a été élaboré pour catégoriser la diversité de ces valeurs ou avantages (CNRC, 2004). Cette classification peut contribuer à réduire la possibilité d'oublier certaines valeurs dans les évaluations ou de les évaluer deux fois (ib.). La VET peut être évaluée à l'aide de valeurs d'usage et de non-usage (Bourassa, 2011a ; Anielski et Wilson, 2005 ; CNRC, 2004).

Il est important de noter que la VET ne signifie pas que toutes les valeurs associées aux biens et services écologiques d'un écosystème doivent être systématiquement calculées. Il faut plutôt évaluer toutes les valeurs touchées par les individus lorsqu'il y a un changement dans les biens et services écologiques en cause (CNRC, 2004). Le contexte de la prise de décision devient alors très important. En effet, les changements dans l'écosystème dépendent de la question à considérer qui diffère d'une situation à l'autre.

Valeurs d'usage

Les valeurs d'usage proviennent de trois sources : l'utilisation directe ou indirecte des ressources naturelles ou les valeurs d'option. Les valeurs d'usage direct sont celles qui sont directement consommées par la population. Souvent, une valeur marchande est associée à l'utilisation de ces biens et services écologiques lorsque la ressource est extraite. Lorsqu'il n'y a pas de prélèvement de ressources, les valeurs d'usage direct peuvent également inclure les avantages non marchands découlant, par exemple, des activités récréatives (Brahic et Terreaux, 2009 ; Anielski et Wilson, 2005 ; CNRC, 2004). Dans les deux cas, l'usage direct exige une certaine interaction physique entre l'homme et son environnement naturel (CNRC, 2004).

Les valeurs d'usage indirect sont dérivées des services écologiques qui fournissent un soutien et une protection indirects pour le maintien de la production de ressources générant des activités économiques (Brahic et Terreaux, 2009 ; CNRC, 2004). Les fonctions de régulation et de soutien sont des exemples de cette catégorie de valeurs. Par exemple, les terres humides présentes sur le territoire peuvent filtrer l'eau avant qu'elle ne s'écoule en aval dans les lacs. De cette façon, l'apport de phosphore et de nitrate dans le lac peut être réduit, ce qui améliore l'utilisation récréative du lac (ib.).

Les valeurs d'option font référence aux utilisations futures potentielles du capital naturel, qu'elles soient directes ou indirectes, qui seraient perdues en cas de changement irréversible d'un écosystème (Bourassa, 2011a ; Olivier, 2011 ; Brahic et Terreaux, 2009). Ces valeurs correspondent au montant que les gens seraient prêts à payer pour préserver l'environnement afin de pouvoir l'utiliser et en profiter plus tard (Brahic et Terreaux, 2009 ; Field et Olewiler, 2005). Un exemple de valeur d'option pourrait être la disparition permanente d'une espèce menacée trouvant sa niche dans la région en raison d'un projet d'habitation qui hypothéquerait l'existence de cette espèce localement ou sur la planète.

Valeurs de non-usage

Comme leur nom l'indique, les valeurs de non-usage représentent les valeurs que les humains attribuent au simple fait que les ressources existent dans la nature sans être nécessairement utilisées ou même perçues (CNRC, 2004). Ces valeurs environnementales peuvent, par exemple, constituer une valeur patrimoniale particulière (Bourassa, 2011a).

La valeur dite patrimoniale fait référence à la volonté de transmettre l'héritage environnemental dont les générations futures pourront bénéficier (Olivier, 2011). Par exemple, les résidents peuvent dans un cas particulier, préserver activement la zone en amont d'un lac afin que ce dernier puisse également être utilisé par les générations futures à des fins récréatives et autres. La valeur d'existence est attribuée en fonction du fait qu'un bien ou un service écologique existe sans être nécessairement observé ou utilisé (CNRC, 2004). Une espèce rare ou un écosystème particulier peut être un exemple pour lequel les humains donneraient une valeur d'existence.

Méthodes d'évaluation économique

Dans l'ensemble, il semble que la mesure de la valeur économique des services d'approvisionnement soit surtout directe puisque la plupart de ces services sont échangés sur le marché et ont donc un prix comme base d'évaluation (Sukhdev, 2008). L'évaluation des services de régulation, des services de soutien et des services culturels est plus difficile car, dans la plupart des cas, ils n'ont pas de prix sur le marché, ce qui les rend moins tangibles et moins concrets. Il est donc moins facile d'estimer leur valeur (ib.). Cependant, les économistes ont développé un ensemble de méthodes pour estimer la valeur non marchande des biens et services écologiques, soit en analysant des marchés alternatifs, soit en créant des marchés artificiels (Bourassa, 2011b).

Les méthodes peuvent être classées en trois catégories : l'approche des préférences révélées, l'approche des préférences déclarées et l'approche du transfert des bénéficiaires.

Les approches de la préférence révélée reposent sur le principe qu'il est possible de " déduire la valeur du compromis à partir des situations et des comportements existants et des décisions réelles prises par les individus " (Bourassa, 2011b). Les préférences des individus se révèlent ainsi en fonction des comportements observés par rapport aux marchés existants concernant les biens échangés (Brahic et Terreaux, 2009 ; Reveret et al., 2008). De nombreuses méthodes peuvent être utilisées, par exemple :

La méthode du prix du marché est appliquée pour les biens commerciaux, par exemple le prix du bois. Cette façon d'évaluer reflète les préférences réelles et individuelles et nécessite des informations relativement faciles à obtenir (ib.). Toutefois, elle ne peut s'appliquer qu'aux biens commerciaux, qui ont un prix de marché. Une autre faiblesse de cette méthode d'évaluation concerne les externalités qui ne sont souvent pas prises en compte dans les prix du marché et qui biaisent l'estimation de la valeur économique (Reveret et al., 2008 ; Field et Olewiler, 2005). Enfin, cette méthode ne tient pas compte de l'excédent pour le consommateur.

Dans l'approche de la tarification hédonique, la préférence sera déduite de la variabilité de la valeur d'une propriété, qui dépend de certains attributs environnementaux qui l'entourent et qui sont pris en compte dans les prix du marché (paysage, qualité de l'eau et de l'air, proximité d'un cours d'eau, etc. Ainsi, cette technique implique la détermination de la contribution relative des variables de qualité environnementale à la valeur du bien (Poder, 2011), qui reflète les préférences réelles des individus (Olivier, 2011). Si la valeur de ces propriétés devait changer, cette approche pourrait être utilisée pour évaluer la mesure dans laquelle le changement des conditions environnementales a contribué à ce changement de valeur. Toutefois, outre qu'elle ne s'applique qu'aux variables environnementales observables, la méthode des prix hédoniques exige un niveau élevé d'expertise en matière de manipulation économétrique des variables ainsi qu'un accès à des données souvent non disponibles sur le marché foncier (ib.).

Une autre variante de l'approche des préférences révélées est celle des coûts de transport. Le principe qui sous-tend cette méthode est que les individus, pour profiter de la nature, vont se déplacer vers des destinations naturelles. Ils généreront des dépenses (Field et Olewiler, 2005). Ces dépenses peuvent être utilisées comme une approximation de leur VDP. Par conséquent, cette dernière méthode est principalement privilégiée pour estimer la valeur des sites de loisirs, des réserves de faune et des parcs naturels (ib.), mais elle nécessite de répertorier de nombreuses données, telles que le nombre de visiteurs, leur origine et la distance parcourue jusqu'au site, ainsi que leurs frais de déplacement (ib.).

Les approches par préférences déclarées, contrairement aux précédentes, ne sont pas fondées sur le comportement observé, mais sur la création hypothétique d'un marché censé refléter une situation de marché. La création d'un marché nous permet de connaître directement ou indirectement la volonté individuelle de payer ou d'être compensé (ib.). Ces scénarios sont soumis aux individus par le biais de sondages ou de questionnaires afin d'enquêter sur leurs préférences individuelles (Field et Olewiler, 2005) quant au compromis à faire suite à un changement de qualité ou de quantité d'un bien ou d'un service écologique (Bourassa, 2011a). Deux méthodes peuvent être utilisées dans cette approche : l'évaluation contingente ou l'analyse conjointe (Bourassa, 2011b). La principale différence entre ces deux méthodes est que l'évaluation contingente invite directement les individus à indiquer leur VDP pour un bien ou un service écologique spécifique (Brahic et Terreaux, 2009), alors que l'analyse conjointe sollicite indirectement les individus en utilisant des scénarios hypothétiques et une approche statistique (Bourassa, 2011b). En outre, l'analyse conjointe étant un peu plus élaborée, il est possible de mieux tenir compte des contraintes budgétaires des individus dans les différents scénarios en comparaison à l'évaluation contingente (ib.).

Ce type d'approche a le mérite d'être flexible dans son application en fonction du type de valeurs évaluées et les résultats obtenus sont relativement faciles à interpréter (Reveret et al., 2008). Toutefois, l'élaboration des questionnaires exige une attention particulière afin d'éviter tout biais possible dans l'intention réelle des répondants (ib.). Une bonne façon d'évaluer les valeurs de non-usage des biens et services écologiques consiste à mener une enquête sur le terrain et à interroger la communauté locale afin de connaître leur VDP, par exemple pour la conservation d'une zone ou son consentement à recevoir une compensation pour la perte de cette zone.

Les approches de transfert de bénéfices consistent à transposer les valeurs économiques des biens et services écologiques obtenus à partir d'études de sites similaires antérieures au site étudié, c'est-à-dire le site pour lequel une valeur économique est recherchée (Bourassa, 2011a). Par exemple, les valeurs d'évaluation économique des services des terres humides dans la région élargie pourraient être transférées au site étudié pour estimer une valeur plausible des services des terres humides dans cette région. Il existe trois types de transfert : le transfert de valeurs (avec ou sans expertise), le transfert de fonctions et la méta-analyse (ib.). En bref, le transfert de valeurs implique simplement d'exporter des données préalablement estimées d'un site d'étude qui correspond au site observé, alors que le transfert de fonctions et la méta-analyse nécessitent d'ajuster ou de développer une fonction de valeurs spécifique aux caractéristiques du site étudié (Brahic et Terreaux, 2009).

L'application du transfert de bénéfices implique de trouver des études pertinentes qui représentent adéquatement les bénéfices des services écologiques que l'on cherche à estimer pour un site d'étude (Evri, 2011).

3.5.7 Systèmes tarifaires et fiscaux

Application du principe du pollueur-payeur

Le principe du pollueur-payeur découle de l'éthique de la responsabilité, qui consiste à sensibiliser l'acteur économique aux externalités négatives de son activité. Son principe a été développé par l'économiste libéral Arthur Cecil Pigou au début des années 1920.

Les mesures prises par le principe du pollueur-payeur visent à rétablir la "vérité des prix" : si une activité économique est à l'origine d'une pollution, le coût de cette pollution (supporté par la collectivité) doit être pris en compte au niveau du pollueur. Le pollueur intègre ainsi dans son choix économique les coûts totaux liés à sa production (coûts privés et coûts externes). Toutefois, l'internalisation ne signifie pas que le pollueur paie le coût des mesures de lutte contre la pollution, mais seulement qu'il en tient compte.

Le principe du pollueur-payeur a été adopté par l'OCDE en 1972 en tant que principe économique selon lequel le pollueur doit assumer la responsabilité des "coûts des mesures de prévention et de contrôle de la pollution adoptées par le gouvernement pour maintenir l'environnement dans un état acceptable". Ce principe est l'un des principes clés qui sous-tendent les politiques environnementales des pays développés. Il est à l'origine de l'internalisation des coûts de pollution par les auteurs de la pollution au moyen d'instruments réglementaires (normes, interdictions, permis, zonage, quotas, restrictions d'utilisation et autres réglementations directes), économiques (redevances, subventions, systèmes de dépôt, création de marchés, incitations à la conformité) ou fiscaux.



Résumé

Cette séance présente les connaissances sur les évaluations environnementales, d'abord par une définition des concepts relatifs. Par la suite, les types d'évaluations environnementales et économiques sont présentés. Une section est consacrée aux biens et services écologiques en mettant l'accent sur leurs différentes catégories. Enfin, les méthodes d'évaluation économique sont présentées

Références

- Anielski, M. & S. Wilson, 2005. Les chiffres qui comptent vraiment : Évaluation de la valeur réelle du capital naturel et des écosystèmes boréaux du Canada. In Initiative boréale canadienne. Recherches et rapports, [En ligne]. http://www.borealcanada.ca/documents/BorealWealth_Fr_Final.pdf.
- Arbonnier, M., 1990. Étude d'une savane graminéenne et forestière en vue de son aménagement, à partir du cas de Koumpentoum (Sénégal). Thèse de doctorat, Université de Nancy 1, France. 2 volumes; vol. 1 105 p., vol. 2 85p.
- Arnould, P., 1999. L'écocertification ou la guerre des labels: vers une nouvelle géo-politique forestière?. In *Annales de Géographie*, n° 609-610, pp. 567- 582. CEFAG, 2000. Régimes des forêts, de la faune et de la pêche, Collection fiscalité pour tous, Yaoundé- Douala, 189p.
- Bergonzi, J.C. & J.P. Lanly, 2000. Les forêts tropicales. Karthala, Cirad, Montpellier, 159p.
- Bourassa, Y., 2011a. Notes de cours ENV. 730 : Économie de l'environnement, session hiver, cours 5. Communication orale ENV 730 : Économie de l'environnement, février 2011, Longueuil, Université de Sherbrooke, Centre universitaire de formation en environnement.
- Bourassa, Y., 2011b. Conférence de Yves Bourassa. Communication orale. Notes de cours ENV. 792 : Valeur des écosystèmes et leur gestion, février 2011. Université de Sherbrooke, Centre universitaire de formation en environnement.
- Boutefeu, B., 2005. L'aménagement forestier en France: à la recherche d'une gestion durable à travers l'Histoire. *VertigO – la revue électronique en sciences de l'environnement*, 6 (2), p. 9.
- Boyd, J. & S. Banzhaf, 2006. What Are Ecosystem Services? The Need for Standardized Environmental Accounting Units. Discussion Paper, Resources for the Future, 29 p.
- Brahic, É. & J.P. Terreaux, 2009. Évaluation économique de la biodiversité: Méthodes et exemples pour les forêts tempérées. Paris, Éditions Quae, 199 p.
- Chandrasekharan, 1995. Terminology, definition and classification of forest products other than wood. In: Report of the international expert consultation on non-wood forest products, pp. 346-380, Yogyakarta (Indonesia). *Produits Forestiers non Ligneux*, FAO, n° 3.
- Cherubini, P., 2000. Tree-ring research beyond the climate change: "Quo vadis?". *Dendro-chronologia* 18: 91-93.
- Cook, E.R., K. Briffa, S. Shiyatov & V. Mazepa, 1990. Tree-Ring Standardization and Growth Trend Estimation. In Cooke, R. & L.A. Kairiukstis (eds.): *Methods of dendro-chronology, applications in environmental sciences*. Kluwer Academic Publisher, Dordrecht, p 104-122.
- Costanza, R., R. d'Arge, R. de Groot, S. Farber, M. Grasso, B. Hannon, K. Limburg, S. Naeem, R. O'Neil, J. Paruelo, R.G. Raskin, P. Sutton & M. van den Belt, 1997. The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature* 387: 253-260.
- Couteron, P. & G. Serpantie, 1995. Cartographie d'un couvert végétal soudano-sahélien à partir d'images SPOT XS exemple du Nord-Yatenga (Burkina Faso). *Photo interprétation*, 33(1):42-43.
- Darkoh, M.B.K., 2003. Regional perspectives on agriculture and biodiversity in the drylands of Africa. *Journal of Arid Environments* 5:261-279.
- De Groot, R.S., M.A. Wilson & R.M.J. Boumans, 2002. The dynamics and value of ecosystem services: integrating economic and ecological perspectives – a typology for the classification, description and valuation of ecosystem functions, goods and services. *Ecological Economics* 41:393-408.

- Department for Environment, Food and Rural Affairs (Defra), 2007. An introductory guide to valuing ecosystem services. In Defra: Ecosystem services – What nature gives us. <http://archive.defra.gov.uk/environment/policy/naturaleviron/documents/eco-valuing.pdf>
- DSS Management consultants Inc., 2010. Technical Report: Valuation of ecological goods and services in Canada's natural resources sectors. Environnement Canada, 43 p.
- Ducks Unlimited Canada, 2004. Natural Values.
- Evrard, C., 1968, Recherches écologiques sur les peuplements forestiers des sols hydromorphes de la cuvette centrale congolaise, INEAC, Colonie Belge, 295 pp.
- Evri, 2011. Evri – Environmental Valuation Reference Inventory, <https://www.evri.ca>.
- FAO, 1999. Vers une définition harmonisée des produits forestiers non ligneux. *Unasylva* 50(198) :63-64. Field, B.C. & N. Olewiler, 2005. *Environmental Economics*. 2nd ed.. McGraw-Hill Ryerson, Canada, 498 p. Fonweban, J.K. & F. Houillier, 1997. Eucalyptus sativa: Tarifs de peuplement et modèles de production. *Bois et Forêts des Tropiques* 253(3):21-36.
- Fonweban, J.N., 1995. Modélisation de la production des peuplements forestiers: Application aux peuplements d'Eucalyptus sativa au Cameroun. Thèse de doctorat. ENGREF, Nancy. 197 p.
- Fritts, H.C., 1976. *Tree rings and climate*. Academic Press. London, New-York, San Francisco. 567 p.
- Gillet, F., 2000. *La Phytosociologie synusiale intégrée. Guide méthodologique*. Université de Neuchâtel, Institut de Botanique. Doc. Labo. Ecol. Vég. 1, 68 p.
- Graumlich, L.J., L.B. Brubaker & C.C. Grier, 1989. Long-term trends in forest net primary productivity: Cascade Mountains, Washington. *Ecology* 70:405-410.
- Guillard, J., 1999. Contribution à l'histoire de l'aménagement dans les pays tropicaux. *Revue forestière française* 51:322-332.
- Guinochet, M., 1973. *La phytosociologie*. Collection d'écologie I. Masson éd., Paris, 227 p.
- Houéto, G., K.R. Glèlè, K.V. Salako, A. Assogbadjo, B. Fandohan, B. Sinsin & R. Palm, 2013. Effect of inventory plot patterns in the floristic analysis of tropical woodland and dense forest. *African journal of ecology* 52(3):257-264.
- Jyrki, J., I. Vanha & T. Tina, 1998. Optimal sample and plot size for inventory of field and ground layer vegetation in a mature Myrtillus-type boreal spruce forest. *Annales Botanici Fennici* 35:191-196.
- Kabore, C., 2004. Test d'applicabilité de l'échantillonnage horizontal par ligne au Burkina Faso. 10 p.
- Kangas, A. & M. Maltamo, 2007. *Forest inventory: methodology and applications*, Springer, Dordrecht. 362 p. Keller, T., J.L. Edouard, F. Guibal, J. Guiot, L. Tessier & B. Vila, 2000. Impact d'un scénario climatique de réchauffement global sur la croissance des arbres. *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences III* 323:913-924.
- Kenkel, N.C. & J. Podani, 1991. Plot size and estimation efficiency in plant community studies. *Journal of Vegetation Science* 2(4):539-544.
- Khresat, S.A., Rawajfih, Z. et Mohammad, M., 1998. Land degradation in north-western Jordan: causes and processes. *Journal of Arid Environments* 39: 623-629. DOI: 10.1006/jare.1998.0385.
- Köhl, M., S. Magnussen & M. Marchetti, 2006. *Sampling methods, remote sensing and GIS multi resource forest inventory*. Springer, Berlin, 144 p.
- Lanly, J.P., 1999. Aménagement et gestion durable. *Revue forestière française* 51:45-49.

Le Prestre, P., 2005. Protection de l'environnement et relations internationales. Les défis de l'écopolitique mondiale, éditions Dalloz/Armand Colin, Coll. U sciences politique, Paris.

Lebrun, J. & G. Gilbert, 1954. Une classification écologique des forêts du Congo, Publication INEAC, Série scientifique N°63, 89 pages.

Lecomte H. & J. Rondeux, 2002. Les inventaires forestiers nationaux en Europe: tentative de synthèse. Les cahiers forestiers de Gembloux 5:3-24.

Limoges, B., 2009. Biodiversité, services écologiques et bien-être humain. In Agri-réseau : Agroenvironnement. [http://www.agrireseau.qc.ca/agroenvironnement/documents/Services_ ecologiques.pdf](http://www.agrireseau.qc.ca/agroenvironnement/documents/Services_ecologiques.pdf)

Limoges, B., 2011. Services écologiques; définitions, limites et défi. Communication orale. Congrès annuel de l'Association des biologistes du Québec, 28 octobre 2011, Boucherville.

Marbek, 2010. Assessing the economic value of protecting the Great Lakes ecosystems: A cost-benefit analysis of habitat protection and restoration. In ministère de l'environnement de l'Ontario. Grands Lacs En savoir plus Étude économique sur les Grands Lacs. http://www.ene.gov.on.ca/stdprodconsume/groups/lr/@ene/@subject/@greatlakes/documents/nativedocs/stdprod_086941.pdf.

Millennium Ecosystem Assessment (EM), 2005. Ecosystems and Human Well-being: Synthesis. World Resources Institute, Washington. <http://www.millenniumassessment.org/documents/document.356.aspx.pdf>

Moreau, F., 1960. Encyclopédie de la pléiade: Botanique. Librairie Gallinard, Paris, 1531 p.

National research council of the National academies (NRC), 2004. Valuing Ecosystems Services: Toward better environmental Decision-Making. National Academy of Sciences. <http://www.nap.edu/openbook.php?isbn=030909318X>

Nolet, J., 2011. Valeur monétaire de la nature: pourquoi, comment et quels résultats? Communication orale. Congrès annuel de l'Association des biologistes du Québec, 28 octobre 2011, Boucherville.

OAB/OIBT, 2003. Principes, Critères et Indicateurs OAB-OIBT de la gestion durable des forêts tropicales naturelles d'Afrique, Série développement des politiques OIBT, 7-25.

Olivier, É., 2011. Notes de cours ENV. 792 : Valeur des écosystèmes et leur gestion. Communication orale. ENV. 792: Valeur des écosystèmes et leur gestion, janvier 2011, Sherbrooke, Université de Sherbrooke, Centre universitaire de formation en environnement.

Pauwels, D., A. Thibaut, P. Lejeune & J. Rondeux, 1999. Elaboration de courbes de croissance en hauteur dominante pour les mélèzes *Larix decidua* *Larix kaempferi* en Belgique meridionale. *Annals of Forest Science* 56 (1):27-34.

Picard, J.F., S. Magnussen, N.L. Banak, S. Namkossereña & Y. Yalibanda, 2010. Permanent sample plots for natural tropical forests: A rationale with special emphasis on Central Africa. *Environmental Monitoring and Assessment* 164(1):279-295.

Picard, N., 2006. Méthode d'inventaire forestier. CIRAD UPR Dynamique forestière, 43 p.

Poder, T., 2011. Notes de cours ENV. 730 : Économie de l'environnement. Communication orale. ENV. 730 : Économie de l'environnement, hiver 2011, Sherbrooke, Université de Sherbrooke, Centre universitaire de formation en environnement.

Rappel, 2010. Évaluation des contraintes environnementales -Zone FR-8, Municipalité de Racine. Sherbrooke, p. 56.

- Reveret J.P., I. Charron & R.M. St-Arnaud, 2008. Réflexions sur les méthodes d'estimation de la valeur économique des pertes d'habitats fauniques. Québec, Groupe Agéco pour le ministère des Ressources naturelles et de la Faune, Direction du développement socio-économique, des partenariats et de l'éducation, 54 p.
- Roda, J.M., 2001. Ecocertification tropicale et idées préconçues. Bois et Forêts des Tropiques, 270.
- Rondeux, J., 1999. La mesure des peuplements forestiers. Presses agronomiques de Gembloux. 522 p.
- Salako V.K., R. Glèlè Kakai, A.E. Assogbadjo, B. Fandohan, M. Houinato & R. Palm, 2013. Efficiency of inventory plots patterns in the quantitative analysis of vegetation: case study of tropical woodland and dense forest in Benin. Southern forests 75(3):137-143.
- Sawyer, D., Y. Bourassa & A. Justason, 2001. Évaluer nos environnements locaux. Projet sur l'évaluation des ressources: Document guide. Canada, Min. de l'environnement du Nouveau-Brunswick, 24 p.
- Schmitz, 1971, La végétation de la plaine de Lubumbashi (Haut Katanga), Série scientifique N°113, INEAC, 388 pages.
- Schweingruber, F.H., 1988. Tree rings. Basic and application of dendrochronology. Reidel publishing company, Dordrecht, Netherlands. 276 p.
- Smouts, M.C., 2001. Forêts tropicales, jungle internationale, les revers d'une écopolitique mondiale. Paris, Presses de sciences politiques, 349 p.
- Sukhdev, P., 2008. L'économie des écosystèmes et de la biodiversité : Rapport d'étape (TEEB). In The Economics of the Ecosystems and Biodiversity. TEEB Reports.
- Sukhdev, P., 2010. L'économie des écosystèmes et de la biodiversité : L'intégration de l'économie de la nature, une synthèse de l'approche, des conclusions et des recommandations de la TEEB. In TEEB Reports.
- Tsayem, D.M. & J.M. Fotsing, 2004. La déforestation tropicale dans le contexte de mondialisation des risques climatiques et écologiques : outils d'évaluation et de suivi. In Espaces tropicaux et risques, du local au global, Presses universitaires d'Orléans et IRD Editions, pp. 431-445.
- Tsiamala-Tchibangu, N. & J.D. Ndjigba, 1998. Utilisation des produits forestiers autres que le bois (PFAB). Cas du Projet forestier Mot Koupé. Tropicultura 16/17 :70-79.
- UK NEA, 2011. Synthesis of the Key Findings. Information Press, Oxford. <http://uknea.unepwcmc.org/Resources/tabid/82/Default.aspx>
- Van Laar, A. & A. Akca, 2007. Forest mensuration. Springer, Dordrecht. 383 p.
- Villeneuve, C., 1999. Le paradoxe de l'arche de Noé. In L'Encyclopédie de l'Agora.
- Wallace, K.J., 2007. Classification of ecosystem services: Problems and solutions. Biological Conservation 139:235-246.7.

Chapitre 4 : Processus, facteurs et impacts du changement climatique

4.0 Aperçu du chapitre

Ce chapitre présente les concepts de changement global, systèmes climatiques, changement climatique et variabilité, facteurs déterminants du changement climatique et vulnérabilité au changement climatique, ainsi que les terminologies connexes. Il examine les liens entre les émissions de gaz à effet de serre (GES) et le changement climatique et les tendances du changement climatique aux niveaux mondial, régional et national. En outre, le chapitre présente aux apprenants les trois grandes catégories de facteurs de changement climatique, à savoir les facteurs externes (extra-terrestre) ; internes (dans le système terrestre); et, anthropogéniques (activités humaines), en mettant davantage l'accent sur les facteurs anthropiques qui entraînent des émissions de GES et des changements dans l'utilisation des terres, y compris la déforestation, l'urbanisation et les transports. Enfin, le chapitre présente aux apprenants les concepts et les déterminants de la vulnérabilité, les approches de son évaluation, son dynamisme, sa vulnérabilité et ses impacts biophysiques, la vulnérabilité et les impacts socioéconomiques, les impacts du changement climatique sur différents secteurs, les stratégies de gestion et de réduction des risques et les moyens de réduire les risques associés au changement climatique.

Objectifs d'apprentissage

- a) A la fin de ce chapitre, les apprenants seront capables de
- b) définir les concepts clés en matière de changement global et climatique ;
- c) expliquer les éléments du changement global et leurs implications sur le changement climatique;
- d) distinguer les composantes des systèmes climatiques ;
- e) synthétiser les preuves du changement climatique ;
- f) analyser les tendances du changement climatique, ainsi que les menaces et les opportunités qui y sont associées aux niveaux communautaire (infranational), national, régional et international ;
- g) expliquer les facteurs du changement climatique ;
- h) évaluer comment les divers facteurs du changement climatique causent la variabilité du climat et augmentent les GES ;
- i) expliquer le concept de vulnérabilité au changement climatique ;
- j) analyser les approches d'évaluation de la vulnérabilité et leur application dans la foresterie et les secteurs connexes ;
- k) décrire l'impact du changement climatique sur les systèmes socio-économiques et les secteurs liés à la forêt ;
- l) expliquer les risques dus au changement climatique et comment entreprendre l'évaluation des risques de catastrophe et la réduction des émissions dans le secteur forestier et les secteurs connexes ; et évaluer la réponse des initiatives aux niveaux infranational, national et régional à la vulnérabilité et à l'impact du changement climatique.

4.1 Concepts relatifs au changement global et climatique

Cette session fournit les définitions de base des terminologies et des concepts relatifs au changement global et au changement climatique. La session explique l'importance d'étudier le changement climatique et explique également les terminologies associées au changement climatique.

Il est important d'étudier le changement climatique parce que la hausse des températures mondiales devrait faire monter le niveau des mers et modifier les précipitations et les autres conditions climatiques locales. Le changement du climat régional pourrait modifier les forêts, le rendement des cultures et les réserves d'eau, et affecter la santé humaine, les animaux et de nombreux types d'écosystèmes. Les déserts peuvent s'étendre dans les pâturages existants et les caractéristiques de certains de nos parcs nationaux et de nos forêts nationales peuvent être modifiées de façon permanente.



Objectifs

À fin de cette session, l'apprenant sera en mesure de

- a) définir toutes les notions de base relatives à la météorologie, au climat, au changement global et au changement climatique ;
- b) expliquer les éléments du changement global et leurs conséquences sur le changement climatique distinguer les composantes des systèmes climatiques.



Activité 1 (Remue-méninges) (20 minutes)

- Partagez vos points de vue sur le concept de changement climatique
- Discutez des effets de la variation de la température et des précipitations sur les personnes, les cultures, les animaux et la forêt ?

4.1.1 Climatologie

Paramètres climatiques

Le climat est la variabilité à long terme, généralement autour de 30 ans, des conditions météorologiques d'une région donnée, tandis que la météorologie est la variabilité à court terme, de quelques minutes à quelques mois, des paramètres atmosphériques.

La détermination du climat est effectuée à l'aide de moyennes annuelles obtenues à partir de données atmosphériques locales : température, précipitations, ensoleillement, humidité et vitesse du vent pour une période d'au moins 30 ans.

Les précipitations désignent toute l'eau (pluie, neige, grêle) sous forme solide ou liquide selon la composition et la température de l'atmosphère. Ce terme météorologique désigne les hydrométéores (cristaux de glace ou gouttelettes d'eau) sur Terre qui, ayant été soumis à des processus de condensation et d'agrégation au sein des nuages, sont devenus trop lourds pour rester en suspension dans l'atmosphère et tombent au sol ou s'évaporent dans les Virgas avant de l'atteindre.

La température est une grandeur physique mesurée au moyen d'un thermomètre et étudiée en thermométrie.

Dans la vie quotidienne, elle est liée aux sensations de froid et de chaleur, résultant du transfert entre le corps humain et son environnement. En physique, elle est définie de plusieurs façons : en fonction croissante du degré d'agitation thermique des particules (en théorie cinétique des gaz), par l'équilibre des transferts thermiques entre plusieurs systèmes ou par l'entropie (en thermodynamique et en physique

statistique). La température est une variable importante dans d'autres disciplines : météorologie et climatologie, médecine et chimie.

L'hygrométrie caractérise l'humidité de l'air, c'est-à-dire la quantité d'eau gazeuse présente dans l'air humide (ou autre gaz, dans certaines applications industrielles). Elle prend en compte l'eau présente sous forme liquide ou solide. Trois types d'hygrométrie peuvent être définis, chacun ayant sa mesure associée :

- absolue : C'est la quantité d'eau sous forme gazeuse (vapeur) dans un volume d'air, exprimée en unités de masse par volume ;
- relative : c'est l'humidité absolue proportionnelle à la valeur maximale, pour une température donnée, exprimé en pourcentage ;
- spécifique : c'est le rapport entre deux masses, celle de l'eau sous forme gazeuse contenue dans un volume d'air, et celle de ce volume d'air.

L'aridité est un phénomène climatique impliquant de faibles précipitations. Dans les régions dites arides, les précipitations sont inférieures à l'évapotranspiration potentielle (ETP). Comme l'aridité est un concept spatial, une région peut être décrite comme aride et non une période. Elle occupe également près de 30 % des terres continentales réparties sous diverses latitudes. Il y a des zones arides en raison de la présence de la partie descendante des cellules de Hadley (une circulation atmosphérique tropicale à l'échelle planétaire qui se caractérise par le fait que l'air monte près de l'équateur, s'écoule vers le pôle à 10-15 kilomètres au-dessus de la terre, descend dans les régions subtropicales, puis revient vers l'équateur près de la surface de la terre) et des déserts non zonaux en raison de diverses causes. L'aridification est le changement progressif ou brutal du climat conduisant à une situation d'aridité.

- L'isolation est la mesure du rayonnement solaire reçu par une surface pendant une période donnée, exprimée en mégajoules par mètre carré, MJ/m² (selon les recommandations de l'OMM) ou en watts-heures par mètre carré, Wh/m² (en particulier par l'industrie solaire). Cette mesure divisée par le temps d'enregistrement donne la mesure de la densité de puissance, appelée irradiance, exprimée en watts par mètre carré (W/m²).
- L'évapotranspiration potentielle est la quantité maximale d'eau qui peut être évaporée sous un climat donné par une couverture végétale continue bien alimentée en eau. Elle comprend donc l'évaporation du sol/substrat et la transpiration de la végétation d'une région donnée pendant la période considérée. Elle est exprimée en hauteur d'eau.

Variation des paramètres climatiques

La température globale est la température moyenne de la surface de la planète entière. Elle n'est pas facile à calculer car ce n'est pas un seul thermomètre qui mesure la température globale. Les données proviennent de ballons sondes, de satellites et de milliers de thermomètres disséminés dans le monde entier, et sont combinées à des milliers de mesures de température à la surface des mers. Les scientifiques ont reconstitué les températures des 1 000 à 2 000 dernières années et cette recherche montre que la température a diminué lentement au cours des 1 000 dernières années, avec un tournant décisif au cours du 20^{ème} siècle. Ce graphique est connu pour sa forme de bâton de hockey. Il est compliqué de calculer avec précision les changements de température. Avant 1860, les températures n'étaient pas mesurées systématiquement. Heureusement, il existe d'autres moyens de savoir si, dans le passé, les températures étaient plus chaudes ou plus froides.

Un réchauffement de 0,85°C semble à première vue très faible et négligeable. Impossible de sentir la différence soi-même. Mais si vous regardez cette augmentation à l'échelle mondiale, il s'agit d'une augmentation très importante et très rapide.

Causes des variations climatiques

Plusieurs facteurs entrent en jeu dans la variation du climat, que ce soit à long, moyen ou court terme :

- A l'échelle de millions d'années. C'est le mouvement des plaques tectoniques qui font bouger les continents et qui ont une influence sur les courants marins qui influent sur le climat océanique et continental, les cyclones, etc ;
- A l'échelle des milliers d'années, c'est la loi de Milankovitch avec les variations astronomiques (précession des équinoxes et des périhélicions, obliquité, variation de l'orbite terrestre) qui influencent le climat sur des cycles de 10 000 à plus de 100 000 ans et qui sont le plus souvent à l'origine des glaciations et des interglaciations. La théorie décrit les effets du mouvement de la planète sur le climat mondial. Elle explique comment les variations de l'orbite autour du soleil, l'angle d'inclinaison de l'axe de la Terre et le mouvement de rotation de l'axe de la Terre influencent la température de la Terre. Ces derniers provoquent une variation de la température sur Terre et expliquent les passages successifs des périodes glaciaires aux périodes interglaciaires au cours des 2,5 derniers millions d'années ;
- A l'échelle de centaines d'années ou plus, c'est l'activité solaire et les différents cycles solaires (cycle de Hallstattzeit de 2300 ans, Suess de 200 ans) qui influencent le climat sur de très longues périodes et rendent moins régulières les variations de température induites par des facteurs à très long terme ;
- A l'échelle des décennies, les oscillations océaniques, telles que l'oscillation multidécennale (AMO) et l'oscillation décennale du Pacifique (PDO), qui ont des cycles de 60 à 70 ans, font varier l'échange d'énergie entre l'océan et l'atmosphère sur plusieurs décennies et influencent également les changements de température ;
- A court terme (quelques années), il existe également diverses oscillations océaniques telles que El Niño et la Niña, qui influencent également la quantité d'échange d'énergie entre l'océan et l'atmosphère d'une année à l'autre. Il y a aussi d'importantes éruptions volcaniques qui, pendant des périodes de 2 à 3 ans, peuvent diminuer la quantité d'énergie atteignant le sol et avoir d'autres effets, comme les aérosols, la poussière du désert, la modification du sol, qui peuvent tous causer des changements d'albédo,
- Enfin, depuis 40 à 50 ans, l'homme influence également le climat avec des émissions de CO₂ et d'autres gaz à effet de serre émis dans l'atmosphère par la combustion de combustibles fossiles et la déforestation. Cela provoque des changements de température à long terme. Les effets sur l'homme peuvent également être indirects, comme la variation de l'albédo causée, par exemple, par des changements dans l'utilisation des terres.

2

4.1.2 Circulation atmosphérique et dynamique des océans

C'est un processus physique résultant de l'action du vent qui met en mouvement les couches superficielles de l'océan le long des côtes et les déplace vers la haute mer, provoquant un flux vertical ascendant le long du plateau continental pour compenser le déséquilibre à la côte. Il en résulte la formation d'un fort gradient de température de la côte à la mer. Sur la côte atlantique de l'Afrique, les alizés, qui ont une direction sensiblement parallèle à la côte, sont à l'origine des upwellings permanents ou saisonniers qui se développent le long des côtes du Golfe de Guinée jusqu'en Mauritanie.

L'upwelling est un phénomène océanographique qui se produit lorsque de forts vents marins (généralement des vents soniques) poussent les eaux de surface des océans, laissant un vide dans lequel les eaux de fond peuvent s'écouler et avec elles une quantité importante de nutriments. Les phénomènes d'upwelling sont identifiés par leurs résultats : une mer froide riche en phytoplancton. Pour les pêcheurs, les remontées d'eau entraînent une augmentation significative du nombre de poissons.

La plongée des eaux est le phénomène inverse de la remontée. Les eaux de surface s'accumulent près de la côte.

Le Gulf Stream est un courant marin de surface chaud qui longe la côte américaine depuis le golfe du Mexique et qui se déplace vers le Nord-Est à travers l'océan Atlantique, entraîné par les vents dominants du Sud-Ouest et se refroidissant progressivement. Le Gulf Stream est l'un des courants les plus forts. Il déplace l'eau chaude des zones subtropicales vers les pôles.

El Niño (littéralement "l'enfant (Jésus)" car il apparaît peu après Noël) est un phénomène qui empêche la remontée des eaux froides le long de la côte Ouest de l'Amérique du Sud et dont les conséquences peuvent être dramatiques : pluies abondantes au Pérou, déviation de la trajectoire des typhons, et sécheresse en Indonésie. A l'origine, il s'agit d'un courant côtier saisonnier chaud du Pérou et de l'Equateur qui met fin à la saison de pêche. Ce terme désigne désormais le phénomène climatique particulier, différent du climat normal, qui se caractérise par des températures de l'eau anormalement élevées dans la partie orientale de l'océan Pacifique Sud, représentant une extension méridionale du courant chaud péruvien. Il a été lié à un cycle de variation de la pression atmosphérique globale entre l'Est et l'Ouest du Pacifique, appelé oscillation australe. Ces phénomènes sont appelés El Niño-oscillation australe (ENSO).

4.1.3 Échanges de chaleur entre l'océan et l'atmosphère

Comme l'atmosphère, l'océan joue un rôle important dans le climat. L'eau se réchauffe et se refroidit moins vite que l'air. L'océan a une " mémoire " beaucoup plus longue que l'atmosphère : de l'ordre d'une saison pour les courants de surface et d'au moins une décennie pour les grandes masses d'eau des profondeurs.

La chaleur ainsi stockée dans l'eau des zones tropicales est restituée à l'atmosphère aux plus hautes latitudes. C'est ainsi que sont générés les courants océaniques de surface et de profondeur, qui transportent cette chaleur de l'équateur aux pôles. Cela permet d'équilibrer l'excès de rayonnement solaire reçu par les régions équatoriales. L'Atlantique transporte probablement plus de chaleur de l'équateur vers le Nord comparativement au Pacifique. On estime dans le système climatique que l'océan contribue à environ 30% au transport de la chaleur, de l'équateur aux pôles.

4.1.4 Définitions des terminologies relatives aux changements global et climatique

Météo et climat

La météo décrit l'état de l'atmosphère sur une courte période de temps, par exemple de jour en jour ou de semaine en semaine, tandis que le climat décrit les conditions moyennes sur une plus longue période. La différence entre le temps et le climat est une mesure du temps. Certains scientifiques définissent le climat comme étant le temps moyen pour une région et une période de temps particulière, habituellement mesuré sur 30 ans.

L'humidité, la température et la pression de l'air, la vitesse et la direction du vent, la couverture nuageuse et le type ainsi que la quantité et la forme des précipitations sont toutes des caractéristiques atmosphériques des conditions momentanées que nous appelons météo. En revanche, le terme " climat " décrit les caractéristiques générales à long terme du temps qu'il fait en un lieu donné. Par exemple, le Ghana, sous les tropiques, a un climat sec et humide, tandis que la Russie a un hiver froid.

Les écosystèmes, l'agriculture, les moyens de subsistance et les établissements d'une région sont très dépendants de son climat. Le climat peut donc être considéré comme un résumé à long terme des conditions météorologiques, en tenant compte des conditions moyennes et de la variabilité de ces conditions. Les fluctuations qui se produisent d'une année à l'autre et les statistiques sur les conditions extrêmes, par exemple les tempêtes violentes ou les saisons exceptionnellement chaudes, font partie de la variabilité climatique.

Changement global

Le changement global désigne les changements à l'échelle planétaire dans le système terrestre. Le système se compose de la terre, des océans, de l'atmosphère, des régions polaires, de la vie, des cycles naturels de la planète et des processus terrestres profonds. Il est évident que désormais, le principal moteur du changement mondial est la demande croissante de la population humaine en énergie, en nourriture, en biens, en services et en informations, ainsi que l'élimination de ses déchets. Au cours des 250 dernières années, les changements mondiaux ont provoqué du changement climatique, des extinctions généralisées d'espèces, l'effondrement des stocks de poissons, la désertification, l'acidification des océans, l'appauvrissement de la couche d'ozone, la pollution et d'autres changements à grande échelle.

Le changement climatique

Le changement climatique est un changement de l'état du climat qui peut être identifié par des changements dans la moyenne et/ou la variabilité de ses propriétés, et qui persiste pendant une période prolongée, généralement des décennies ou plus. Le changement climatique peut être dû à des processus internes et/ou à des forces externes. Certaines influences, par exemple les changements dans le rayonnement solaire et le volcanisme, se produisent naturellement et contribuent à la variabilité du système climatique. D'autres changements externes, tels que la modification de la composition de l'atmosphère qui a commencé avec la révolution industrielle, sont le résultat de l'activité humaine. Les prévisions du changement climatique sont basées sur des modèles mathématiques appelés modèles de circulation générale (MCG) qui combinent notre connaissance des processus physiques et des interactions entre l'océan, l'atmosphère et la terre. Les spécialistes du climat décrivent le changement climatique prévu en termes de variabilité du temps et de la fréquence des extrêmes.

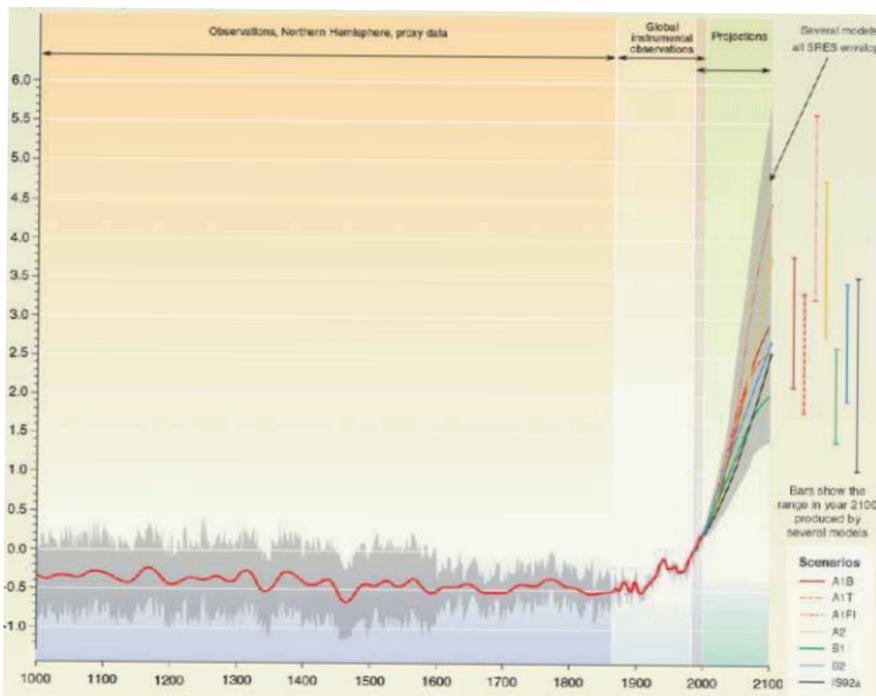


Figure 18. Variations de la température de la surface de la Terre entre l'an 1000 et 2100. SRES = Rapport spécial sur les scénarios d'émissions (GIEC 2001).

Source : GIEC (2002).

Le système climatique de la Terre a changé depuis l'ère préindustrielle, en partie à cause des activités humaines, et ce changement devrait se poursuivre tout au long du 21^e siècle. Au cours des 100 dernières années, la température moyenne à la surface du globe a augmenté d'environ 0,6 °C (voir la figure 18).

Il existe des preuves solides de l'augmentation des températures moyennes de l'air et des océans à l'échelle mondiale, de la fonte généralisée de la neige et de la glace et de l'élévation du niveau de la mer à l'échelle mondiale. Le quatrième rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) conclut que le réchauffement de la planète est sans équivoque. Les températures de l'atmosphère et de l'océan sont plus élevées qu'elles ne l'ont jamais été au cours des cinq derniers siècles au moins, et probablement depuis plus d'un millénaire. Bien qu'il y ait eu une certaine controverse dans le passé, il est maintenant largement accepté que les activités humaines, en particulier l'utilisation de combustibles fossiles et le changement d'affectation des terres, sont les facteurs dominants de cette augmentation et sont responsables de la plus grande partie du réchauffement observé au cours des 50 dernières années.

Deux autres variables qui influencent le climat sont la déforestation et le cycle hydrologique. La déforestation a le potentiel d'affecter le climat par le biais des cycles du carbone et de l'azote, qui modifient les concentrations atmosphériques de dioxyde de carbone. Les changements dans le cycle hydrologique, impliquant les précipitations, l'évaporation et le ruissellement, affectent également le climat. La déforestation et la désertification influencent la quantité d'énergie solaire absorbée à la surface de la Terre (c'est ce qu'on appelle l'albédo ou la réflectivité).

Le consensus scientifique relatif au changement climatique est que la température moyenne de la Terre a augmenté de 0,4 à 0,8°C au cours des 100 dernières années. Les scientifiques du GIEC qui effectuent des recherches sur le réchauffement climatique ont récemment prédit que les températures moyennes pourraient augmenter de 1,4 à 5,8°C d'ici l'an 2100. Les changements résultant du réchauffement de la planète peuvent comprendre l'élévation du niveau de la mer due à la fonte des calottes glaciaires polaires, ainsi que l'augmentation de la fréquence et de la gravité des tempêtes et autres phénomènes météorologiques violents.

La différence entre " réchauffement global " et " changement climatique " est que le " réchauffement planétaire " fait référence à l'augmentation à long terme de la température moyenne de la Terre. Par ailleurs, le terme " changement climatique " désigne toute modification à long terme du climat de la Terre ou du climat d'une région ou d'une ville. Cela comprend le réchauffement, le refroidissement et les changements de température. Il s'agit d'un changement de la météo typique ou moyenne d'une région ou d'une ville. Il pourrait s'agir d'un changement dans la moyenne des précipitations annuelles d'une région, par exemple. Il peut aussi s'agir d'un changement dans la température moyenne d'une ville pour un mois ou une saison donnée. Le changement climatique est également un changement du climat de l'ensemble de la Terre. Cela pourrait être un changement de la température moyenne de la Terre, par exemple. Ou bien il pourrait s'agir d'un changement dans les modèles de précipitations typiques de la Terre.

Le changement climatique correspond à un changement durable (de la décennie au million d'années) des paramètres statistiques (paramètres moyens, variabilité) du climat global ou de ses différents climats régionaux. Ces changements peuvent être dus à des processus intrinsèques à la Terre, à des forces externes ou à des activités humaines.

Dans le contexte récent de la politique écologique, le terme " changement climatique " ne désigne que les changements actuels du climat qui sont apparus au cours du 20^e siècle et qui sont annoncé au 21^e siècle. Dans le rapport du GIEC, le terme " changement climatique " fait référence à tout changement au fil du temps, qu'il soit dû à la variabilité naturelle ou aux activités humaines. Selon la Convention-cadre des Nations Unies sur le changement climatique (CCNUCC), ce terme ne désigne que les changements dus aux activités humaines. La CCNUCC utilise le terme " variabilité climatique " pour désigner le changement climatique d'origine naturelle.

La communauté scientifique internationale, représentée à ce sujet par le GIEC, attribue le réchauffement climatique actuel à l'origine humaine. Son quatrième et dernier rapport, auquel ont participé plus de 2 500 scientifiques de 130 pays différents, indique que la probabilité que le réchauffement climatique soit d'origine humaine est supérieure à 90 %.

Encadré 4. Quelle est la différence entre le changement climatique et le réchauffement global ?

Le réchauffement global se réfère à une augmentation de la température moyenne de la Terre à long terme, tandis que le changement climatique se réfère à tout changement du climat de la Terre ou du climat d'une région ou d'une ville à long terme

La variabilité du climat

La variabilité climatique est la façon dont le climat fluctue annuellement au-dessus ou au-dessous d'une valeur moyenne à long terme. Les scientifiques utilisent généralement des conditions météorologiques moyennes sur des intervalles de 30 ans pour suivre le climat. Ces moyennes sur 30 ans sont utilisées pour déterminer, surveiller ou représenter le climat d'un site particulier. Ce sont les fluctuations d'une année à l'autre autour de la normale que l'on appelle la variabilité climatique. Les facteurs communs de la variabilité climatique comprennent les événements El Niño et La Niña, qui sont respectivement les phases "chaudes" et "froides" d'ENSO (voir ci-dessus).

Les conditions météorologiques et climatiques moyennes sont utilisées pour prendre d'importantes décisions de société. Par exemple, les précipitations normales climatologiques et les enregistrements historiques des tempêtes sont utilisées pour calculer les probabilités d'événements pluvieux futurs. Les ingénieurs peuvent utiliser ces données pour concevoir des systèmes communautaires de drainage des eaux pluviales. Les données servent également de référence pour comparer les données météorologiques et climatiques actuelles. Sans une base de référence à laquelle comparer, nous n'avons aucun moyen de comprendre comment les observations actuelles s'inscrivent dans le tableau d'ensemble.

En général, la variabilité climatique se réfère à la variation naturelle intra- et inter-annuelle du climat, tandis que le changement climatique se réfère à un changement de climat attribué directement ou indirectement aux activités humaines qui modifient la composition de l'atmosphère globale en plus de la variabilité climatique naturelle observée sur des périodes de temps comparables (UNFCCC, 1992).

Encadré 5. Pourquoi étudier la variabilité du climat

Même si l'ensemble de la communauté scientifique s'accorde sur la réalité du changement climatique et du réchauffement global à l'avenir (GIEC, 2007), il est encore difficile de faire la distinction entre un changement réel et la variabilité naturelle du climat. Il n'est pas rare d'entendre, lorsque des événements extrêmes se produisent, qu'il est encore trop tôt pour les attribuer au changement climatique et qu'il est prudent de les considérer comme une variabilité climatique interannuelle. C'est pourquoi il est nécessaire d'étudier la variabilité climatique.

Réchauffement global

Le réchauffement global est le terme utilisé pour décrire une augmentation graduelle de la température moyenne de l'atmosphère terrestre et de ses océans, un changement qui, croit-on, modifie de façon permanente le climat de la Terre. Il y a un grand débat sur la question de savoir si le réchauffement global est réel. Mais les climatologues qui examinent les données et les faits s'accordent à dire que la planète se réchauffe.

La raison pour laquelle la surface de la Terre est si chaude est la présence de gaz à effet de serre (GES), résultant des activités humaines, qui agissent comme une couverture partielle du rayonnement de grande longueur d'onde provenant de la surface. Les GES sont des gaz présents dans une atmosphère qui absorbe et émet un rayonnement dans la gamme des infrarouges. Les principaux GES dans l'atmosphère terrestre sont la vapeur d'eau, le dioxyde de carbone, le méthane, l'oxyde nitreux et l'ozone. La combustion de combustibles fossiles et la déforestation ont provoqué une augmentation de 26% du CO² dans l'atmosphère. Les concentrations de méthane ont plus que doublé - à cause de la production de riz, de l'élevage du bétail, de la combustion de la biomasse, de l'extraction du charbon et de la ventilation du gaz naturel. L'oxyde nitreux a augmenté d'environ 8 % depuis l'époque préindustrielle, probablement en raison de l'activité humaine, en particulier l'agriculture. Les chlorofluorocarbones, utilisés comme propulseurs d'aérosols, solvants, réfrigérants et agents de gonflement des mousses, ne sont présents dans l'atmosphère que depuis leur introduction dans les années 1930.



Activité 2 (Discussion de groupe) (20 minutes)

Expliquez pourquoi il est important d'étudier le concept de changement climatique.



Questions textuelles (10 minutes)

1. Identifier et définir les terminologies couramment utilisées dans le domaine du changement climatique ?
2. Quelles sont les implications des GES sur le climat ?
3. Quelle est la différence entre "Changement climatique" et "Réchauffement climatique" ?
4. Pourquoi devrions-nous étudier le changement climatique ?



Résumé

La séance a porté sur l'importance de l'étude et des définitions de base du changement climatique. Les différences et les relations entre le climat et la météo ont été traitées. La session a également décrit comment les éléments météorologiques importants ont changé en raison de l'évolution du climat. La prochaine session initie les apprenants aux bases de la science du climat et des cycles biogéochimiques et à la façon dont ils affectent la vie sur Terre.

4.2 Bases de la science du climat et des cycles biogéochimiques

Cette session présente les bases de la science du climat et des cycles biogéochimiques. Elle commence par une introduction et traite des implications des processus et concepts climatiques, des effets des interactions entre la surface et l'atmosphère sur le climat et des cycles hydrologiques, du carbone et de l'azote.



Objectifs

A la fin de cette session, l'apprenant devrait être capable de :

- décrire les couches et les fonctions de l'atmosphère ;
- expliquer les effets des interactions surface-atmosphère sur le climat ;
- décrire et expliquer les composantes, les fonctions, les effets et l'importance des cycles hydrologiques, du carbone et de l'azote,
- analyser les effets et les implications du changement climatique sur ces cycles.



Activité 1 (Discussion de groupe et présentations) (30 minutes)

- Le groupe 1 devra faire une courte présentation sur l'atmosphère.
- Le groupe 2 devra faire une présentation sur les causes de la pollution de l'air et leurs effets sur l'atmosphère.
- Le groupe 3 devra faire une présentation sur l'importance du cycle hydrologique.
- Le groupe 4 devra faire un exposé sur l'importance du cycle de l'azote.
- Le groupe 5 devra faire une présentation sur l'importance du cycle du carbone
- Les groupes 3 à 5 devraient mettre l'accent sur l'effet du changement climatique sur ces cycles de vie importants.

4.2.1 Effets des interactions surface-atmosphère sur le climat

Activité volcanique et changement climatique

Un volcan est une rupture de la croûte terrestre qui permet à la lave chaude, aux cendres volcaniques et aux gaz de s'échapper d'une chambre magmatique située sous la couche superficielle. Les volcans de la Terre se développent du fait que sa croûte brisée en 17 plaques tectoniques majeures et rigides flotte sur une couche plus chaude et plus souple dans son manteau. Par conséquent, les volcans se trouvent généralement là où les plaques tectoniques sont divergentes ou convergentes. Par exemple, une dorsale médio-océanique, comme la dorsale médio-atlantique, a des volcans causés par des plaques tectoniques divergentes qui se séparent ; la ceinture de feu du Pacifique a des volcans causés par des plaques tectoniques convergentes qui se rejoignent.

Des volcans peuvent également se former là où les plaques intérieures de la croûte s'étirent et s'amincissent, par exemple dans le rift Est-africain et dans le champ volcanique Wells Gray-Clearwater et le rift Rio Grande en Amérique du Nord. Ce type de volcanisme s'inscrit dans le cadre du volcanisme de la " théorie des plaques ". Le volcanisme loin des limites de la plaque a également été expliqué comme des panaches du manteau. Ces supposés " points chauds ", comme l'exemple de Hawaï, sont issus de diapirs¹ de remontée avec du magma provenant de la limite entre le noyau et le manteau, à 3 000 km de profondeur dans la Terre. Les volcans ne sont généralement pas créés là où deux plaques tectoniques glissent l'une sur l'autre.

¹ Une formation rocheuse en forme de dôme dans laquelle un noyau de roche s'est déplacé vers le haut pour percer les strates sus-jacentes

Les volcans peuvent avoir un impact sur le changement climatique lors d'éruptions explosives majeures où d'énormes quantités de gaz volcanique, de gouttelettes d'aérosol et de cendres sont injectées dans la stratosphère. Les cendres injectées tombent rapidement de la stratosphère - la plupart d'entre elles sont retirées en quelques jours ou semaines - et ont peu d'impact sur le changement climatique. Mais les gaz volcaniques comme le dioxyde de soufre peuvent provoquer un refroidissement global, tandis que le CO_2 volcanique, un GES, a le potentiel de favoriser le réchauffement global.

Les impacts climatiques les plus importants des injections volcaniques dans la stratosphère proviennent de la conversion du dioxyde de soufre en acide sulfurique, qui se condense rapidement dans la stratosphère pour former de fins aérosols de sulfate. Les aérosols augmentent la réflexion du rayonnement du Soleil vers l'espace, refroidissant la basse atmosphère ou troposphère de la Terre. Plusieurs éruptions au cours du dernier siècle ont provoqué une baisse de la température moyenne à la surface de la Terre allant jusqu'à un demi-degré pour des périodes d'un à trois ans. L'éruption climatique du Mont Pinatubo en juin 1991, a été l'une des plus grandes éruptions du XXe siècle et a injecté un nuage de 20 millions de tonnes de dioxyde de soufre dans la stratosphère à plus de 30 km d'altitude. Le nuage de Pinatubo était le plus gros nuage de dioxyde de soufre jamais observé dans la stratosphère depuis le début de ces observations par satellite en 1978. Elle a causé ce que l'on croit être la plus grande perturbation par aérosol de la stratosphère au XXe siècle. Son impact sur le climat a été important - il a refroidi la surface de la Terre, jusqu'à 1,3 degré au sommet de l'impact pendant trois ans après l'éruption. Néanmoins, il était probablement plus petit que les perturbations dues aux éruptions du Krakatau en 1883 et du Tambora en 1815. Le dioxyde de soufre provenant de l'éruption de la fissure de Laki en Islande (1783-1784) a provoqué un refroidissement régional de l'Europe et de l'Amérique du Nord en quantités similaires pour des périodes similaires.

Alors que le dioxyde de soufre libéré dans les éruptions volcaniques contemporaines a occasionnellement provoqué un refroidissement global détectable de la basse atmosphère, le CO_2 libéré dans les éruptions volcaniques contemporaines n'a jamais provoqué de réchauffement global détectable de l'atmosphère. C'est probablement parce que les quantités de CO_2 libérées n'ont pas été d'une ampleur suffisante pour produire un réchauffement climatique détectable. Par exemple, toutes les études à ce jour sur les émissions mondiales de CO_2 volcanique indiquent que les volcans subaériens et sous-marins actuels rejettent moins d'un pour cent du CO_2 actuellement libéré par les activités humaines. Bien qu'il ait été proposé que la libération volcanique intense de CO_2 dans le passé géologique ait provoqué un réchauffement climatique, et peut-être une certaine extinction de masse, c'est un sujet de débat scientifique actuelle.

Les cendres des éruptions volcaniques peuvent également constituer une menace pour les avions, en particulier ceux équipés de moteurs à réaction où les particules de cendres peuvent être fondues par la température élevée. Les particules fondues adhèrent alors aux aubes de la turbine et modifient leur forme, perturbant le fonctionnement de la turbine. Les grandes éruptions peuvent affecter la température car les cendres et les gouttelettes d'acide sulfurique obscurcissent le soleil et refroidissent la basse atmosphère terrestre (ou troposphère). Cependant, ils absorbent également la chaleur rayonnée vers le haut de la Terre, ce qui réchauffe la haute atmosphère (ou stratosphère). Historiquement, les hivers dits volcaniques ont provoqué des famines catastrophiques.

Pollution de l'air et changement climatique

Les processus tels que la combustion de combustibles fossiles dans l'industrie, les véhicules à moteur et les bâtiments émettent des substances qui causent une pollution locale et régionale. Ces polluants comprennent les matières particulaires (MP) et l'ozone troposphérique (O_3), les principaux ingrédients du smog tout comme les oxydes d'azote (NO_x), le soufre, le méthane, les oxydes de soufre (SO_x), les composés organiques volatils (COV) et le monoxyde de carbone (CO).

Ces mêmes processus libèrent également des gaz à effet de serre, principalement du dioxyde de carbone (CO_2), du méthane (CH_4) et l'oxyde nitreux (N_2O), qui sont liés au changement climatique global. Dans certains cas, les polluants atmosphériques contribuent au changement climatique, et les gaz à effet de serre contribuent à la pollution de l'air :

- les polluants atmosphériques tels que l'ozone troposphérique et la suie (une partie des particules) contribuent directement au réchauffement de la planète, qui est lié au changement climatique
- le méthane, un des GES les plus importants, est une cause majeure de l'augmentation de l'ozone troposphérique.

Le smog qui plane au-dessus des villes est la forme la plus connue et la plus évidente de pollution atmosphérique. Mais il existe différents types de pollution - certains visibles, d'autres invisibles - qui contribuent au réchauffement de la planète. En général, toute substance que les hommes introduisent dans l'atmosphère et qui a des effets néfastes sur les êtres vivants et l'environnement est considérée comme un polluant atmosphérique. Un autre polluant associé au changement climatique est le dioxyde de soufre (SO_2).

Le SO_2 et les produits chimiques étroitement liés sont surtout connus pour être la cause des pluies acides. Mais ils sont également responsables de la réflexion de la lumière lorsqu'ils sont relâchés dans l'atmosphère : ce qui empêche la lumière du soleil de pénétrer et provoque le refroidissement de la Terre.

Les éruptions volcaniques peuvent rejeter des quantités massives de SO_2 dans l'atmosphère, causant parfois un refroidissement qui dure des années. En fait, les volcans étaient autrefois la principale source de SO_2 ; aujourd'hui ce sont les hommes.

Les pays industrialisés se sont efforcés de réduire les niveaux de SO_2 , de smog et de fumée afin d'améliorer la santé des populations. Mais un résultat, qui n'a été prédit que récemment, est que la baisse des niveaux de SO_2 pourrait en fait aggraver le réchauffement de la planète. Tout comme le SO_2 provenant des volcans peut refroidir la planète en bloquant la lumière du soleil, la réduction de la quantité de ce composé dans l'atmosphère laisse passer plus de lumière solaire, réchauffant la Terre. Cet effet est exagéré lorsque des niveaux élevés d'autres gaz à effet de serre dans l'atmosphère piège la chaleur supplémentaire.

Le changement climatique lui-même peut avoir un impact direct sur la qualité de l'air. Les études de modélisation montrent qu'avec des températures plus chaudes à l'avenir, des niveaux plus élevés d'ozone seront produits dans les villes nord-américaines. S'attaquer aux problèmes de la pollution atmosphérique et du changement climatique peut sembler décourageant. Toutefois, la bonne nouvelle est que, parce qu'elles proviennent des mêmes sources, bon nombre des mesures qui réduisent la pollution atmosphérique peuvent également réduire les émissions de gaz à effet de serre.

Étude de cas 1. Effet de l'ozone troposphérique et des particules sur le changement climatique

Les deux polluants atmosphériques les plus préoccupants pour la santé publique sont l'ozone troposphérique et les particules. L'ozone est produit dans la troposphère par oxydation photochimique du monoxyde de carbone (CO), du méthane et des composés organiques volatils non méthaniques (COVNM) par le radical hydroxyle (OH) en présence d'oxydes d'azote réactifs ($\text{NO}_x = \text{NO} + \text{NO}_2$). Les COVNM, le CO et le NO_x ont de grandes sources de combustion.

La végétation est une source importante de COVNM. Le méthane a un certain nombre de sources biogènes et anthropiques. OH provient principalement de l'oxydation atmosphérique de la vapeur d'eau et des cycles dans l'atmosphère avec d'autres radicaux d'oxyde d'hydrogène (HO). La pollution par l'ozone est en général surtout un problème estival en raison de la nature photochimique de la source. La production d'ozone est généralement limitée par l'offre de HO_x et de NO, mais elle peut aussi être limitée par les COVNM dans des conditions de forte pollution et en dehors de la saison estivale.

Le principal puits mondial pour l'ozone troposphérique est la photolyse en présence de vapeur d'eau. L'absorption par la végétation (dépôt sec) est également un puits important dans la couche limite continentale (< 2 km). Les dépôts humides sont négligeables car l'ozone et ses principaux précurseurs ont une faible solubilité dans l'eau.

La durée de vie atmosphérique de l'ozone varie de quelques jours dans la couche limite à des semaines dans la troposphère libre. L'ozone et ses précurseurs anthropiques ventilés à partir des continents et transportés à l'échelle de l'hémisphère dans la troposphère libre ajoutent un contexte important à l'ozone de surface qui est de plus en plus préoccupant pour le respect des normes de qualité de l'air.

Les matières particulaires (MP) comprennent, comme principaux composants, le sulfate, le nitrate, le carbone organique, le carbone élémentaire, la poussière du sol et le sel marin. Les quatre premières composantes sont principalement présentes sous forme de fines particules de moins de 2,5 µm de diamètre (MP), et ce sont celles qui sont les plus préoccupantes pour la santé humaine. Le sulfate, le nitrate et le carbone organique sont produits dans l'atmosphère par l'oxydation du SO_2 , NO_x , et les COVNM.

Les particules de carbone sont également émises directement par combustion. Les nitrates et le carbone organique changent entre la phase particulaire et la phase gazeuse, en fonction notamment de la température. La variation des MP d'origine marine est complexe et dépend de l'emplacement ; en général, les MP doivent être considérées comme un problème de qualité de l'air tout au long de l'année. Les MP sont efficacement récupérées par les précipitations et c'est leur principal puits atmosphérique, ce qui se traduit par des durées de vie atmosphérique de quelques jours dans la couche limitrophe et de quelques semaines dans la troposphère libre (semblable à l'ozone).

Contrairement à l'ozone, cependant, l'exportation des MP provenant des continents est limitée par le piégeage des précipitations qui accompagne généralement l'écoulement continental. L'existence de MP dans la troposphère libre est donc généralement sans importance pour la qualité de l'air de surface. Les panaches des grandes tempêtes de poussière et des feux de forêt qui peuvent être transportés à l'échelle intercontinentale font exception..

Désertification

La désertification est définie par la Convention des Nations Unies sur la lutte contre la désertification comme une réduction ou perte, dans les zones arides, semi-arides et subhumides sèches, de la productivité biologique ou économique et de la complexité des cultures pluviales, des terres cultivées irriguées ou de leur aire de répartition, des pâturages, des forêts et des bois résultant de l'utilisation des terres ou d'un processus ou d'une combinaison de processus, y compris les processus résultant d'activités humaines et de modes d'habitation, tels que : i) l'érosion du sol causée par le vent et/ou l'eau; ii) la détérioration des propriétés physiques, chimiques et biologiques ou économiques du sol; et iii) la perte à long terme de végétation naturelle»

Cette définition, qui est maintenant utilisée dans le monde entier pour décrire la désertification et ses impacts, conduit à la nécessité d'examiner attentivement les interactions à double sens entre le climat et la désertification. Le changement climatique pourrait exacerber la désertification par la modification des modèles spatiaux et temporels de la température, des précipitations, de l'isolation solaire et des vents. Plusieurs modèles climatiques suggèrent que le réchauffement climatique futur pourrait réduire l'humidité du sol sur de vastes zones de prairies semi-arides en Amérique du Nord et en Asie. Ainsi, le changement climatique est susceptible d'exacerber la dégradation des terres semi-arides qui sera causée par l'expansion rapide des populations humaines au cours de la prochaine décennie.

On prévoit une augmentation de 17% de la superficie mondiale des terres désertiques en raison du changement climatique attendu avec un doublement de la teneur en CO₂ atmosphérique. Tout passage à une plus grande superficie de terres arides représente potentiellement une perte permanente de la capacité de production de la biosphère dont dépend toute vie.

Selon la CCNUD, plus de 250 millions de personnes sont directement touchées par la désertification. En outre, quelque un milliard de personnes dans plus de cent pays sont en danger. Parmi ces personnes, on dénombre un grand nombre de citoyens les plus pauvres, les plus marginalisés et les plus faibles au niveau politique du monde.

Les effets de la désertification sur le climat ont été décrits principalement en termes de changements dans l'utilisation des terres et de la couverture des terres conduisant à : la dégradation des terres ; de surpâturage ; de combustion de la biomasse et d'émissions atmosphériques ; de contribution de l'agriculture à la pollution atmosphérique ; de défrichement des forêts et des terres boisées et d'érosion éolienne accélérée ; des perturbations anthropiques des terres et d'érosion éolienne ; et, d'impact de l'agriculture irriguée sur les conditions de surface dans les zones arides.

Les conséquences de la désertification sont notamment la diminution de la production alimentaire, les famines, l'augmentation des coûts sociaux, la diminution de la quantité et de la qualité des réserves d'eau douce, l'augmentation de la pauvreté et de l'instabilité politique, la réduction de la résilience des terres à la variabilité naturelle du climat et la diminution de la productivité des sols.

Phénomènes El Niño et La Niña

El Niño et La Niña sont tous deux des effets opposés du même phénomène, ENSO (El Niño Southern Oscillation). Les deux sont une oscillation des températures entre l'atmosphère et l'océan de la région Pacifique équatorial Est, à peu près entre la ligne de changement de date internationale et 120 degrés de latitude Ouest. El Niño - dont les conditions s'accumulent entre Juin et Décembre - est causé par un changement dans la configuration des vents. Ici, les alizés du Pacifique ne se reconstituent pas après les moussons d'été de l'Asie. Cet air plus chaud entraîne une oscillation entre les eaux plus froides et les eaux plus chaudes, ce qui fait que la température de l'océan est plus élevée que la normale.

La Niña est en fait le contraire d'El Niño, désignée par des périodes prolongées de températures de la mer dans la même région, et les effets mentionnés ci-dessus sont généralement inversés. Pendant les années

sans El Niño, la pression atmosphérique est inférieure à la normale dans la région du Pacifique Ouest et supérieure dans les eaux froides du Pacifique Ouest. Avec La Niña, les alizés sont particulièrement forts pour transporter de l'eau plus chaude vers l'Ouest à travers le Pacifique, ce qui entraîne des températures plus froides que la moyenne dans l'Est et plus chaudes que la moyenne dans l'Ouest. Il en résulte que le plancton augmente dans les zones où la température est plus fraîche, ce qui a un effet positif sur la vie marine qui dépend du plancton ou qui dépend des créatures qui dépendent du plancton.

Les recherches menées au cours des dernières décennies ont montré le rôle important joué par les interactions entre l'atmosphère et l'océan dans la ceinture tropicale de l'océan Pacifique dans la modification des conditions météorologiques et climatiques mondiales. Pendant les épisodes El Niño, par exemple, les températures de la mer à la surface dans le Centre et l'Est de l'océan Pacifique tropical, deviennent nettement supérieures à la normale. En revanche, lors des événements La Niña, les températures de surface de la mer dans ces régions deviennent inférieures à la normale. Ces changements de température sont fortement liés à des fluctuations climatiques majeures dans le monde entier et, une fois amorcés, ces événements peuvent durer 12 mois ou plus. Le fort épisode El Niño de 1997-1998 a été suivi d'une phase prolongée de La Niña qui s'est étendue de la mi-1998 au début de 2001.

Au cours des dernières décennies, le nombre d'épisodes El Niño a augmenté, bien qu'une période d'observation beaucoup plus longue soit nécessaire pour détecter les changements importants. La question est, ou était, de savoir s'il s'agit d'une fluctuation aléatoire ou d'un cas normal de variation pour ce phénomène ou du résultat du changement climatique global résultant du réchauffement de la planète. Une étude de 2014 a fait état d'une tendance robuste à une fréquence accrue des épisodes extrêmes El Niños, en accord avec une prévision récente distincte du modèle pour l'avenir.

Plusieurs études de données historiques suggèrent que la récente variation d'El Niño est liée au changement climatique anthropique ; conformément au consensus plus large sur le changement climatique. Par exemple, même après avoir soustrait l'influence positive de la variation d'une décennie à l'autre (qui est présumée dans la tendance ENSO), l'amplitude de la variabilité ENSO dans les données observées augmente encore, jusqu'à 60 % au cours des 50 dernières années.

Il se peut que le phénomène observé El Niño plus fréquent et plus fort ne se produise que dans la phase initiale du changement climatique, et qu'ensuite (par exemple, après que les couches inférieures de l'océan se soient également réchauffées), El Niño devienne plus faible qu'il ne l'était. Il se peut aussi que les forces stabilisatrices et déstabilisatrices qui influencent le phénomène finissent par se compenser. D'autres recherches sont nécessaires pour apporter une meilleure réponse à cette question. Toutefois, un nouveau modèle de 2014, qui figure dans un rapport de recherche, indique que le changement climatique non atténué affecterait particulièrement les eaux de surface de l'Est du Pacifique équatorial et pourraient doubler les occurrences extrêmes d'El Niño.

Certains climatologues suggèrent qu'il est logique de croire que le réchauffement enregistré de l'atmosphère aura un impact sur la fréquence, la durée et la gravité des événements El Niño et La Niña. À mesure que l'atmosphère se réchaufferait, la chaleur serait transférée aux océans, ce qui pourrait accroître les extrêmes entre les périodes froides et chaudes. Ils conviennent également que le jury n'a pas encore décidé si ce scénario probable se produira ou est en train de se produire, ni quelle forme il prendra.

Les impacts d'El Niño dépendent de divers facteurs, tels que l'intensité et l'étendue du réchauffement des océans, et la période de l'année. Contrairement à la croyance populaire, tous les effets ne sont pas négatifs. Du côté positif, El Niño peut aider à supprimer l'activité des ouragans de l'Atlantique. Aux États-Unis, il apporte généralement des précipitations hivernales bénéfiques dans le Sud-Ouest aride, un temps moins hivernal dans le Nord et un risque réduit de feux de forêt en Floride.

Les impacts négatifs d'El Niño ont inclus des tempêtes hivernales dommageables en Californie et une augmentation des tempêtes dans le Sud des États-Unis. Certains El Niños passés ont également provoqué de graves inondations et des coulées de boue en Amérique Centrale et en Amérique du Sud, et une sécheresse en Indonésie.

“ Un événement El Niño peut diminuer considérablement la productivité de l'océan au large de la côte Ouest en limitant les régimes météorologiques qui provoquent des remontées d'eau, ou la circulation des nutriments dans l'océan. Ces nutriments sont la base d'un réseau alimentaire marin dynamique et pourraient avoir un impact négatif sur les sources de nourriture de plusieurs types d'oiseaux, de poissons et de mammifères marins “, indiquent les scientifiques de la NOAA. El Niño pourrait être dévastateur pour les économies de pêche de l'Équateur et du Pérou. Les oiseaux, les otaries et les pêcheurs ont faim parce qu'il n'y a pas assez de poissons dans les environs. De plus, les pluies torrentielles dans la zone côtière s'accompagnent souvent d'un réchauffement au large, ce qui provoque des inondations dévastatrices.

En général, El Niño se produit tous les cinq ans et ce qui se produit habituellement, c'est que le réchauffement des océans causé par les vents entraîne la diffusion de ce réchauffement sur toute la planète. Elle modifie les pressions atmosphériques avec des conséquences sur les précipitations, les régimes de vent, les températures de surface de la mer et peut avoir un effet parfois positif, parfois négatif sur ces systèmes. En Europe par exemple, El Niño réduit les cas d'ouragans dans l'Atlantique. Le début du système El Niño sera observé sur l'Amérique du Nord au cours de l'hiver précédent ; il comprend généralement :

- des températures hivernales douces sur l'Ouest du Canada et le Nord-Ouest des États-Unis ;
- des précipitations supérieures à la moyenne sur la côte du golfe du Mexique, y compris en Floride ; et
- une période plus sèche que la moyenne en Ohio et dans le Nord-Ouest du Pacifique.

Comme El Niño, La Niña affecte aussi la pression et la température atmosphériques, les précipitations et la température des océans. La Niña a moins d'effet en Europe qu'El Niño, mais elle a tendance à entraîner des hivers doux en Europe du Nord (au Royaume-Uni en particulier) et des hivers plus froids en Europe du Sud et de l'Ouest, ce qui entraîne de la neige dans la région méditerranéenne. Ailleurs dans le monde, les régions qui sont touchées par La Niña subissent le contraire des effets qu'elles subissent avec El Niño. C'est en Amérique du Nord continentale que la plupart de ces conditions se font sentir. Les effets plus larges comprennent :

- des vents plus forts le long de la région équatoriale, en particulier dans le Pacifique ;
- une diminution de la convection dans le Pacifique, ce qui entraîne un jet-stream plus faible ;
- des températures supérieures à la moyenne dans le Sud-Est et inférieures à la moyenne dans le Nord-Ouest ;
- les conditions sont plus favorables aux ouragans dans les Caraïbes et la zone centrale de l'Atlantique ; et
- des cas plus importants de tornades dans les États des États-Unis qui y sont déjà vulnérables.

Dans le Pacifique occidental, la formation des cyclones se déplace vers l'Ouest, ce qui augmente le risque d'atteindre la terre dans les zones les plus vulnérables à leurs effets, et en particulier en Asie continentale et en Chine. Les précipitations sont également plus importantes sur l'Ouest, surtout en Australie, en Indonésie et en Malaisie et plus à l'Ouest vers les pays du Sud du continent africain. Par conséquent, sur les États-Unis et le Canada, les précipitations seront inférieures à la moyenne et cette tendance suit les régions côtières du Sud où la partie occidentale de l'Amérique du Sud connaîtra également des précipitations inférieures à la moyenne.

4.1.2 Concept de modélisation du climat

Aperçu des modèles de circulation générale (MCG)

Les modèles de circulation générale (MCG) sont des outils importants dans la recherche sur le changement climatique actuels. Les simulations de MCG sont la principale source d'information pour estimer les répercussions futures du changement climatique dues aux influences anthropiques. Étant donné la résolution spatiale grossière d'un MCG, ces modèles fournissent des informations à grande échelle pour les projections climatiques. Mais la majorité des études sur les impacts régionaux et les implications du changement climatique nécessitent une résolution spatiale plus fine. Comme le climat régional peut être considéré de façon schématisée comme le résultat de l'interaction d'un état atmosphérique à grande échelle et de contraintes physiographiques locales (Von Storch, 1999), des méthodes ont été mises en place pour relier les variables climatiques simulées par les MCG et les variables climatiques locales. Ces méthodes sont généralement connues sous le nom de " descente d'échelle " (Herrera et al., 2006).

Cycles biogéochimiques

La vie sur Terre dépend du recyclage des éléments chimiques essentiels. Comme les cycles des éléments nutritifs font intervenir les composantes biotiques et abiotiques des écosystèmes, on les appelle cycles biogéochimiques. Comme le carbone, l'oxygène, le soufre et l'azote peuvent être à l'état gazeux, leur cycle se déroule à l'échelle mondiale. D'autres, comme le phosphore, le potassium ou le calcium, ont une mobilité réduite et leurs cycles sont localisés.

Dans le modèle général de recyclage des nutriments, il existe quatre réservoirs de nutriments définis par deux caractéristiques : leur contenu (matière organique ou inorganique) et la disponibilité (disponible ou non) de leur contenu pour les organismes.



Activité 2 Questions essentielles sur le chapitre

- Quelles sont les causes de la variabilité et du changement climatique ?
- Énumérer les perturbations causées par la variabilité et le changement climatique ?



Questions textuelles (30 minutes)

- 1) Identifiez et discutez de la façon dont certains polluants atmosphériques dans les industries de votre pays peuvent contribuer au changement climatique.
- 2) Que peut-on faire aux niveaux personnel, industriel et gouvernemental pour réduire l'effet des polluants atmosphériques sur le changement climatique ?
- 3) L'apparition d'El Niño suggère-t-elle un problème climatique plus important ? Y a-t-il des effets positifs/négatifs durables d'El Niño ? Comment la communauté contemporaine du réchauffement climatique voit-elle El Niño ?

4.1.3 Cycles hydrologiques, du carbone et de l'azote

Le cycle hydrologique

Le cycle de l'eau (H_2O), également connu sous le nom de cycle hydrologique, décrit le mouvement continu de l'eau sur, au-dessus et en dessous de la surface de la Terre. La masse d'eau sur Terre reste assez constante dans le temps, mais la répartition de l'eau entre les principaux réservoirs de glace, d'eau douce, d'eau salée et d'eau atmosphérique est variable en fonction d'un large éventail de variables climatiques.

L'eau se déplace d'un réservoir à l'autre, par exemple d'une rivière à l'océan, ou de l'océan à l'atmosphère, par les processus physiques d'évaporation, de condensation, de précipitation, d'infiltration, de ruissellement et d'écoulement souterrain (figure 19). Ce faisant, l'eau passe par différentes phases : liquide, solide (glace) et gazeux (vapeur).

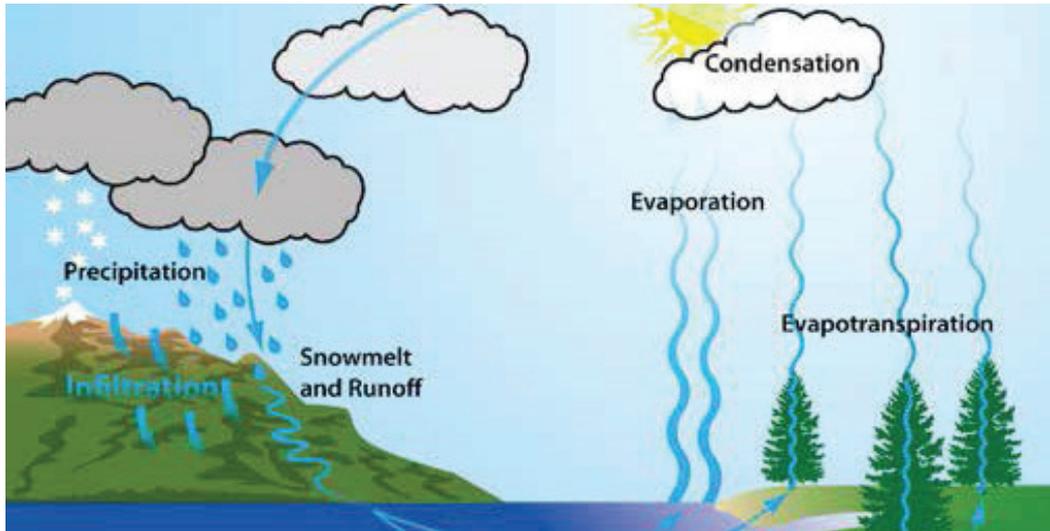


Figure 19. Le cycle hydrologique.

Source : <http://www.state.nj.us/drbc/hydrological>

Le cycle de l'eau implique l'échange d'énergie, ce qui entraîne des changements de température. En effet, lorsque l'eau s'évapore, elle absorbe l'énergie de son environnement et le refroidit. Lorsqu'il se condense, il libère de l'énergie et réchauffe l'environnement. Ces échanges de chaleur influencent le climat. La phase d'évaporation du cycle purifie l'eau qui réapprovisionne ensuite la terre en eau douce. Le flux d'eau liquide et de glace transporte les minéraux à travers le monde. Elle participe également au remodelage des caractéristiques géologiques de la Terre, par le biais de processus tels que l'érosion et la sédimentation. Le cycle de l'eau est également essentiel pour le maintien de la plupart des formes de vie et des écosystèmes de la planète.

Le soleil, qui est le moteur du cycle de l'eau, chauffe l'eau des océans et des mers. L'eau s'évapore sous forme de vapeur dans l'air. La glace, la pluie et la neige peuvent se sublimer directement en vapeur d'eau. L'évapotranspiration est l'eau transpirée par les plantes et évaporée du sol. La molécule d'eau a une densité moindre par rapport aux principaux composants de l'atmosphère, l'azote et l'oxygène, N_2 et O_2 . En raison de cette différence en masse moléculaire, l'eau sous forme gazeuse gagne en hauteur à l'air libre du fait de la flottabilité. Cependant, comme l'altitude augmente, la pression atmosphérique diminue et la température baisse. La température abaissée fait condenser la vapeur d'eau en une minuscule gouttelette d'eau liquide plus lourde que l'air, de sorte qu'elle tombe à moins d'être soutenue par un courant d'air ascendant. Des concentrations importantes de ces gouttelettes dans l'atmosphère sont visibles comme les nuages.

Le brouillard se forme si la vapeur d'eau se condense près du sol, à la suite d'une collision entre l'air humide et l'air frais ou d'une réduction brutale de la pression atmosphérique. Les courants d'air déplacent la vapeur d'eau autour du globe, les particules des nuages entrent en collision, croissent et tombent des couches supérieures de l'atmosphère sous forme de précipitations. Quelques chutes comme la neige ou la grêle peuvent s'accumuler sous forme de calottes glaciaires et de glaciers, qui peuvent stocker l'eau gelée pour des milliers d'années. La plus grande partie de l'eau retombe dans les océans ou sur la terre sous forme de pluie, où l'eau s'écoule sur le sol sous forme de ruissellement de surface.

Une partie des eaux de ruissellement pénètre dans les rivières, le débit des cours d'eau déplaçant l'eau vers les océans. Les eaux de ruissellement et les eaux émergeant du sol (eaux souterraines) peuvent être stockées sous forme d'eau douce dans les lacs. Les eaux de ruissellement ne s'écoulent pas toutes dans les rivières, une grande partie s'infiltré dans le sol. Une partie de l'eau s'infiltré profondément dans le sol et réapprovisionne les aquifères, qui peuvent emmagasiner de l'eau douce pendant de longues périodes. Une partie de l'infiltration reste près de la surface de la terre et peut s'infiltrer à nouveau dans les plans d'eau de surface (et dans l'océan) sous forme de rejets d'eau souterraine. Certaines eaux souterraines trouvent des ouvertures à la surface du sol et sortent sous forme de sources d'eau douce. Dans les vallées fluviales et les plaines inondables, il y a souvent un échange d'eau continu entre les eaux de surface et les eaux souterraines dans la zone hyporéique. Avec le temps, l'eau retourne dans l'océan, pour continuer le cycle de l'eau.

Étude de cas 2. Le cycle hydrologique et le changement climatique

Parmi les questions de politique environnementale les plus graves auxquelles la société est confrontée figurent les changements potentiels du cycle de l'eau de la Terre dus au changement climatique. D'une manière générale, la communauté scientifique s'entend désormais pour dire que le climat de la Terre subit des changements en réponse à la variabilité naturelle, y compris la variabilité solaire, et à l'augmentation des concentrations de gaz à effet de serre et des aérosols. De plus, on s'entend généralement pour dire que ces changements peuvent avoir une incidence profonde sur les concentrations de vapeur d'eau dans l'atmosphère, les nuages et les régimes de précipitation, de ruissellement et d'écoulement des cours d'eau.

Par exemple, à mesure que la basse atmosphère se réchauffe, les taux d'évaporation augmentent, ce qui entraîne une augmentation de la quantité d'humidité circulant dans la troposphère (basse atmosphère). L'une des conséquences de cette situation est la fréquence accrue d'événements intenses de précipitation, principalement sur les zones terrestres. En raison des températures plus chaudes, plus de précipitations tombent sous forme de pluie plutôt que de neige.

Le changement climatique mondial affectera le cycle de l'eau, créant probablement des sécheresses pérennes dans certaines régions et des inondations fréquentes dans d'autres. Dans certaines parties de l'hémisphère Nord, l'arrivée précoce de conditions printanières entraîne des pics plus précoces de la fonte des neiges et des débits fluviaux qui en résultent. Par conséquent, les saisons où la demande en eau est la plus élevée, généralement l'été et l'automne, sont touchées par une disponibilité réduite de l'eau douce.

Les températures plus chaudes ont entraîné un assèchement accru de la surface terrestre dans certaines régions, ce qui a eu pour effet d'augmenter l'incidence et la gravité de la sécheresse. L'indice de gravité de la sécheresse de Palmer, qui est une mesure de l'humidité du sol utilisant les mesures des précipitations et des périodes approximatives de changement de l'évaporation, a montré que de 1900 à 2002, la région du Sahel en Afrique a connu des conditions de sécheresse plus difficiles. Ce même indice indique également une tendance opposée dans le sud de l'Amérique du Sud et dans le sud du centre des États-Unis.

Le cycle du carbone

Tous les êtres vivants sont faits de carbone. Le carbone fait aussi partie de l'océan, de l'air et même des roches. Dans l'atmosphère, le carbone est attaché à de l'oxygène sous forme de dioxyde de carbone (CO_2). Les plantes utilisent le CO_2 et la lumière du soleil pour produire leur propre nourriture et se développer par photosynthèse. Le carbone devient donc une partie intégrante de la plante. Les plantes qui meurent et qui sont enterrées peuvent se transformer en combustibles fossiles, constitués de carbone, comme le charbon et le pétrole sur des millions d'années. Lorsque les humains brûlent des combustibles fossiles, la plus grande partie du carbone pénètre rapidement dans l'atmosphère sous forme de CO_2 .

Le cycle du carbone est le cycle biogéochimique par lequel le carbone est échangé entre la biosphère, la pédosphère, la géosphère, l'hydrosphère et l'atmosphère de la Terre (figure 20). En outre, de même que le cycle de l'azote et le cycle de l'eau, le cycle du carbone comprend une série d'événements qui sont essentiels pour rendre la terre capable de maintenir la vie. Cette figure décrit le mouvement du carbone tel qu'il est recyclé et réutilisé dans toute la biosphère.

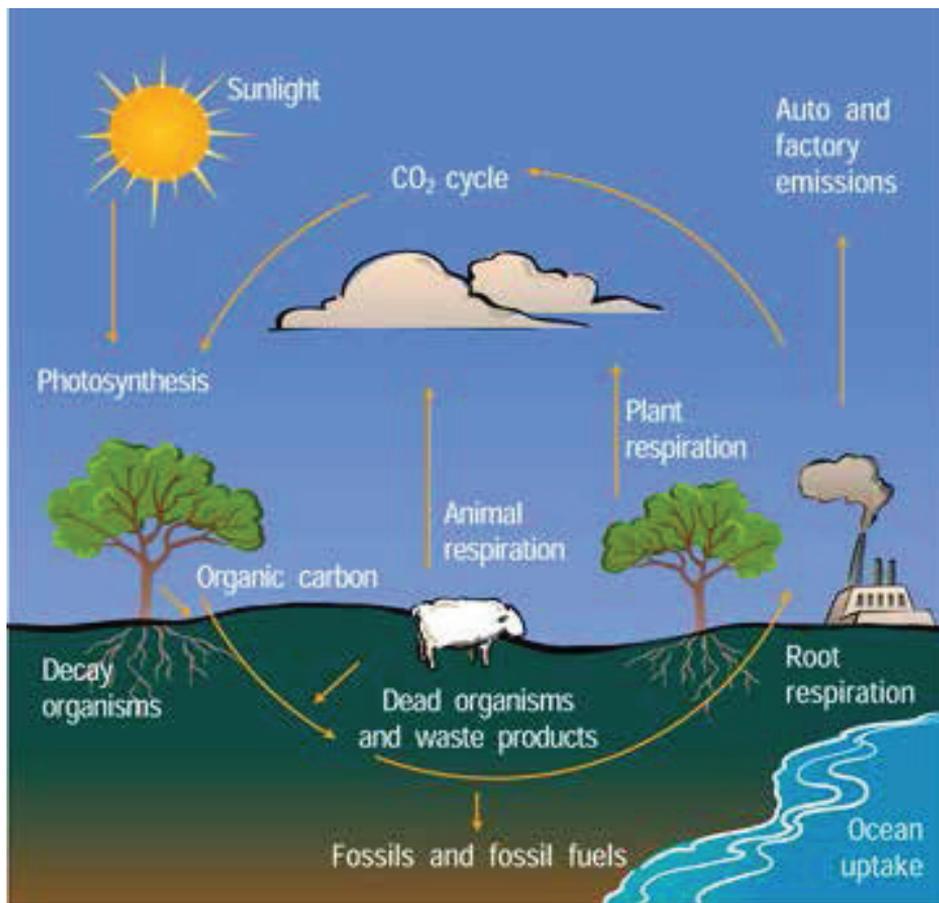


Figure 20. Le cycle du carbone. Source: The COMET programme (nd).

<https://eo.ucar.edu/kids/green/cycles6.htm>

Depuis la révolution industrielle, l'activité humaine a modifié le cycle du carbone en modifiant les fonctions de sa composante et en ajoutant directement du carbone à l'atmosphère. L'influence humaine la plus importante et la plus directe sur le cycle du carbone se fait par les émissions directes provenant de la combustion de combustibles fossiles, qui transfère le carbone de la géosphère vers l'atmosphère. Les êtres humains influencent aussi indirectement le cycle du carbone en changeant la biosphère terrestre et océanique.

Au cours des derniers siècles, l'utilisation des terres et le changement du couvert végétal causés par l'homme ont conduit à la perte de la biodiversité, ce qui réduit la résilience des écosystèmes aux contraintes environnementales et leur capacité à éliminer le carbone de l'atmosphère. Plus directement, cela conduit souvent à la libération du carbone des écosystèmes terrestres dans l'atmosphère. La déforestation à des fins agricoles élimine les forêts, qui contiennent de grandes quantités de carbone, et les remplace par des zones agricoles ou urbaines. Ces deux types de couverture terrestre stockent comparativement de petites quantités de carbone, de sorte que le produit net du processus est que plus de carbone reste dans l'atmosphère.

D'autres changements causés par l'homme dans l'environnement modifient la productivité des écosystèmes et leur capacité à éliminer le carbone de l'atmosphère. La pollution de l'air, par exemple, endommage les plantes et les sols, tandis que de nombreuses pratiques agricoles et d'utilisation des terres entraînent des taux d'érosion plus élevés, lessivant le carbone des sols et diminuant la productivité des plantes. Des températures plus élevées et des niveaux de CO₂ dans l'atmosphère augmentent les taux de décomposition dans le sol, rendant ainsi le CO₂ stocké dans les matériaux végétaux plus rapidement à l'atmosphère. Toutefois, l'augmentation des niveaux de CO₂ dans l'atmosphère peut également conduire à une production primaire brute plus élevée. Il augmente les taux de photosynthèse en permettant aux plantes d'utiliser plus efficacement l'eau, parce qu'elles n'ont plus besoin de laisser leurs stomates ouverts pendant des périodes aussi longues pour absorber la même quantité de CO₂. Ce type de fertilisation par le CO₂ affecte principalement les plantes en C₃, parce que les plantes en C₄ peuvent déjà concentrer le CO₂ efficacement.

Les êtres humains affectent aussi le cycle du carbone océanique. Les tendances actuelles du changement climatique conduisent à une hausse des températures océaniques, modifiant ainsi les écosystèmes. Les pluies acides et les eaux de ruissellement polluées provenant de l'industrie et de l'agriculture modifient la composition chimique de l'océan, ce qui peut avoir des effets dramatiques sur des écosystèmes sensibles tels que les récifs coralliens, limitant ainsi la capacité de l'océan à absorber le carbone de l'atmosphère à l'échelle régionale et réduisant la biodiversité océanique à l'échelle mondiale. Le 12 novembre 2015, les scientifiques de la NASA ont rapporté que le CO₂ anthropique continuait d'augmenter au-dessus des niveaux jamais vus depuis des centaines de milliers d'années : actuellement, environ la moitié du CO₂ libéré par la combustion de combustibles fossiles demeure dans l'atmosphère et n'est pas absorbée par la végétation et les océans.

Étude de cas 3. Le changement climatique et le cycle du carbone

Le changement climatique généré par l'homme peut être considéré comme une perturbation énorme du cycle mondial du carbone. Avant le monde industriel moderne, le cycle mondial du carbone était déterminé par des événements tels que le volcanisme, l'extension des fonds marins et les impacts de météorites. Les activités humaines dictent une grande partie du mouvement du carbone à travers le monde. En effet, la combustion de combustibles fossiles et le changement de paysage ont déplacé le carbone fossile, qui était autrefois enfoui dans les eaux profondes et les sédiments terrestres, et l'ont mobilisé dans l'atmosphère. Une fois dans l'atmosphère sous des formes telles que le CO₂ et le méthane, les gaz à effet de serre peuvent changer la conductance thermique de l'atmosphère, la chimie de l'eau de mer et le mouvement de nos océans

Au cours des deux derniers siècles, les activités humaines ont sérieusement modifié le cycle global du carbone, surtout dans l'atmosphère. Bien que les niveaux de CO₂ aient changé naturellement au cours des derniers milliers d'années, les émissions humaines de CO₂ dans l'atmosphère dépassent les fluctuations naturelles. Les changements dans la quantité de CO₂ atmosphérique modifient considérablement les régimes météorologiques et influent indirectement sur la chimie des océans. Les enregistrements des carottes de glace ont montré que, bien que les températures mondiales puissent changer sans que les niveaux de CO₂ atmosphérique ne changent, les niveaux de CO₂ ne peuvent pas changer de manière significative sans affecter les températures mondiales. Les niveaux actuels de CO₂ dépassent les mesures des 420 000 dernières années et les niveaux augmentent plus rapidement que jamais, ce qui fait qu'il est essentiel de mieux comprendre le fonctionnement du cycle du carbone et ses effets sur le climat mondial.

- D'une manière générale, le cycle global du carbone est désormais divisé en grands réservoirs de carbone interconnectés par des voies d'échange :
- L'atmosphère
- La biosphère terrestre ;
- Les océans, y compris le carbone inorganique dissous et le biote marin vivant et non vivant ;
- Les sédiments, y compris les combustibles fossiles, les systèmes d'eau douce et les matières organiques non vivantes, comme le carbone du sol ; et
- L'intérieur de la Terre, le carbone du manteau et de la croûte terrestre ; ces réserves de carbone interagissent avec les autres composantes par le biais de processus géologiques

Les échanges de carbone entre les réservoirs sont le résultat de divers processus chimiques, physiques, géologiques et biologiques. L'océan contient le plus grand bassin actif de carbone près de la surface de la Terre. Les flux naturels de carbone entre l'atmosphère, l'océan et les sédiments sont assez équilibrés, de sorte que les niveaux de carbone seraient à peu près stables sans l'influence humaine.

Le cycle de l'azote

L'azote est l'un des principaux nutriments essentiels à la survie de tous les organismes vivants. C'est une composante nécessaire pour de nombreuses biomolécules, y compris les protéines, l'ADN et la chlorophylle. Bien que l'azote soit très abondant dans l'atmosphère sous forme de gaz azote (N_2), il est largement inaccessible sous cette forme à la plupart des organismes, faisant de l'azote une ressource rare et limitant souvent la productivité primaire dans de nombreux écosystèmes. Ce n'est que lorsque l'azote est converti de N_2 en ammoniac (NH_3) qu'il devient disponible pour les producteurs primaires, par ex. les plantes.

Le cycle de l'azote représente l'un des cycles de nutriments les plus importants des écosystèmes terrestres (figure 21). Le stock d'azote est environ un million de fois plus grand que l'azote total contenu dans les organismes vivants. D'autres réserves importantes d'azote comprennent la matière organique dans le sol et les océans. La plupart des plantes obtiennent l'azote dont elles ont besoin sous forme de nitrate inorganique à partir de la solution du sol. L'ammonium est moins utilisé par les plantes pour l'absorption, car en grandes concentrations, il est extrêmement toxique. Les animaux reçoivent l'azote dont ils ont besoin pour leur métabolisme, leur croissance et leur reproduction par la consommation de matière organique vivante ou morte contenant des molécules composées partiellement d'azote.

Dans la plupart des écosystèmes, l'azote est principalement stocké dans la matière organique vivante et morte. Cet azote organique est converti sous formes inorganiques lorsqu'il rentre dans le cycle biogéochimique par décomposition. Les décomposeurs, qui se trouvent dans la couche supérieure du sol, modifient chimiquement l'azote présent dans la matière organique de l'ammoniac (NH_3) aux sels d'ammonium (NH_4^+). Ce processus est connu sous le nom de minéralisation et est réalisé par une variété de bactéries, actino-mycètes et champignons

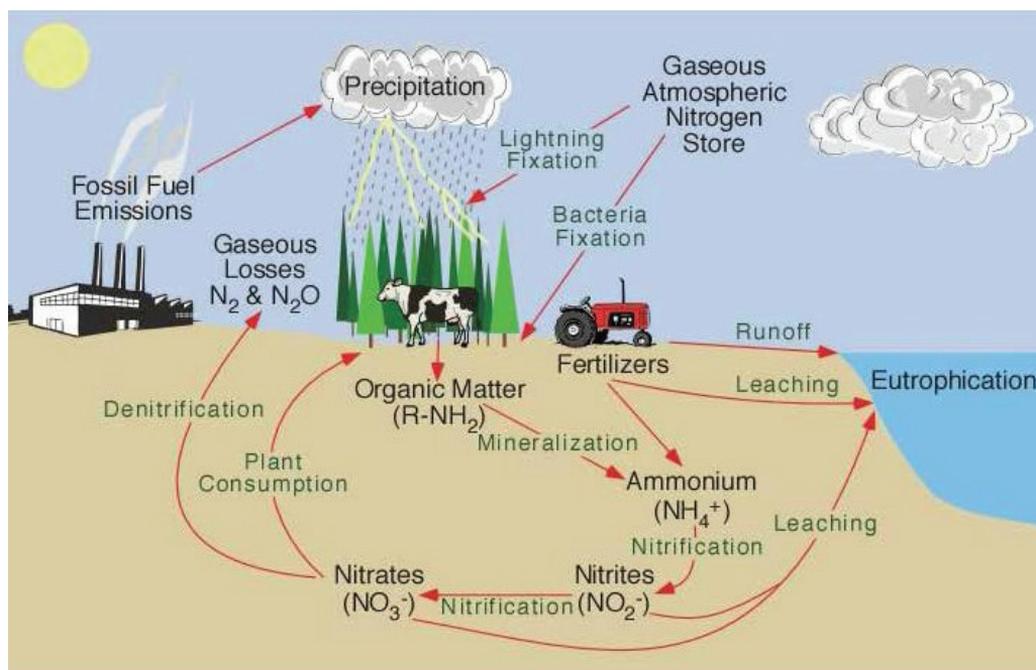


Figure 21. Le cycle de l'azote

Source : <http://www.physicalgeography.net/fundamentals/9s.html>

L'ion ammonium à charge moléculaire positive est normalement détenu par les colloïdes du sol. Ce processus est parfois appelé fixation de micelles. L'ammonium est libéré des colloïdes par échange de cations. Lorsqu'il est libéré, la majeure partie de l'ammonium est souvent modifié chimiquement par un type spécifique de bactéries autotrophes (appartenant au genre Nitrosomonas) dans le nitrite (NO⁻). Une modification supplémentaire par un autre type de bactéries (appartenant au genre Nitrobacter) convertit le nitrite en nitrate (NO³). Ces deux processus impliquent une oxydation chimique et sont connus sous le nom de nitrification. Cependant, le nitrate est très soluble et il est facilement perdu du système du sol par lessivage. Une partie de ce nitrate s'écoule à travers le système hydrologique jusqu'à atteindre les océans où il peut retourner dans l'atmosphère par dénitrification. La dénitrification est également courante dans les sols anaérobies et est effectuée par des bactéries hétérotrophes. Le processus implique la réduction métabolique du nitrate (NO₃) en azote (N₂) ou en oxyde nitreux (N₂O). Ces deux gaz se diffusent ensuite dans l'atmosphère.

La quasi-totalité de l'azote présent dans tout écosystème terrestre provient de l'atmosphère. Des quantités importantes pénètrent dans le sol pendant la pluie ou par les effets de la foudre. La majorité, quel que soit le moment, est biochimiquement fixée dans le sol par des micro-organismes spécialisés comme les bactéries, les actinomycètes, les cètes et les cyanobactéries. Les membres de la famille Leguminosae (légumineuses) et d'autres types de plantes forment des relations symbiotiques mutualistes avec les bactéries fixatrices d'azote. En échange d'un peu d'azote, les bactéries reçoivent des plantes des glucides et des structures spéciales (nodules) dans les racines où elles peuvent exister dans un environnement humide. Les scientifiques estiment que la fixation biologique ajoute environ 140 millions de tonnes métriques d'azote aux écosystèmes chaque année.



En question textuelles (30 minutes)

Discutez de l'importance des cycles hydrologiques, de l'azote et du carbone pour les hommes et les écosystèmes.

- 1) Comment l'énergie du soleil affecte-t-elle le cycle hydrologique?
- 2) Quels sont les effets du changement climatique sur les cycles hydrologiques, de l'azote et du carbone?
- 3) Comment les activités de l'homme ont-elles un impact sur les cycles hydrologiques et du carbone ?
- 4) Comment le réchauffement climatique affecte-t-il le cycle de l'azote ?
- 5) Discutez de l'importance des cycles hydrologiques, de l'azote et du carbone pour les humains et l'écosystème.
- 6) Comment l'énergie du soleil affecte-t-elle le cycle hydrologique ?
- 7) Quels sont les effets du changement climatique sur les cycles hydrologiques, de l'azote et du carbone?
- 8) Comment les activités de l'homme ont-elles un impact sur les cycles hydrologiques et du carbone ?
- 9) Comment le réchauffement climatique affecte-t-il le cycle de l'azote?

Étude de cas 4. Influences humaines sur le cycle de l'azote

En raison de la culture extensive de légumineuses (en particulier le soja, la luzerne et le trèfle), l'utilisation croissante du processus Haber-Bosch dans la création d'engrais chimiques et la pollution émise par les véhicules et les installations industrielles, les êtres humains ont plus que doublé le transfert annuel de l'azote sous des formes biologiquement disponibles. De plus, les humains ont contribué de manière significative au transfert de gaz à l'état d'azote de la Terre à l'atmosphère et de la terre aux systèmes aquatiques. Les altérations humaines du cycle mondial de l'azote sont plus intenses dans les pays développés et en Asie, où les émissions des véhicules et de l'agriculture industrielle sont les plus élevées.

L'oxyde nitreux (N_2O) a augmenté dans l'atmosphère sous l'effet des engrais agricoles, de la combustion de la biomasse, des bovins et des parcs d'engraissement et des sources industrielles. Le N_2O a des effets négatifs dans la stratosphère, où il se décompose et agit comme catalyseur dans la destruction de l'ozone atmosphérique. Le N_2O est également un GES et est actuellement le troisième contributeur au réchauffement climatique, après le CO_2 et le méthane. Bien qu'il ne soit pas aussi abondant dans l'atmosphère que le CO_2 , il est, pour une masse équivalente, près de 300 fois plus puissant dans sa capacité à réchauffer la planète.

L'ammoniac (NH_3) dans l'atmosphère a triplé en raison des activités humaines. C'est un réactif dans l'atmosphère, où il agit comme un aérosol, diminuant la qualité de l'air et s'accrochant aux gouttelettes d'eau, entraînant éventuellement de l'acide nitrique (HNO_3) qui produit des pluies acides. Le NH_3 atmosphérique et l'acide nitrique endommagent également les systèmes respiratoires.

La très haute température de la foudre produit naturellement de petites quantités de NO_x , NH_3 et HNO_3 , mais la combustion à haute température a contribué à une augmentation de 6 ou 7 fois du flux de NO_x dans l'atmosphère. Sa production est fonction de la température de combustion - plus la température est élevée, plus il y a de NO . La combustion de combustibles fossiles est un facteur principal, tout comme les biocarburants et même la combustion d'hydrogène. La température de combustion plus élevée de l'hydrogène produit plus de NO_x que la combustion de gaz naturel.

L'ammoniac et les oxydes d'azote modifient activement la chimie atmosphérique. Ce sont des précurseurs de la production d'ozone troposphérique (basse atmosphère), contribuant au smog et aux pluies acides, endommageant les plantes et augmentant les apports d'azote aux écosystèmes. Les processus écosystémiques peuvent augmenter avec la fertilisation azotée, mais les apports anthropiques peuvent également entraîner une saturation en azote, ce qui affaiblit la productivité et peut nuire à la santé des plantes, des animaux, des poissons et des humains.

Une diminution de la biodiversité peut également se produire si une plus grande disponibilité d'azote augmente les graminées exigeantes en azote, provoquant une dégradation des landes pauvres en azote et d'espèces diverses.

Les risques supplémentaires posés par la disponibilité accrue d'azote inorganique dans les écosystèmes aquatiques comprennent l'acidification de l'eau ; l'eutrophisation des systèmes d'eau douce et d'eau salée ; et les problèmes de toxicité pour les animaux, y compris les humains. L'eutrophisation entraîne souvent une baisse des niveaux d'oxygène dissous dans la colonne d'eau, y compris des conditions hypoxiques et anoxiques, qui peuvent entraîner la mort de la faune aquatique.

Les créatures vivant au fond des océans sont particulièrement vulnérables en raison de leur manque de mobilité, bien que les gros poissons tués ne soient pas rares. Les zones mortes océaniques près de l'embouchure du Mississippi dans le golfe du Mexique sont un exemple bien connu d'hypoxie induite par la prolifération d'algues. Les lacs New York Adirondack, Catskills, Hudson Highlands, le plateau Rensselaer et certaines parties de Long Island montrent l'impact des dépôts de pluie d'acide nitrique, portant atteinte aux poissons et à d'autres espèces.

L'ammoniac (NH_3) est très toxique pour les poissons et le niveau d'ammoniac rejeté des installations de traitement des eaux usées doit être surveillé de près. Pour éviter la mort du poisson, il est souhaitable de procéder à la nitrification par aération avant le rejet. L'épandage peut être une alternative intéressante à l'aération.

L'azote est sans doute le plus important élément nutritif dans la régulation de la productivité primaire et de la diversité des espèces dans les écosystèmes aquatiques et terrestres. Les processus induits par les microbes, tels que la fixation de l'azote, la nitrification et la dénitrification, constituent la majeure partie des transformations de l'azote et jouent un rôle essentiel dans le sort de l'azote dans les écosystèmes terrestres. Cependant, à mesure que les populations humaines continuent d'augmenter, les conséquences des activités humaines continuent de menacer nos ressources et ont déjà considérablement modifié le cycle mondial de l'azote.

Source: Vitousek, et al., 1997.



Résumé

Cette session a permis aux apprenants de découvrir les bases de la science du climat et des processus biogéochimiques. Les sujets abordés comprenaient les couches de l'atmosphère et la façon dont elles interagissent avec d'autres éléments. L'importance et l'effet du changement climatique ainsi que les prédictions de la hausse des températures sur les cycles hydrologiques, azotés et carbonés ont également été traités

4.3. Les moteurs du changement global

Cette session présente les facteurs naturels et anthropiques qui causent directement ou indirectement un changement dans un écosystème. Ces facteurs sont appelés “moteurs”. Un moteur direct influence sans équivoque les processus écosystémiques. Un moteur indirect fonctionne de manière plus diffuse, en modifiant un ou plusieurs moteurs directs. Une description détaillée des moteurs figure au chapitre 2



Objectifs

À la fin de cette session, l'apprenant sera à mesure de:

- donner des exemples de moteurs directs et indirects du changement climatique dans son pays ; et
- décrire comment ces moteurs contribuent au changement climatique.



Activité 1 (Discussion et présentation) (30 minutes)

Les étudiants/participants devraient discuter sur :

- L'impact de la croissance de la population sur les écosystèmes forestiers ;
- L'impact de l'industrialisation sur l'environnement
- Quelques raisons de l'augmentation du taux d'urbanisation dans le monde
- Les moyens de réduire ce taux d'urbanisation.

4.3.1. Croissance de la population

La population mondiale a doublé au cours des 40 dernières années et a augmenté de deux milliards de personnes au cours des 25 dernières années, pour atteindre six milliards en 2000. Les pays en développement sont à l'origine de la croissance démographique la plus récente, mais il existe aujourd'hui une diversité sans précédent de modèles démographiques entre les régions et les pays. Certains pays à revenu élevé, comme les États-Unis, connaissent encore des taux élevés de croissance démographique, tandis que certains pays en développement comme la Chine, la Thaïlande et la Corée du Nord ont des taux très bas.

La croissance économique et la croissance de la population conduisent à une consommation accrue des services écosystémiques, bien que les effets néfastes sur l'environnement à chaque niveau particulier de consommation dépendent de l'efficacité des technologies utilisées dans la production du service. Ces facteurs interagissent de façon complexe dans différentes localités pour modifier les pressions exercées sur les écosystèmes et l'utilisation des services écosystémiques

Étude de cas 5. Effets de la croissance démographique sur le changement climatique

Les zones à forte croissance démographique et à forte vulnérabilité face au changement climatique ont des répercussions sur l'environnement. Les données montrent que les pays les plus pauvres et les groupes les plus pauvres d'une population sont les plus vulnérables aux risques climatiques tels que les inondations, les sécheresses et les glissements de terrain. De nombreux pays en développement connaissent actuellement une croissance démographique rapide, ce qui augmente le nombre de personnes qui seront exposées aux effets prévus du changement climatique.

On s'attend à ce que l'augmentation de la température affecte négativement la production agricole dans la région tropicale et subtropicale, où les cultures existent déjà au sommet de leur gamme de températures. Selon les projections de la croissance de la population à moyenne échelle, la perte de la production agricole et l'augmentation des prix des cultures dues au changement climatique placeront 90 à 125 millions de personnes supplémentaires dans les pays en développement à risque de famine d'ici 2080.

Bien que tout le monde soit affecté par le changement climatique, l'ONU a prévu en 2009 que les femmes souffriront le plus dans la plupart des zones. Les facteurs physiques et culturels contribuent à la vulnérabilité disproportionnée des femmes aux effets du changement climatique. Dans de nombreuses sociétés, en tant que principales sources d'approvisionnement en eau, en nourriture et en carburant, les femmes portent un fardeau supplémentaire à mesure que ces ressources deviennent rares ou imprévisibles en matière d'approvisionnement. Les femmes sont également plus susceptibles de mourir en cas de catastrophe naturelle.

Source : Population Action International (PAI) (n.d)

Les tendances démographiques ont un lien important avec les défis et les solutions au problème du changement climatique. La croissance démographique rapide exacerbe la vulnérabilité aux conséquences négatives du changement climatique et expose un nombre croissant de personnes au risque climatique. La croissance démographique est l'un des moteurs de l'augmentation des gaz à effet de serre.

4.3.1 Urbanisation

Environ la moitié de la population mondiale vit aujourd'hui dans des zones urbaines (bien que les zones urbaines couvrent moins de 3% de la surface terrestre), contre moins de 15% au début du XXe siècle. Les pays à revenu élevé ont une population urbaine de 70 à 80 %. L'Afrique, longtemps considérée comme un continent essentiellement rural, a une population urbaine plus importante que l'Amérique du Nord, près des deux cinquièmes de sa population. Elle possède une forte concentration de ses plus grandes villes dans les zones côtières.

Les pays à faible revenu ou à revenu intermédiaire comptent désormais pour les trois quarts de la population urbaine mondiale. Ils ont les populations les plus exposées à l'intensité et/ou à la fréquence accrues des tempêtes, des inondations, des glissements de terrain et des vagues de chaleur que le changement climatique provoque ou entraînera. La très forte concentration de décès mondiaux dus à des catastrophes climatiques extrêmes dans les pays à faible revenu ou à revenu intermédiaire est bien connue. Si des données plus précises étaient disponibles, il est probable qu'une proportion importante et croissante de ces décès survient en zones urbaines.

Sans adaptation, le changement climatique est susceptible d'entraîner un nombre toujours croissant de décès accidentels et de blessures graves, ainsi que des dommages de plus en plus graves aux moyens de subsistance, aux biens, à la qualité de l'environnement et à la prospérité future de la population. Le changement climatique a aussi le potentiel d'augmenter les risques d'inondation dans les villes de trois façons :

- via la mer (élévation du niveau de la mer et ondes de tempête);
- par des pluies plus abondantes ou des pluies plus prolongées que par le passé; et,
- via des changements qui augmentent les débits fluviaux - par exemple à travers une fonte glaciaire accrue.

Le Groupe de travail II du GIEC a noté que les fortes précipitations augmenteront très probablement en fréquence et augmenteront le risque d'inondation et les preuves croissantes d'une augmentation du ruissellement et des débits printaniers de pointe dans de nombreuses rivières alimentées par les glaciers et la neige. En plus des risques d'inondation, des événements pluviométriques plus extrêmes associés au changement climatique généreront également un risque accru de glissements de terrain dans de nombreux centres urbains.

Dans les zones urbaines, les personnes les plus exposées au changement climatique sont :

- les personnes les moins capables d'éviter les impacts directs ou indirects, par exemple en ayant des maisons de bonne qualité et des systèmes d'évacuation qui empêchent les inondations, en se déplaçant vers des emplacements moins risqués ou en changeant d'emploi si le changement climatique menace leurs moyens de subsistance ;
- les nourrissons et les groupes plus âgés qui sont moins aptes à faire face aux vagues de chaleur ; et,
- les personnes les moins capables de faire face à la maladie, aux blessures, aux décès prématurés ou à la perte de revenus, de moyens de subsistance ou à l'évolution du changement climatique.

4.3.2 Industrialisation

L'industrialisation est le changement social et économique qui transforme une société d'une économie agraire en une économie industrielle, impliquant une réorganisation complète de l'économie pour le bien de la production manufacturière. La première transformation de l'économie industrielle en économie agricole, connue sous le nom de Révolution industrielle, a eu lieu du milieu du XVIIIe au début du XIXe siècle dans certaines régions d'Europe et d'Amérique du Nord. La "Seconde Révolution Industrielle" désigne les changements survenus au milieu du XIXe siècle après le raffinement du moteur à vapeur, l'invention du moteur à combustion interne, l'exploitation de l'électricité et la construction de canaux, de chemins de fer et de lignes électriques. L'invention de la chaîne d'assemblage a donné un coup de pouce à cette phase.

L'industrialisation est associée au changement climatique ; l'urbanisation ; la migration (les travailleurs doivent quitter leur famille pour venir travailler dans les villes où se trouvent ces industries) ; et les changements dans la structure familiale.

Le CO₂ atmosphérique est à son plus haut niveau depuis 15 à 20 millions d'années. Weart (2010) a indiqué que la concentration atmosphérique de CO₂ avait augmenté de 35 % depuis le début de l'ère de l'industrialisation ; 29 gigatonnes de CO₂ sont produites chaque année.

4.3.3 Développement et progrès technologiques

Le développement et la diffusion des connaissances scientifiques, et des technologies qui exploitent ce savoir, ont de profondes implications pour les systèmes écologiques et le bien-être humain. Le XXe siècle a été marqué par des progrès considérables dans la compréhension du fonctionnement physique, chimique, biologique et social du monde et dans l'application de ces connaissances aux activités humaines.

Le progrès technologique sera crucial dans les réponses au changement climatique. Il peut fournir les clés pour réduire le coût de l'atténuation du changement climatique. Les politiques et l'économie peuvent propulser le changement technologique, et les dirigeants politiques et les entreprises doivent tous deux jouer un rôle majeur dans le développement des technologies nécessaires pour lutter contre le changement climatique.

Les impacts de la technologie sur l'environnement peuvent être positifs ou négatifs. Une meilleure technologie - positive peut nous aider à étudier et à mieux comprendre comment nous affectons l'environnement. Les avancées - négatives (i) dans les domaines qui nécessitent des combustibles fossiles réduisent la quantité disponible de ces combustibles et, s'ils sont brûlés, ils émettent du CO₂ dans l'air ; (ii) dans d'autres techniques d'exploitation peuvent également réduire les forêts, les aquifères et les autres ressources naturelles dont nous avons besoin.

4.3.4 Utilisation et changement de la couverture des terres

Le changement d'utilisation et de couverture des terres (LULCC) est un terme général qui désigne la modification de la surface terrestre par l'homme. Bien que les humains modifient la terre pour obtenir de la nourriture et d'autres produits de première nécessité depuis des milliers d'années, les taux actuels, les étendues et les intensités de la LULCC sont bien plus grands que jamais dans l'histoire, ce qui entraîne des changements sans précédent dans les écosystèmes et les processus environnementaux aux échelles locale, régionale et mondiale. Ces changements englobent les plus grandes préoccupations environnementales de l'humanité aujourd'hui, y compris le changement climatique, la perte de biodiversité et la pollution de l'eau, des sols et de l'air. La surveillance et l'atténuation des conséquences négatives de la LULCC tout en maintenant la production de ressources essentielles sont donc devenues une priorité majeure pour les chercheurs et les décideurs du monde entier.

La couverture terrestre désigne la couverture physique et biologique de la surface des terres, y compris l'eau, la végétation, le sol nu et/ou les structures artificielles. L'utilisation des terres est un terme plus compliqué. Les spécialistes des sciences naturelles définissent l'utilisation des terres en termes d'activités humaines telles que l'agriculture, la foresterie et la construction de bâtiments qui modifient les processus de la surface terrestre, notamment l'hydrologie, la biogéochimie et la biodiversité. Les spécialistes des sciences sociales et les gestionnaires des terres définissent l'utilisation des terres de façon plus générale afin d'inclure les buts et les contextes sociaux et économiques pour lesquels et dans lesquels les terres sont gérées (ou laissées sans gestion), comme l'agriculture de subsistance par opposition à l'agriculture commerciale, les terres louées par opposition aux terres possédées, ou les terres privées par opposition aux terres publiques.

Bien que la couverture terrestre puisse être observée directement sur le terrain ou par télédétection, l'observation de l'utilisation des terres et de ses changements exige généralement l'intégration de méthodes scientifiques naturelles et sociales (connaissances d'experts, entrevues avec les gestionnaires des terres) pour déterminer quelles activités humaines se déroulent dans différentes parties du paysage, même lorsque la couverture terrestre semble être la même. Par exemple, les zones couvertes par la végétation ligneuse peuvent représenter une terre arbustive naturelle non perturbée, une réserve forestière qui se remet d'un incendie (utilisation = conservation), une repousse après la récolte des arbres (foresterie), une plantation de jeunes arbres (plantation agricole), des parcelles d'agriculture de subsistance (ou agriculture itinérante) qui se trouvent entre deux périodes de défrichage pour la production annuelle ou une plantation de thé irriguée. En conséquence, l'enquête scientifique sur les causes et les conséquences de la LULCC nécessite une approche interdisciplinaire intégrant les méthodes scientifiques tant naturelles que sociales, qui sont apparues comme la nouvelle discipline de la science du changement des terres

Étude de cas 6. Effets de l'utilisation des terres et changement de la couverture terrestre (LULCC)

Perte de la biodiversité. La biodiversité est souvent considérablement réduite par le LULCC. Lorsque les terres sont transformées d'une forêt primaire à une exploitation agricole, la perte d'espèces forestières dans les zones déboisées est immédiate et complète. Même lorsqu'ils ne sont pas accompagnés de changements apparents dans le couvert végétal, des effets similaires sont observés lorsque des terres relativement non perturbées sont transformées en des utilisations plus intensives, notamment le pâturage du bétail, la récolte sélective d'arbres et même la prévention des feux de forêt. La capacité d'habitat des forêts et d'autres écosystèmes entourant ceux qui font l'objet d'une utilisation intensive est également affectée par la fragmentation de l'habitat existant en petits morceaux (fragmentation de l'habitat), ce qui expose les contours de la forêt à des influences externes et réduit la zone d'habitat de base. Les zones d'habitat plus petites abritent généralement moins d'espèces (biographie des îles) et, pour les espèces nécessitant un habitat de base non perturbé, la fragmentation peut causer une extinction locale et même générale. Les recherches démontrent également que les invasions d'espèces par des plantes, des animaux et des maladies non indigènes peuvent se produire plus facilement dans les zones exposées par le LULCC, en particulier à proximité des établissements humains.

Changement climatique. Le LULCC joue un rôle majeur dans le changement climatique aux échelles mondiale, régionale et locale. À l'échelle mondiale, le LULCC est responsable du rejet de gaz à effet de serre dans l'atmosphère, ce qui entraîne le réchauffement de la planète. Le LULCC peut accroître le rejet de CO₂ dans l'atmosphère en perturbant les sols et la végétation terrestre, et le principal moteur de ce changement est la déforestation, surtout lorsqu'elle est suivie par l'agriculture, qui provoque une plus grande libération de carbone dans le sol en réponse à la perturbation par le travail du sol. L'évolution de l'utilisation des terres et de la couverture terrestre est également à l'origine de changements majeurs dans les émissions terrestres d'autres gaz à effet de serre, en particulier le méthane (altération de l'hydrologie de surface : drainage des terres humides et rizières ; pâturage du bétail) et de l'oxyde nitreux (agriculture : engrais azotés inorganiques ; irrigation ; la culture de plantes fixatrices d'azote ; combustion de la biomasse).

La pollution. Les changements dans l'utilisation et la couverture du sol sont des facteurs importants de la pollution de l'eau, du sol et de l'air. La plus ancienne de ces activités est peut-être le défrichement des terres pour l'agriculture et la récolte d'arbres et d'autres biomasses. L'élimination de la végétation rend les sols vulnérables à une augmentation massive de l'érosion par le vent et l'eau, en particulier sur les terrains escarpés, et lorsqu'elle s'accompagne d'un incendie, elle libère également des polluants dans l'atmosphère. Non seulement cela dégrade la fertilité du sol au fil du temps, réduisant l'aptitude des terres à une utilisation agricole future, mais cela libère aussi du phosphore, de l'azote et des sédiments dans les cours d'eau et d'autres écosystèmes aquatiques, ce qui entraîne toute une série d'impacts négatifs (augmentation de la sédimentation, de la turbidité, de l'eutrophisation et de l'hypoxie côtière).

L'exploitation minière peut produire des impacts encore plus importants, notamment la pollution par les métaux toxiques exposés au cours du processus. Les pratiques agricoles modernes, qui comprennent d'importants apports d'engrais azotés et phosphorés et la concentration du bétail et de ses déjections sur de petites surfaces, ont considérablement accru la pollution des eaux de surface par le ruissellement et l'érosion et la pollution des eaux souterraines par le lessivage de l'azote excédentaire (sous forme de nitrates). D'autres produits chimiques agricoles, y compris les herbicides et les pesticides, sont également rejetés dans les eaux souterraines et de surface par l'agriculture et, dans certains cas, demeurent sous forme de contaminants dans le sol. Le brûlage de la biomasse végétale pour défricher les champs agricoles (résidus de culture, mauvaises herbes) reste un puissant facteur de pollution atmosphérique régionale, où qu'il se produise, et a maintenant été interdit dans de nombreuses régions.



Questions textuelles (30 minutes)

- 1) Comment l'industrialisation contribue-t-elle au changement climatique ?
- 2) Que peut-on faire pour réduire les émissions de carbone issues de l'industrialisation ?
- 3) Comment les progrès technologiques peuvent-ils réduire l'effet du changement climatique ?
- 4) Dans quelle mesure la croissance de la population humaine a-t-elle un impact sur le réchauffement climatique, et que peut-on faire pour y remédier ?



Résumé

Cette session a présenté les moteurs du changement climatique et la façon dont chacun d'entre eux contribue au changement climatique. Nous avons étudié comment la croissance démographique, l'urbanisation, l'industrialisation, le développement technologique et le changement d'affectation et d'occupation des sols ont un impact sur le climat.

4.4. Systèmes climatiques

Cette session porte sur les composantes des systèmes climatiques, l'interaction des processus physiques, chimiques et biologiques du système climatique et le rayonnement solaire. Le système climatique est un système complexe et interactif composé de l'atmosphère, de la surface terrestre, de la neige et de la glace, des océans et autres masses d'eau, et des êtres vivants.

Le système climatique évolue dans le temps sous l'influence de sa propre dynamique interne et en raison des changements des facteurs externes qui affectent le climat (appelés "forces²"). Les forces externes comprennent les phénomènes naturels comme les éruptions volcaniques et les variations solaires, ainsi que les changements de la composition de l'atmosphère dus à l'homme. Le rayonnement solaire alimente le système climatique.



Objectifs

À la fin de cette session, l'apprenant sera en mesure de

- décrire les composantes des systèmes climatiques ;
- expliquer comment les composantes physiques, chimiques et biologiques du climat interagissent ;
- analyser les régimes et les systèmes météorologiques ; et,
- expliquer comment on obtient un équilibre solaire par rayonnement, absorption, diffusion, réflexion et albédo de la Terre.



Activité 1 (Discussion) (20 minutes)

En petits groupes, partagez vos points de vue sur la façon dont l'atmosphère, l'hydrosphère, la cryosphère, la biosphère et la surface terrestre interagissent pour façonner les systèmes climatiques.

4.4.1 Les grandes phases climatiques

Il existe quatre grandes phases climatiques : les périodes glaciaires et interglaciaires, l'Holocène et l'Anthropocène.

Les périodes glaciaires sont des ères géologiques qui ont été marquées par des températures plus basses dans l'hémisphère Nord, où la couverture continentale est dominante, ce qui entraîne une expansion des glaciers aux hautes latitudes.

Une période interglaciaire est une période séparant deux glaciations et durant laquelle les températures moyennes sont relativement élevées. La période interglaciaire actuelle est l'Holocène. Elle a duré depuis la fin du Pléistocène, il y a environ 12 000 ans.

L'Holocène (12 000 ans à aujourd'hui) est une période interglaciaire, une période chaude qui suit la dernière glaciation du pléistocène. L'Holocène est la quatrième et dernière période du Néogène, l'un des nombreux interglaciaires quaternaires. L'Holocène correspond à l'avènement du Mésolithique, du Néolithique et des cultures ultérieures. C'est le début de l'expansion rapide de l'espèce humaine. Certains scientifiques désignent une nouvelle époque géologique succédant à l'Holocène : l'Anthropocène.

L'Anthropocène est un terme de chronologie géologique proposé pour caractériser la période sur Terre qui a commencé lorsque les activités humaines ont eu un impact global important sur les écosystèmes terrestres. Ce terme a été popularisé à la fin du XXe siècle par le météorologue et chimiste atmosphérique Paul Crutzen, prix Nobel de chimie en 1995, pour désigner une nouvelle époque géologique qui, selon lui,

2 Définie comme la différence entre l'insolation (lumière solaire) absorbée par la Terre et l'énergie renvoyée dans l'espace

aurait commencé à la fin du XVIII^e siècle avec la révolution industrielle, et succéderait ainsi à l'Holocène. C'est la période pendant laquelle l'influence de l'être humain sur la biosphère a atteint un tel niveau qu'elle est devenue une " force géologique " majeure capable de marquer la lithosphère.

4.4.2 Composantes des systèmes climatiques

Le système climatique, tel que défini par le GIEC, est un système interactif composé de cinq composantes majeures : l'atmosphère, l'hydrosphère, la cryosphère, la surface terrestre et la biosphère, contraintes ou influencées par divers mécanismes externes, dont le plus important est le soleil (Figure 22). Ces composantes essentielles ne sont pas passives et ne fonctionnent pas seules. Le climat de la Terre est plutôt régi par une interaction complexe et dynamique entre ces cinq composantes.

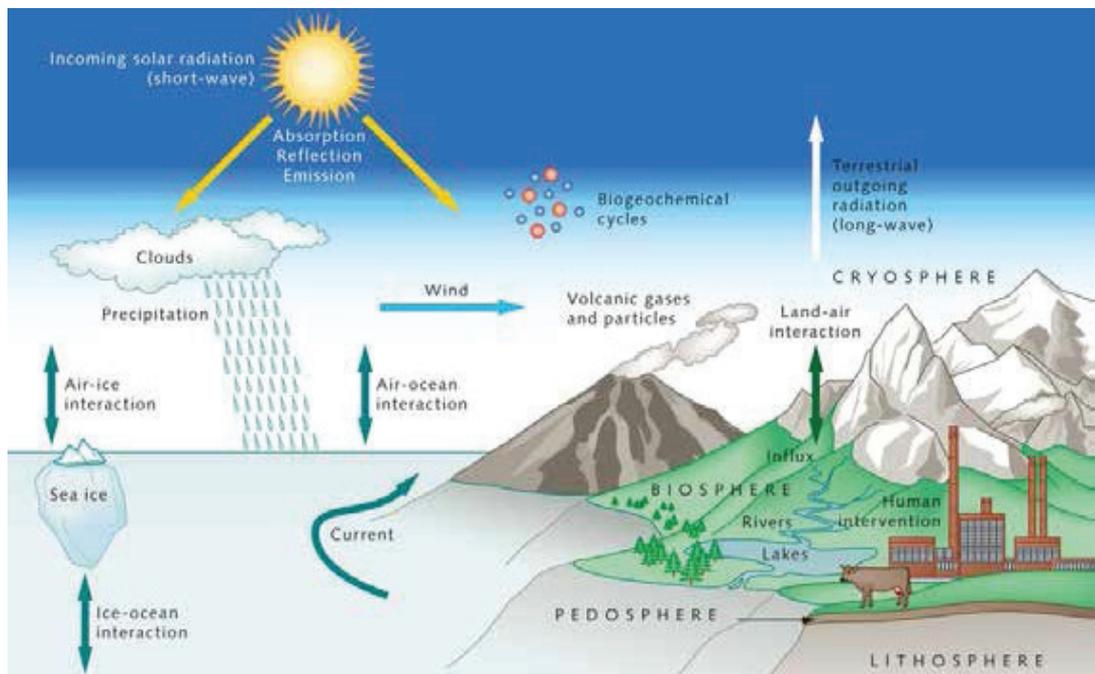


Figure 23. Composantes du système climatique.

Source : <http://worldoceanreview.com/en/wor-1/climate-system/Earth-climate-system/>

L'atmosphère est essentiellement l'air qui enveloppe la surface de la Terre. Mesuré en volume, l'air sec de l'atmosphère contient 78,08 % d'azote, 20,95 % d'oxygène, 0,93 % d'argon et 0,038% de CO₂. Bien qu'aucune limite concrète ne définit l'atmosphère, elle n'exerce aucun effet visible sur le climat après environ 120 km au-dessus de la surface de la Terre. De toutes les cinq composantes du climat, l'atmosphère est la plus dynamique et la plus changeante. Par exemple, le chauffage et le refroidissement de l'air créent des courants de vent qui transportent la vapeur d'eau et transportent la chaleur d'une partie de la Terre à une autre.

Les eaux douces et salées de la Terre, y compris les lacs, les rivières, les eaux souterraines et les océans, constituent l'hydrosphère. L'océan représente environ 70 % de la surface de la planète. Les eaux de l'hydrosphère stockent et transportent l'énergie, décomposent les minéraux, stockent le CO₂ et, surtout dans le cas des océans, conservent une quantité massive de chaleur. Comme cette chaleur aide à prévenir les changements de température drastiques, les océans servent de régulateurs climatiques de la planète.

La cryosphère est la glace à la surface de la Terre. Cela comprend les calottes glaciaires, les glaciers, le pergélisol, la glace de mer et la couverture neigeuse. En plus de stocker de grandes quantités d'eau, la glace de la cryosphère reflète le rayonnement solaire dans l'espace. Peut-être plus important encore, la cryosphère contribue à la circulation de l'eau profonde dans les océans. À mesure que de grands volumes de glace s'accumulent et fondent, le processus entraîne des variations du niveau de la mer.

La lithosphère est la terre solide de la Terre. En tant que coquille la plus extérieure de la planète, la lithosphère comprend les sols, les plaines, les montagnes et tout ce qui y est lié géologiquement. Par rapport aux quatre autres composantes, la lithosphère exerce relativement peu d'influence sur le climat, bien que la position complexe des terres et du sol influe sur la façon dont le rayonnement solaire est absorbé ou réintégré dans l'atmosphère. De plus, la texture de la lithosphère influe sur l'impact du vent lorsqu'il se déplace sur la surface de la Terre. La texture de la surface de la Terre, par exemple, crée des ombres pluviométriques et des déserts.

Toutes les plantes et tous les animaux vivants sur Terre composent la biosphère, y compris les organismes marins et terrestres. Les créatures vivantes exercent une énorme influence sur l'absorption et le rejet de gaz à effet de serre. Les plantes de la Terre stockent d'importantes quantités de CO_2 , ce qui en fait des acteurs clés du cycle du carbone. La biosphère affecte aussi le climat de la planète par l'albédo de surface, ou par la réflexion de la lumière. La structure à grande échelle de la croissance des plantes dans la biosphère influence le processus de transfert de l'eau de la terre à l'atmosphère, tout comme elle influence les mouvements du vent. Les grandes forêts contribuent à la création de leurs propres climats locaux.

4.4.3 Interaction des processus physiques, chimiques et biologiques du système climatique

De nombreux processus d'interaction physique, chimique et biologique se produisent entre les différentes composantes du système climatique sur un large éventail d'échelles spatiales et temporelles, ce qui rend le système extrêmement complexe. Bien que les composantes du système climatique soient très différentes dans leur composition, leurs propriétés physiques et chimiques, leur structure et leur comportement, elles sont toutes reliées par des flux de masse, de chaleur et de dynamique : tous les sous-systèmes sont ouverts et interconnectés.

Par exemple, l'atmosphère et les océans sont fortement liés et échangent, entre autres, de la vapeur d'eau et de la chaleur par évaporation. Cela fait partie du cycle hydrologique et mène à la condensation, à la formation de nuages, aux précipitations et au ruissellement, et fournit de l'énergie aux systèmes météorologiques. Par contre, les précipitations ont une influence sur la salinité, sa distribution et la circulation thermohaline.

L'atmosphère et les océans échangent également du CO_2 , en le dissolvant dans l'eau polaire froide qui s'enfonce dans les profondeurs de l'océan et par dégazage dans les remontées d'eau relativement chaude près de l'équateur maintenant ainsi un équilibre.

Quelques autres exemples : la glace de mer entrave les échanges entre l'atmosphère et les océans ; la biosphère influe sur la concentration de CO_2 par photosynthèse et par respiration, qui est à son tour influencée par le changement climatique. La biosphère influe également sur l'apport d'eau dans l'atmosphère par évapotranspiration et sur l'équilibre radiatif de l'atmosphère par la quantité de lumière solaire réfléchie au ciel (albédo).

Modèles et systèmes météorologiques (par exemple, zone de convergence intertropicale, ZCIT)

La zone de convergence intertropicale (ZCIT), est la région qui entoure la Terre, près de l'équateur, où les alizés des hémisphères nord et sud se rencontrent. Le soleil intense et l'eau chaude de l'équateur réchauffent l'air dans la ZCIT, augmentant son humidité et la rendant flottante. Aidé par la convergence des alizés, l'air s'élève, se développe et se refroidit, libérant l'humidité accumulée pendant une série d'orages.

Les changements saisonniers dans la localisation de la ZCIT, affectent considérablement les précipitations dans de nombreux pays équatoriaux, ce qui se traduit par les saisons humides et sèches des tropiques plutôt que par les saisons froides et chaudes des plus hautes latitudes. Les changements à long terme dans la ZCIT peuvent entraîner de graves sécheresses ou des inondations dans les régions avoisinantes

Modèles et systèmes météorologiques (par exemple, zone de convergence intertropicale, ZCIT)

L'équateur thermique reçoit la chaleur la plus intense du soleil. Autour du 20 juin de chaque année, le soleil est au-dessus à $23\frac{1}{2}^{\circ}\text{N}$, du tropique du Cancer. Vers le 20 décembre, le soleil est au-dessus de nos têtes à $23\frac{1}{2}^{\circ}\text{S}$, le tropique du Capricorne. Le mouvement de l'équateur thermique déplace annuellement les ceintures des vents planétaires et des systèmes de pression vers le nord et vers le sud (figure 23).

Lorsque la masse d'air tropicale maritime (très chaude avec une humidité relativement élevée) originaire de l'océan Atlantique / golfe de Guinée, rencontre la masse d'air continentale tropicale originaire du désert du Sahara (qui est également très chaud mais avec une humidité relativement faible), l'air humide est poussé vers le haut. Cela provoque la condensation de la vapeur d'eau au fur et à mesure que l'air se refroidit et monte, ce qui entraîne une bande de fortes précipitations autour du globe.

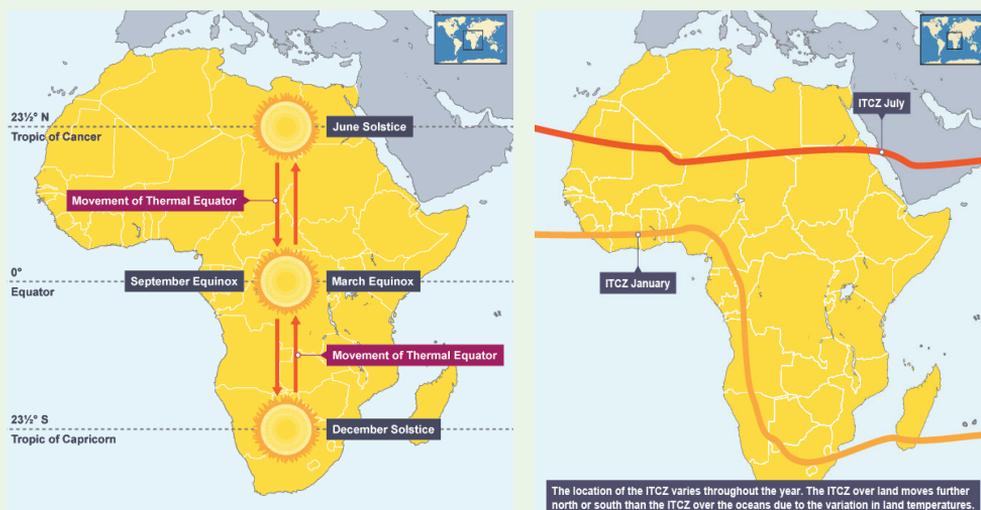


Figure 23. Déplacement de la ZCIT sur le terrain

Au fur et à mesure que la ZCIT se déplace vers le nord, elle transporte les vents mT au-dessus de la terre. Cela entraînera un temps humide. En même temps, les zones situées au nord de la ZCIT connaîtront un temps chaud et sec, sous l'influence des vents de cT. Des orages se produisent régulièrement dans la ZCIT. La variation de l'emplacement de la ZCIT affecte considérablement les précipitations dans de nombreux pays équatoriaux, ce qui se traduit par des saisons humides et sèches des tropiques.

Source: British Broadcasting Cooperation (BBC) (n.d.)



Activité 2 (Discussion de groupe et présentation) (20 minutes)

Les participants devraient discuter de l'importance de l'interaction entre les composantes physiques, chimiques et biologiques du système climatique.

4.4.4 Bilan du rayonnement

Il y a trois façons fondamentales de modifier l'équilibre du rayonnement de la Terre :

- 1) en modifiant le rayonnement solaire entrant (p. ex., par des changements dans l'orbite de la Terre ou dans le Soleil lui-même) ;
- 2) en modifiant la fraction du rayonnement solaire qui est réfléchi (appelée " albédo "), p. ex. par des changements dans la couverture nuageuse, les particules atmosphériques ou la végétation ; et
- 3) en modifiant le rayonnement de grande longueur d'onde de la Terre vers l'espace (p. ex., en modifiant les GES). Le climat, à son tour, réagit directement à ces changements, et indirectement, par le biais de divers mécanismes de rétroaction.

La quantité d'énergie qui atteint le sommet de l'atmosphère terrestre chaque seconde sur une surface d'un mètre carré face au soleil pendant la journée, est d'environ 1 370 Watts, et la quantité d'énergie par mètre carré par seconde moyenne sur toute la planète, est d'un quart de cette quantité (figure 24). Environ 30% de la lumière du soleil qui atteint le sommet de l'atmosphère se reflète dans l'espace. Environ les deux tiers de cette réflectivité sont dus aux nuages et aux petites particules dans l'atmosphère appelés «aérosols». Les zones de couleur claire de la surface de la terre, principalement la neige, la glace et les déserts, reflètent le tiers restant de la lumière solaire.

Le changement le plus spectaculaire de la réflectivité produite par les aérosols survient lorsque des éruptions volcaniques majeures éjectent du matériel très haut dans l'atmosphère. La pluie élimine généralement les aérosols de l'atmosphère en une semaine ou deux, mais lorsque des matériaux provenant d'une éruption volcanique violente sont projetés bien au-dessus du nuage le plus élevé, ces aérosols influencent généralement le climat pendant environ un an ou deux avant de tomber dans la troposphère et d'être transportés à la surface par des précipitations. Les éruptions volcaniques majeures peuvent donc provoquer une baisse de la température moyenne de surface mondiale d'environ un demi-degré Celsius, qui peut durer des mois, voire des années. Certains aérosols artificiels reflètent également de façon significative la lumière du soleil.

L'énergie qui ne se reflète pas dans l'espace est absorbée par la surface et l'atmosphère de la terre, environ 240 Watts par mètre carré ($W m^{-2}$). Pour équilibrer l'énergie entrante, la terre elle-même doit émettre, en moyenne, la même quantité d'énergie vers l'espace. La terre le fait en émettant des radiations d'ondes. Tous les corps à la surface de terre émettent continuellement des radiations à ondes longues. C'est l'énergie thermique que l'on ressent rayonner d'un feu ; plus un objet est chaud, plus il émet de chaleur en énergie. Pour émettre $240 W m^{-2}$, une surface devrait avoir une température d'environ $-19 ^\circ C$. C'est beaucoup plus froid que les conditions qui existent réellement à la surface de la Terre (la température moyenne globale de la surface est d'environ $14^\circ C$). Au lieu de cela, les $-19 ^\circ C$ nécessaires se trouvent à une altitude d'environ 5 km au-dessus de la surface.

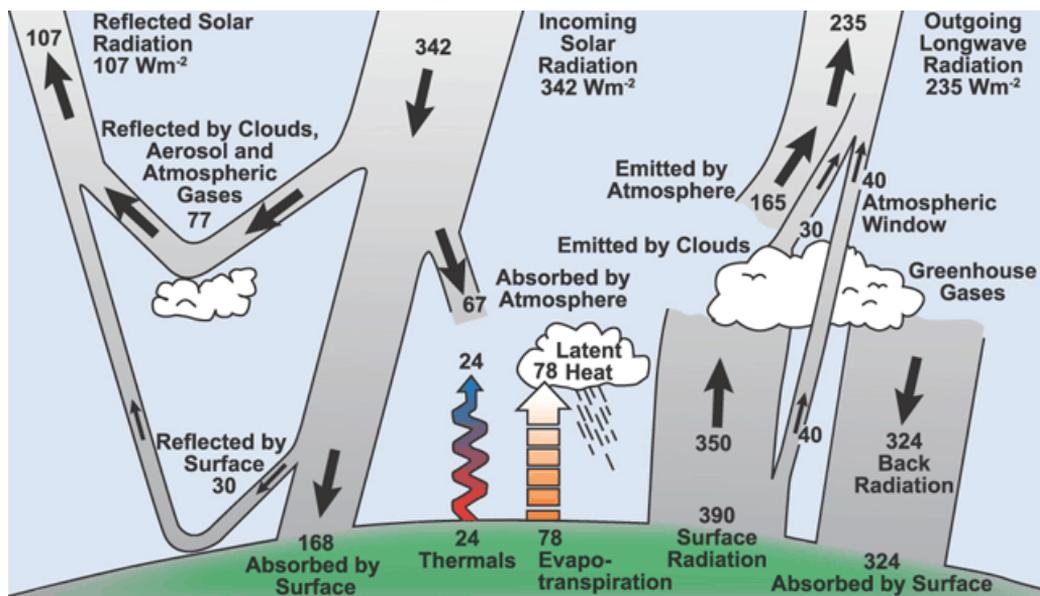


Figure 24. Estimation du bilan énergétique moyen annuel et mondial de la Terre.

Sur le long terme, la quantité de rayonnement solaire entrant absorbée par la Terre et l'atmosphère est équilibrée par ces derniers qui libèrent la même quantité de rayonnement sortant de grande longueur d'onde. Environ la moitié du rayonnement solaire entrant est absorbée par la surface de la Terre. Cette énergie est transférée à l'atmosphère par le réchauffement de l'air en contact avec la surface (thermique), par l'évapotranspiration et par le rayonnement de grande longueur d'onde qui est absorbée par les nuages et les gaz à effet de serre. L'atmosphère renvoie à son tour l'énergie de grande longueur d'onde vers la Terre ainsi que vers l'espace.

Source : Kiehl et Trenberth (1997).

La raison pour laquelle la surface de la Terre est chaude est la présence de gaz à effet de serre, qui agissent comme une couverture partielle pour le rayonnement à grande longueur d'ondes provenant de la surface. Cette couverture est connue sous le nom d'effet de serre naturel. Les deux constituants les plus abondants de l'atmosphère - l'azote et l'oxygène - n'ont pas un tel effet. Les nuages, en revanche, exercent un effet de couverture similaire à celui des gaz à effet de serre. Cependant, cet effet est compensé par leur réflectivité, de sorte qu'en moyenne, les nuages ont tendance à avoir un effet de refroidissement sur le climat (bien que localement on puisse ressentir l'effet de réchauffement : les nuits nuageuses ont tendance à rester plus chaudes que les nuits claires car les nuages rayonnent en grande longueur d'ondes de l'énergie jusqu'à la surface). Les activités humaines intensifient l'effet de couverture par la libération de gaz à effet de serre. Par exemple, la quantité de CO_2 dans l'atmosphère a augmenté d'environ 35% à l'ère industrielle en raison des activités humaines, principalement la combustion de combustibles fossiles et l'enlèvement des forêts. Ainsi, l'humanité a radicalement modifié la composition chimique de l'atmosphère mondiale avec des implications importantes pour le climat.

Comme la Terre est une sphère, il y a plus d'énergie solaire qui arrive pour une surface donnée dans les tropiques qu'aux latitudes plus élevées, où la lumière du soleil frappe l'atmosphère à un angle plus faible. L'énergie est transportée des zones équatoriales vers les hautes latitudes par les circulations atmosphériques et océaniques, y compris les systèmes de tempêtes. De l'énergie est également nécessaire pour évaporer l'eau de la surface de la mer ou de la terre, et cette énergie, appelée chaleur

latente, est libérée lorsque la vapeur d'eau se condense dans les nuages (voir Fig. 24). La circulation atmosphérique est principalement alimentée par le dégagement de cette chaleur latente. La circulation atmosphérique, à son tour, dirige une grande partie de la circulation océanique par l'action des vents sur les eaux de la surface de l'océan, et par les changements de la température et de la salinité de la surface de l'océan par les précipitations et l'évaporation.

En raison de la rotation de la Terre, les régimes de circulation atmosphérique ont tendance à être plus Est-Ouest que Nord-Sud. Dans les vents d'Ouest des latitudes moyennes, des systèmes météorologiques à grande échelle sont intégrés et transportent la chaleur vers les pôles. Ces systèmes météorologiques sont les systèmes migrateurs connus de basse et haute pression et leurs fronts froids et chauds associés. En raison des contrastes de température entre la terre et l'océan et des obstacles, tels que les chaînes de montagnes et les calottes glaciaires, les ondes atmosphériques à l'échelle planétaire du système de circulation ont tendance à être géographiquement ancrées par les continents et les montagnes, bien que leur amplitude puisse changer avec le temps. En raison de la configuration des vagues, un hiver particulièrement froid en Amérique du Nord peut être associé à un hiver particulièrement chaud ailleurs dans l'hémisphère. Les changements dans divers aspects du système climatique, tels que la taille des calottes glaciaires, le type et la répartition de la végétation ou la température de l'atmosphère ou de l'océan, influenceront sur les caractéristiques de la circulation à grande échelle de l'atmosphère et des océans.

Il existe de nombreux mécanismes de rétroaction dans le système climatique qui peuvent soit amplifier ("rétroaction positive") soit diminuer ("rétroaction négative") les effets d'un changement de la situation climatique. Par exemple, alors que les concentrations croissantes de gaz à effet de serre réchauffent le climat de la Terre, la neige et la glace commencent à fondre. Cette fonte révèle des surfaces de terre et d'eaux plus sombres qui se trouvaient sous la neige et la glace, et ces surfaces plus sombres absorbent une plus grande partie de la chaleur du Soleil, ce qui entraîne un réchauffement plus important, qui provoque une plus grande fonte, et ainsi de suite, dans un cycle auto-renforçant. Cette boucle de rétroaction, connue sous le nom de "rétroaction glace-albédo", amplifie le réchauffement initial causé par l'augmentation des niveaux de gaz à effet de serre. La détection, la compréhension et la quantification précise des rétroactions climatiques ont fait l'objet de nombreuses recherches de la part des scientifiques qui démêlent les complexités du climat de la Terre.



Questions textuelles (20 minutes)

- 1) Décrire comment les composantes des systèmes climatiques interagissent entre elles.
- 2) Comment la ZCIT influence-t-elle le climat dans les tropiques ?



Résumé

Cette session a permis aux apprenants de découvrir les composantes des systèmes climatiques, l'interaction physique, chimique et biologique entre le système, les régimes et les systèmes météorologiques, et la façon dont le rayonnement solaire influence le changement climatique. La prochaine session présente les bases scientifiques du changement climatique.

4.5. Base scientifique du changement climatique

Cette session présente les bases scientifiques du changement climatique. Les satellites en orbite terrestre et d'autres progrès technologiques ont été utilisés pour fournir des preuves basées sur la montée du niveau de la mer, l'augmentation de la température mondiale, le réchauffement des océans, le rétrécissement des calottes glaciaires, etc.



Objectifs

À la fin de cette session, l'apprenant sera en mesure de :

- expliquer le fondement scientifique du changement climatique ; et,
- utiliser les images satellitaires pour la collecte de données scientifiques sur l'élévation du niveau de la mer et la hausse de la température mondiale.



Activité 1 (Discussion) (20 minutes)

Les participants devraient discuter des preuves de changement climatique qu'ils connaissent.

4.5.1 Emissions de GES et réchauffement climatique

L'énergie du soleil atteint la Terre sous forme de rayonnement ultraviolet (UV), visible et infrarouge (IR). Cependant, la majeure partie de cette énergie traverse l'atmosphère sans être absorbée ou réfléchi (figure 25). 26 % de l'énergie totale qui atteint le sommet de l'atmosphère est réfléchi vers l'espace par l'atmosphère et les nuages, tandis que 19 % est absorbée par l'atmosphère et les nuages.

La majeure partie de l'énergie restante est absorbée à la surface de la Terre. Parce qu'elle est chaude, la surface émet un rayonnement thermique infrarouge lointain composé de longueurs d'onde beaucoup plus grandes que les longueurs d'onde qui ont été absorbées (le chevauchement entre le spectre solaire incident et le spectre thermique terrestre est suffisamment petit pour être négligé dans la plupart des cas). La majeure partie de ce rayonnement thermique est absorbée par l'atmosphère, ce qui la réchauffe (en plus des flux de chaleur sensibles et latents de la surface). L'atmosphère rayonne de l'énergie vers le haut et vers le bas ; la partie rayonnée vers le bas est absorbée par la surface de la Terre. Cela conduit à une température d'équilibre plus élevée que si l'atmosphère était absente.

Les GES provoquent l'effet de serre (c'est-à-dire le processus par lequel le rayonnement de l'atmosphère d'une planète réchauffe la surface de la planète à une température supérieure à ce qu'elle serait en l'absence de son atmosphère). L'effet de serre est utile car le piégeage d'énergie maintient les températures de notre planète douces et adaptées aux êtres vivants. Sans son atmosphère et l'effet de serre, la température moyenne à la surface de la Terre serait inférieure à zéro.

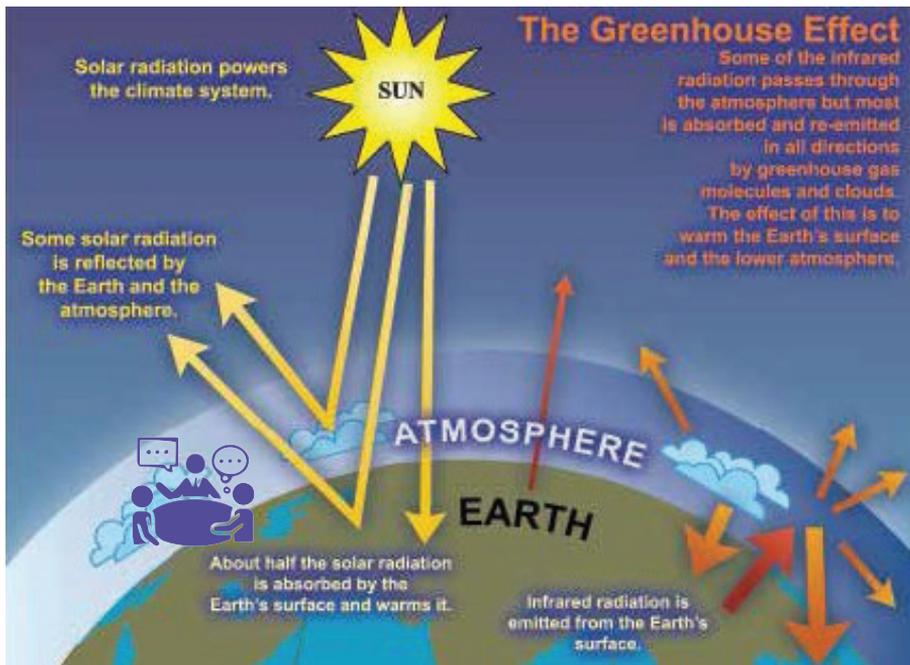


Figure 25. Un modèle idéalisé de l'effet de serre naturel.

Source : GIEC 2007.

Toutefois, trop de GES peuvent entraîner une augmentation incontrôlée de la température. Tel est le cas de la planète Vénus où les GES sont abondants et où la température moyenne à la surface est supérieure à 457°C. Les émissions résultantes d'activités humaines ou anthropiques augmentent considérablement les concentrations atmosphériques de GES comme le CO₂, le méthane, les chlorofluorocarbones (CFC) et les oxydes d'azote. La seule exception est la vapeur d'eau. Pendant 1000 ans avant la révolution industrielle, la quantité de GES est restée relativement constante. Avec le développement de l'agriculture et l'industrialisation accrue, l'abondance de GES (à l'exception de la vapeur d'eau) a augmenté de façon significative.



Activité 2 (Discussion de groupe) (20 minutes)

Discutez des effets de l'augmentation des gaz à effet de serre sur l'agriculture et les autres moyens de subsistance en milieu rural.



Résumé

Cette session a présenté les bases scientifiques du changement climatique. Elle a permis aux apprenants d'avoir des notions sur l'effet de serre et la façon dont il provoque le réchauffement de la planète. La prochaine session présente les tendances des variables climatiques

4.6 Tendances des variables climatiques

Cette session présente un aperçu historique des changements dans les éléments météorologiques importants - température, précipitations et humidité.



Objectifs

À la fin de cette session, l'apprenant sera en mesure de:

- déterminer les changements dans les éléments météorologiques importants et les effets du changement climatique sur ceux-ci
- projeter les éléments météorologiques importants dans les années à venir.



Activité 1 (Exercice) (30 minutes)

Les participants devraient :

- obtenir des données sur la température, les précipitations et l'humidité auprès de la Division des Services Métrologiques de leur pays ; et
- identifier la tendance des données métrologiques.

4.6.1 Tendances des températures moyennes globales

Les tendances des températures moyennes globales de surface sont mieux révélées par le tracé des «anomalies» de température, qui sont des changements par rapport à la moyenne à long terme (120 ans) sur la période pour laquelle nous avons des enregistrements d'instruments.

Les données mondiales sur les terres, les océans et les surfaces combinées terre océan montrent que les 4 à 5 dernières années ont été plus proches de l'année record de 1998 (année El Niño). Les températures élevées des dernières années sont observées à la fois au-dessus des océans et au-dessus des terres.

Les températures moyennes mondiales de surface ont augmenté au cours des 120 dernières années à un rythme proche de 0,06 C/ décennie, mais avec des périodes de tendance de plus en plus grande et de plus en plus petite. Au cours des 25 à 30 dernières années, cette tendance a été d'environ 0,18 C/décennie. La période la plus récente d'augmentation des températures de surface a un taux de réchauffement comparable aux taux projetés par les modèles climatiques mondiaux en utilisant les changements observés dans les gaz à effet de serre, la concentration d'ozone stratosphérique, les volcans et les fluctuations de la puissance du soleil. Cette tendance récente devrait se poursuivre tout au long du prochain siècle, avec une augmentation continue des GES anthropiques.

Des mesures de température au-dessus de la surface de la Terre ont été effectuées au cours des 50 à 60 dernières années à l'aide d'instruments à ballon (radiosondes) et depuis 28 ans à l'aide de satellites. Ces mesures montrent que les températures troposphériques moyennes (de 14 à 22 km au-dessus de la surface) ont été inférieures à la moyenne depuis la dissipation des effets de réchauffement de l'éruption du mont Pinatubo en 1991. L'appauvrissement de la couche d'ozone dans la basse stratosphère, combiné aux effets de l'augmentation des concentrations de GES, conduirait à des températures plus basses dans la stratosphère d'amplitudes compatibles avec ces observations.

4.6.2 Tendances des précipitations moyennes globales

Les précipitations moyennes globales au cours des 100 dernières années montrent une faible ressemblance avec l'histoire des températures globales, faible au début, augmentent à partir des années 40, varient jusqu'en 1980 et augmentent jusqu'à nos jours. Une distribution mondiale du changement entre 1900 et 1994 montre généralement des augmentations aux hautes latitudes et des diminutions dans les zones subtropicales.

Les précipitations ont augmenté sur les terres à de hautes latitudes au niveau de l'hémisphère Nord, surtout pendant la saison froide. La diminution des précipitations s'est produite par étapes après les années 1960 au-dessus des régions tropicales et subtropicales, de l'Afrique à l'Indonésie. Ces changements sont compatibles avec les analyses de données disponibles sur les changements dans le débit des cours d'eau, les niveaux des lacs et la surface du sol. Les précipitations moyennes sur la surface terrestre ont augmenté du début du siècle jusqu'à environ 1960, mais elles ont diminué depuis environ 1980. On manque de données sur les précipitations au-dessus des océans.

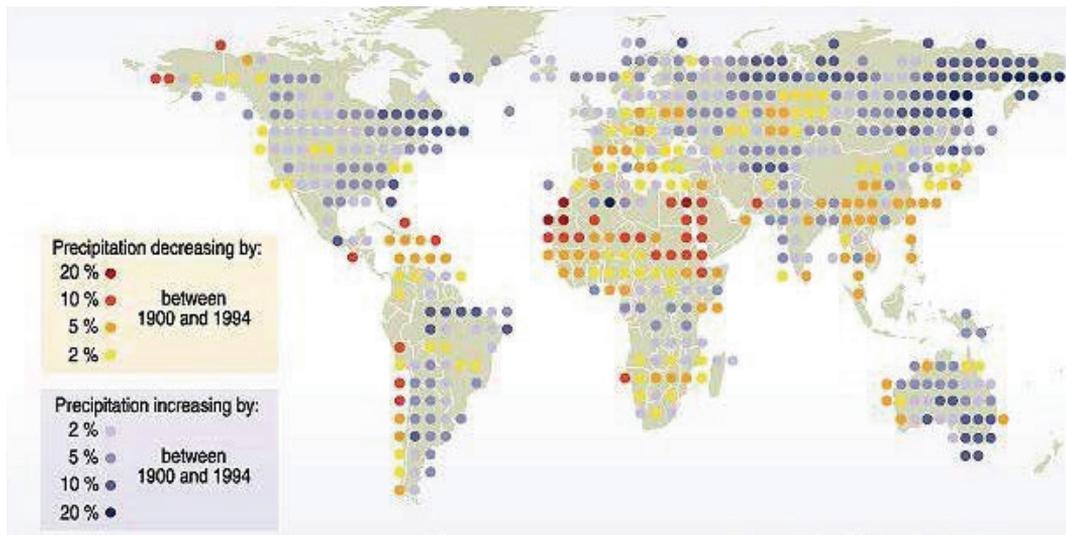


Figure 26. Tendances des précipitations globales moyennes. Source : PNUE 1995.

4.6.3 Tendances de l'humidité moyenne globale

La vapeur d'eau fournit la rétroaction la plus puissante dans le système climatique. Lorsque la température de surface se réchauffe, cela entraîne une augmentation de l'humidité atmosphérique. Comme la vapeur d'eau est un gaz à effet de serre, l'augmentation de l'humidité provoque un réchauffement supplémentaire. Cette réaction positive a la capacité de doubler le réchauffement initial de la surface. Ainsi, lorsque les températures augmentent, nous nous attendons à ce que les températures humides augmentent également. Cependant, une étude utilisant des mesures de ballons météorologiques a révélé une diminution de l'humidité. Pour en arriver à la vérité, l'ensemble des preuves concernant l'humidité est présenté dans un nouveau document. Pour donner un aperçu des tendances de l'humidité, Dessler et David comparent les résultats de l'étude de Paltridge (2009) à d'autres analyses de l'humidité. La figure 27 montre la tendance de l'humidité spécifique de 1973 à 2007 par rapport aux tropiques. L'analyse faite par Paltridge (ligne noire épaisse) montre une divergence considérable dans la troposphère supérieure, avec une forte tendance négative tandis que les autres analyses donnent toutes des résultats cohérents, les uns avec les autres et avec les attentes théoriques.

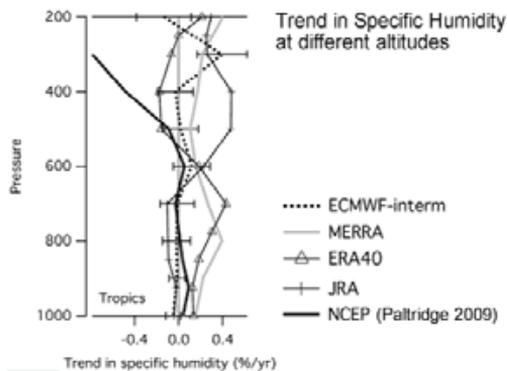


Figure 27. Diverses analyses montrant la tendance de l'humidité spécifique de 1973 à 2007 sous les tropiques. Dessler 2010 examine également les régions extratropicales du Nord et du Sud, seules les données tropicales sont présentées ici pour des raisons de simplicité et, à ce titre, elles montrent le plus grand contraste entre Paltridge 2009 et les autres réanalyses.

Source : Dessler 2010

Pour mieux comprendre la nature de la rétroaction de la vapeur d'eau observée, Dessler et Davis ont examiné la relation entre l'humidité et la température de surface. Ils tracent l'humidité spécifique directement en fonction de la température de la surface, ce qui donne une mesure de la quantité de vapeur d'eau renvoyée. Ils comparent la tendance à court terme (moins de 10 ans) à la tendance à long terme (plus de 10 ans) pour les cinq différentes réanalyses :

Pour les tendances à court terme, les cinq réanalyses produisent des résultats cohérents, le réchauffement de la surface étant associé à une augmentation de l'humidité (p. ex., rétroaction positive de la vapeur d'eau). Toutefois, les tendances à long terme sont moins consensuelles. La réanalyse de Paltridge est une valeur aberrante distincte, avec des tendances à long terme et à court terme allant dans des directions opposées, contrairement aux résultats des autres études.

Rétroaction de la vapeur d'eau à différentes altitudes

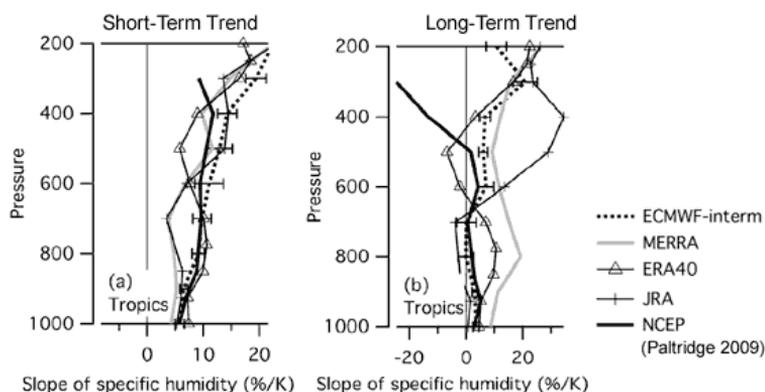


Figure 28. Tracés à court terme (a) et à long terme (b) des pentes de la régression entre l'humidité spécifique et la température de surface, sous les tropiques. Les tendances sont divisées par l'humidité spécifique moyenne sur l'ensemble de la période, elles sont donc exprimées en pourcentage par degré K.

Ceci nous amène à une question fondamentale : la rétroaction de la vapeur d'eau pourrait -elle être opposée à celle qui s'observe à court et à long terme ? Il n'y a aucune théorie qui puisse expliquer comment la rétroaction à court terme pourrait être positive alors que la rétroaction à long terme est négative. La réaction de la vapeur d'eau à une fluctuation du climat avec une échelle de temps de quelques années (p. ex. ENSO) devrait être à peu près la même que pour le réchauffement à long terme.

Plusieurs sources indépendantes confirment les réactions positives à long terme. Une analyse des mesures à long terme de la vapeur d'eau troposphérique supérieure montre une réaction positive de la vapeur d'eau dans 22 ans de données satellitaires. De plus, l'analyse des enregistrements paléoclimatiques à long terme est également incompatible avec une rétroaction négative à long terme de la vapeur d'eau.

Alors pourquoi Paltridge (2009) montre-t-il une diminution de l'humidité ? Les auteurs eux-mêmes soulignent les problèmes bien documentés des observations de l'humidité des radiosondes dans la troposphère supérieure. En comparant Paltridge avec des mesures par satellite (Sondage infrarouge Atmospheric Infrared de la NASA - AIRS), on constate que la réanalyse de Paltridge comporte de grands biais de l'humidité spécifique dans la haute troposphère tropicale. De plus, Paltridge ne montre pas d'augmentation importante de l'humidité spécifique durant El Niño de 1998. Des mesures directes indiquent que l'atmosphère tropicale s'humidifie pendant les événements El Niño et une telle humidification est observée dans les autres réanalyses.

Deux des réanalyses les plus récentes illustrées dans les figures ci-dessus, MERRA et ECMWF-Interim, corrigent les biais bien documentés introduits par les changements dans le système d'observation. Ces réanalyses plus récentes sont mieux en accord avec la théorie des réanalyses et les observations indépendantes.

Pour affirmer que l'humidité diminue, vous devez ignorer une multitude de réanalyses indépendantes, y compris les plus récentes avec des algorithmes améliorés, qui montrent toutes une humidité croissante. Cela nécessite que vous acceptiez une réanalyse erronée que même ses propres auteurs expriment avec prudence. Il ne parvient pas à expliquer comment nous pouvons avoir une rétroaction positive à court terme et une rétroaction négative à long terme (en effet, aucun mécanisme connu ne peut l'expliquer). Bref, insister sur le fait que l'humidité diminue, c'est négliger l'ensemble des preuves.



Question textuelles (30 minutes)

- 1) Analyser les changements de température moyenne des 30 dernières années.
- 2) Quelle est l'augmentation de température prévue dans les 20 prochaines années ?



Résumé

Cette session a fourni des preuves sur l'évolution du climat en montrant la tendance à l'évolution rapide des éléments météorologiques importants. La prochaine session présentera des études de cas sur les preuves et les impacts du changement climatique en Afrique.

4.7 Preuve et impact du changement climatique

Bien que le changement climatique soit un problème global, ses impacts varient considérablement et se ressentent localement. Historiquement, les stratégies de gestion des risques se sont appuyées sur le passé pour guider l'avenir. Mais avec le changement global de climat, l'avenir ne ressemblera plus au passé. L'étude des régions présentant des vulnérabilités différentes fournira des indications et des méthodes pour effectuer des évaluations dans d'autres zones.

La session présente des études de cas sur les preuves et les impacts du changement climatique en Afrique.



Objectifs

À la fin de cette session, l'apprenant sera en mesure de :

- décrire les preuves globales des impacts du changement climatique ; et,
- fournir des exemples précis des impacts du changement climatique dans leur pays d'origine.



Activité 1 (Discussion) (20 minutes)

Les participants devraient décrire certains impacts du changement climatique dans leur pays d'origine.

4.7.1 Preuve d'un changement climatique

Selon le GIEC, les preuves scientifiques du réchauffement du système climatique sont sans équivoque. Quatre-vingt-dix-sept pour cent des climatologues s'accordent à dire que les tendances du réchauffement climatique au cours du siècle dernier sont très probablement dues aux activités humaines, et la plupart des principales organisations scientifiques du monde entier ont publié des déclarations publiques approuvant cette position.

Les satellites en orbite autour de la Terre et d'autres avancées technologiques ont permis aux scientifiques de voir la situation dans son ensemble, en collectant de nombreux types d'informations sur notre planète et son climat. Cet ensemble de données, collectées sur plusieurs années, révèle les signaux d'un changement climatique.

La capacité du CO₂ et des autres gaz à piéger la chaleur a été démontrée au milieu du XIXe siècle. Leur capacité d'influer sur le transfert de l'énergie infrarouge à travers l'atmosphère, est la base scientifique de nombreux instruments utilisés par la NASA. Il ne fait aucun doute que l'augmentation des niveaux de gaz à effet de serre doit provoquer le réchauffement de la Terre en réponse.

Les calottes glaciaires provenant du Groenland, de l'Antarctique et des glaciers de montagne tropicaux montrent que le climat de la Terre répond aux changements des niveaux de gaz à effet de serre. Ils montrent aussi que par le passé, de grands changements climatiques se sont produits très rapidement, géologiquement parlant : en dizaines d'années, et non pas en millions ou voire en milliers d'années.

Étude de cas 8. Les preuves irréfutables d'un changement climatique rapide

1. Hausse du niveau de la mer

Le niveau global de la mer a augmenté d'environ 17 centimètres au siècle dernier. Le taux de ces dix dernières années est cependant près du double de celui du siècle dernier.

2. Augmentation de la température mondiale

Les trois principales reconstitutions de la température globale de la surface montrent que la Terre s'est réchauffée depuis 1880. La majeure partie de ce réchauffement s'est produite depuis les années 1970, les 20 années les plus chaudes s'étant produites depuis 1981 et les 10 années les plus chaudes s'étant produites au cours des 12 dernières années. Même si les années 2000 ont connu une baisse de la puissance solaire entraînant un minimum solaire anormalement profond, entre 2007 et 2009, les températures de surface continuent d'augmenter.

3. Réchauffement des océans

Les océans ont absorbé une grande partie de cette augmentation de chaleur, avec les 700 mètres de haut de l'océan montrant un réchauffement de 0,6° C depuis 1969.

4. Réduction des calottes glaciaires

Les calottes glaciaires du Groenland et de l'Antarctique ont diminué de masse. Les données de Gravity Recovery and Climate Experiment de la NASA montrent que le Groenland a perdu 150 à 250 km³ de glace par an entre 2002 et 2006, tandis que l'Antarctique a perdu environ 152 km³ de glace entre 2002 et 2005.

5. Baisse de la glace de la mer arctique

L'étendue et l'épaisseur de la glace de mer arctique ont diminué au cours des dernières décennies.

6. Retraite glaciaire

Les glaciers se retirent presque partout dans le monde, y compris dans les Alpes, l'Himalaya, les Andes, les Rocheuses, l'Alaska et l'Afrique.

7. Événement extrême

Le nombre d'événements record de températures élevées aux États-Unis a augmenté, tandis que le nombre d'événements record de basses températures a diminué depuis 1950. Les États-Unis ont également été témoins d'un nombre croissant d'événements de précipitations intenses.

8. Acidification des océans

Depuis le début de la Révolution industrielle, l'acidité des eaux de surface de l'océan a augmenté d'environ 30 %. Cette augmentation est le résultat de l'émission de plus de CO₂ par les humains dans l'atmosphère et donc d'une plus grande absorption dans les océans. La quantité de CO₂ absorbée par la couche supérieure des océans augmente d'environ 2 milliards de tonnes par an.

9. Diminution de la couverture neigeuse

Les observations par satellite révèlent que la quantité de couverture de neige printanière dans l'hémisphère Nord a diminué au cours des cinq dernières décennies et que la neige fond plus tôt.



Question textuelle (20 minutes)

Comment pouvez-vous convaincre un groupe de sceptiques dans votre communauté que le changement climatique est réel ?

4.7.3 Études de cas en Afrique australe

L'Afrique est l'un des continents les plus menacés par le changement climatique. Les températures observées ont indiqué une tendance au réchauffement depuis les années 1960 et les projections du GIEC indiquent que les températures annuelles dans la région augmenteront de 3,4°C.

En Afrique australe, les précipitations annuelles devraient diminuer, avec une pluviométrie moyenne plus élevée dans la région du Nord-Est, tandis que le Sud et le Centre devraient être plus secs. Seule une plus petite poche du Nord-Est deviendra plus humide et on ne sait pas exactement où se situera la division géographique entre les régions "plus humides" du Nord-Est et celles "plus sèches" du Sud/Centre. Les modèles s'accordent généralement sur une tendance au dessèchement pendant une grande partie du 21^{ème} siècle, et certains suggèrent des saisons de pluie plus courtes. Malgré la baisse attendue de la pluviométrie globale pour la région, la plupart des modèles conviennent que la pluie tombera dans une zone plus petite du nord-est. Cela suggère que la gravité et l'incidence des fortes précipitations dans le nord-est - y compris le Mozambique - devraient augmenter.

Le Mozambique, déjà plus fréquemment et plus sévèrement touché par des catastrophes naturelles que pratiquement tout autre pays d'Afrique, devrait donc connaître davantage de précipitations dans le cadre d'événements moins nombreux et plus extrêmes. La fréquence et la gravité des inondations au Mozambique devraient en conséquence augmenter. En outre, compte tenu de l'évolution attendue des températures de l'eau de mer, on prévoit que les cyclones tropicaux de l'océan Indien occidental seront plus sévères et plus fréquents à l'avenir. Cependant, il n'y a que peu de modélisation météorologique détaillée sur la façon dont ces modèles de tempêtes évolueraient.

À la fin de février 2007, le Mozambique souffrait du double impact de deux catastrophes naturelles. Alors que la Zambèze et les rivières Save étaient déjà inondées, un cyclone de catégorie 4 a apporté plus de pluie à l'intérieur des terres et a dévasté la côte Sud, touchant 300 à 500 000 personnes. La catastrophe a aussi causé c. 171 millions US\$ de dommages aux infrastructures locales et la destruction de 277 000 ha de cultures - soit environ 80 % des cultures céréalières dans les zones touchées.

Pour un pays dont 54 % de la population se trouve en dessous du seuil de pauvreté, ces catastrophes récurrentes exacerbent les vulnérabilités existantes et représentent des pertes économiques majeures. La perte des biens – tels que les maisons, le bétail, les vêtements, les outils agricoles et les semences - a eu des effets dévastateurs pour une population dépendante de l'agriculture de subsistance et de la pêche. La pauvreté, et l'absence d'alternatives durables à la vie dans la plaine inondable, sous-tendent cette exposition aux chocs répétés.

Ironiquement, l'endiguement du Zambèze pour contrôler les inondations a mis plus de gens en danger. La capacité à contrôler les inondations annuelles a encouragé l'empiètement sur les basses terres du Zambèze inférieur, où la terre est très fertile. Cependant, les inondations majeures submergent la capacité des barrages et elles deviennent de plus en plus fréquentes. Les communautés qui vivent actuellement dans la plaine inondable acceptent essentiellement le risque d'inondations majeures en échange de meilleures récoltes et de meilleures pêches. Du point de vue de la réduction des risques, une solution est d'encourager la réinstallation permanente sur des terrains plus élevés, mais beaucoup ne considèrent pas cela comme une alternative durable aux plaines inondables plus fertiles. L'autorité nationale de gestion des catastrophes a estimé que sur les personnes évacuées pendant les inondations de 2000, 2001 et 2007, environ 40 % sont retournées dans les plaines inondables.

4.7.4 Études de cas en Afrique de l'Est

Le changement climatique représente la plus grande menace de l'histoire pour les objectifs des professionnels du développement : de mettre fin à la pauvreté et de promouvoir la justice sociale. La hausse des températures, des précipitations de plus en plus irrégulières et des événements météorologiques plus extrêmes ont tous des conséquences importantes pour la protection des moyens de subsistance, en particulier au sein des populations les plus vulnérables du monde.

La Global Water Initiative, en collaboration avec CARE, a évalué les conditions de pluie et de température pour quatre pays d'Afrique de l'Est (tableau 4 ci-dessous).

Température		Pluie	
Tendance passée	Tendance future	Tendance passée	Tendance future
Éthiopie			
Entre 1960 et 2006, l'Éthiopie s'est caractérisée par une hausse des températures de 1,3 °C .	On prévoit que les températures continueront d'augmenter de 1,1 à 3,1 °C d'ici 2060	Entre 1960 et 2006, aucune tendance statistiquement significative des précipitations moyennes n'a été observée au cours d'une saison. Dans le Centre de l'Éthiopie, des températures croissantes ont été observées par les communautés ces dernières années.	Il n'y a aucune indication de prévisions pluviométriques pour l'Éthiopie pour l'avenir en raison du manque de tendances sur les précipitations passées et les lacunes dans les données. Toutefois, si les prévisions climatiques de la région s'appliquent, certaines régions du pays connaîtront des épisodes accrus de pluies intenses. En outre, les saisons des pluies sont de plus en plus imprévisibles et des épisodes de pluies intenses et d'inondations ont été observés. Les projections climatiques futures pour le centre de l'Éthiopie n'ont pas encore été évaluées.
Kenya			
Entre 1960 et 2003, les températures annuelles moyennes ont augmenté de 1,0 °C par décennie au Kenya	Les projections de température futures indiquent que la température moyenne annuelle pourrait augmenter de 1,0° à 2,8° C d'ici 2060	En ce qui concerne les précipitations, aucune tendance statistiquement significative n'a été observée.	Les précipitations moyennes devraient augmenter jusqu'à 48 % d'ici les années 2090, et dans ce contexte, la proportion de précipitations qui tombent dans les épisodes violents devrait augmenter de 13 % au cours de la même période.

Température		Pluie	
Tendance passée	Tendance future	Tendance passée	Tendance future
<p>Les observations quotidiennes de la température montrent une augmentation significative de la fréquence des journées chaudes et une forte augmentation de la fréquence des nuits chaudes.</p> <p>Entre 1960 et 2003, le nombre moyen de journées chaudes a augmenté de 57, et le nombre moyen de nuits chaudes de 113.</p> <p>Nombre moyen de jours de froid a diminué de 16 et le nombre de nuits froides a diminué de 42</p>	<p>La fréquence des jours et des nuits froids continuera à diminuer.</p>	<p>Il a été observé que la proportion de pluies dans les épisodes violents a augmenté depuis 1960 (bien que cela ne soit pas statistiquement significatif).</p>	
Tanzanie			
<p>Aucune donnée disponible.</p>	<p>Les températures moyennes quotidiennes devraient augmenter de 3 à 5 °C dans tout le pays et les températures moyennes annuelles augmenteront de 2 à 4 °C.</p> <p>Dans le bassin de la rivière Pangani, l'augmentation prévue de la température de 1,8 à 3,6 °C se traduira par une réduction de 6 à 9 % du flux annuelle des cours d'eau.</p>	<p>Aucune donnée disponible.</p>	<p>Les zones à précipitations bimodales devraient connaître une augmentation des précipitations de 5 à 45% et les zones à précipitations unimodales, une baisse de 5 à 15%.</p>

Température		Pluie	
Tendance passée	Tendance future	Tendance passée	Tendance future
Ouganda			
Depuis 1960, la température annuelle moyenne a augmenté de 1,3 ° C, avec une augmentation associée de la fréquence des journées chaudes. De plus, la fréquence des jours froids a diminué et celle des nuits froides a diminué de façon encore plus spectaculaire	Les projections pour le pays indiquent une nouvelle augmentation du nombre de jours et de nuits chauds, et une diminution continue du nombre de jours et de nuits froids.	Les tendances observées en Ouganda montrent une diminution des précipitations annuelles d'environ 3,4 mm par mois (3,5 % par décennie). Les pluies extrêmes ne montrent pas de changements significatifs de fréquence ou d'intensité, les pluies variant selon la région et la saison.	Les prévisions de précipitations sont cohérentes et montrent une augmentation des précipitations annuelles, en particulier durant la saison des pluies courtes (octobre-décembre), avec une proportion croissante de pluies tombant lors des fortes précipitations

4.7.5 Études de cas en Afrique de l'Ouest

Le Programme de subventions pour les écosystèmes des Pays-Bas et le programme de l'Université de Cambridge pour un leadership durable notent que, dans la région du Sahel en Afrique de l'Ouest, on s'attend à une certaine variation climatique au fil du temps, et il peut être difficile de faire la distinction entre cette variation et la variation causée par le changement climatique. Toutefois, les impacts environnementaux directs observés et attribués au changement climatique sont les suivants :

- Mouvement des zones climatiques/désertification - la "Ceinture de cacao" de la Côte d'Ivoire est passée de l'Est au Sud-Ouest du pays ;
- Changement de saison : la saison des pluies au Togo, au lieu d'arriver au début du mois de mars, ne commence parfois pas avant mai ;
- Variation des précipitations : La sécheresse et les inondations, l'intrusion d'eau salée le long du fleuve Gambie pendant les saisons sèches, ainsi que la dégradation des sols, ont entraîné une diminution des zones de plantation de riz dans les basses terres ; des crues subites dans le delta intérieur du fleuve Niger ont entraîné la perte de zones pastorales et de zones de reproduction pour les poissons. Dans la région du Grand Popo au Bénin, des inondations surviennent chaque année de Juillet à Novembre depuis 2000, rendant impossible tout voyage sans canoë.
- Effets sur l'agriculture et l'élevage : l'agriculture a disparu du Nord-Est du Mali en raison de la sécheresse persistante des 25 dernières années ; de nombreux agriculteurs sont contraints de changer leurs cultures ; depuis le milieu des années 90, l'augmentation du nombre de ravageurs de cultures en friche a entraîné une perte de 25 à 30 % de la production de cacao au Togo ; la rareté des pâturages entraîne des pertes de bétail au Bénin ;
- La perte de biodiversité : les changements dans les précipitations ont gravement affecté de nombreuses espèces d'arbres, de plantes et d'animaux sauvages ; l'augmentation de la température en Guinée-Bissau a entraîné une diminution de la production de poissons due à la baisse des concentrations de phytoplancton ;

- L'érosion côtière et l'élévation du niveau de la mer : plus de 50 % de la capitale de la Gambie, Banjul, se situe maintenant au-dessous du niveau de la mer ; Le Ghana connaît une élévation moyenne du niveau de la mer de 2,1 mm par an.
- Température accrue La chaleur intense en Côte d'Ivoire de janvier à avril est l'un des signes les plus visibles du changement climatique ; des conditions chaudes et sèches ont provoqué des incendies de brousse dévastateurs dans de nombreux pays, dont la Guinée.

4.7.6 Études de cas en Afrique du Nord

Les pays d'Afrique du Nord sont situés entre une région aride et semi-aride avec un climat saharien au Sud, un climat océanique à l'Ouest et un climat méditerranéen au Nord. La vie des gens est très liée au climat et à ses fluctuations. L'économie est très dépendante de l'eau, de l'agriculture, du tourisme et des côtes. C'est particulièrement frappant au Maroc et en Tunisie.

Les données climatiques recueillies dans la région au cours du 20e siècle indiquent un réchauffement estimé à plus de 1°C, avec une tendance prononcée au cours des 30 dernières années. Les données montrent également une augmentation marquée de la fréquence des sécheresses et des inondations. La région a connu une sécheresse tous les 10 ans au début du siècle, à l'état actuel, on compte cinq ou six ans de sécheresse tous les dix ans. Les modèles de circulation générale, même s'ils ne sont pas assez précis pour la région, puisqu'il n'y a pas de modèle de maillage, convergent pour estimer le réchauffement probable dans la région de l'ordre de deux à quatre degrés au XXIe siècle.

Le changement climatique dans cette partie de l'Afrique du Nord (Algérie, Maroc et Tunisie), qui émet de faibles niveaux de gaz à effet de serre (entre 1,5 et 3,5 tonnes de CO₂/habitant/année), représente une véritable menace pour le développement socio-économique de la région et pour sa population. L'extrême vulnérabilité de la région, conjuguée aux effets possibles du changement climatique, souligne la nécessité de stratégies d'adaptation dans les secteurs clefs de la région pour le développement durable à long terme de ces pays.



Question textuelle (s) (20 minutes)

Evaluer l'impact du changement climatique sur les populations et les écosystèmes de votre pays ?



Résumé

Cette session a présenté des faits sans équivoque selon lesquels le changement climatique est réel et représente une grande menace pour la vie sur Terre dans les années à venir. Il a également présenté des études de cas sur les preuves et les impacts du changement climatique en Afrique. Nous nous tournons maintenant vers les menaces et les opportunités que le climat pose à la vie sur Terre

4.8 Menaces et opportunités du changement climatique

Le changement climatique présente à la fois des menaces et des opportunités, et cette session les décrit.



Objectifs

À la fin de cette session, l'apprenant sera capable de

- Décrire les menaces causées par le changement climatique ;
- Analyser les opportunités offertes par le changement climatique ; et,
- Décrire les moyens nécessaires pour tirer avantage des opportunités dans leur pays afin d'influencer la dynamique du climat.



Activité 1 (Discussion) (20 minutes)

Les participants devraient discuter sur :

- les menaces causées par le changement climatique ;
- les opportunités offertes par les changements climatiques ; et,
- les moyens de tirer avantages des opportunités.

Selon le rapport d'évaluation du GIEC (GIEC IV, 2007), les impacts du changement climatique et les coûts qui y sont associés seront disproportionnés pour les pays en développement, menaçant de compromettre les réalisations des ODD, de réduire la pauvreté et de préserver la sécurité alimentaire. L'adaptation est un défi économique urgent dans une planète en voie de réchauffement. L'industrie et les gouvernements commencent à réagir aux menaces liées au changement climatique et, dans certains cas, trouvent de nouvelles possibilités commerciales.

L'agriculture mondiale subira des pressions considérables pour répondre aux demandes croissantes des populations utilisant des ressources limitées, souvent dégradées, en sols et en eau, qui devraient être encore davantage mises en avant par l'impact du changement climatique. L'accumulation continue de gaz à effet de serre dans l'atmosphère provoque des changements climatiques dans le monde entier qui affecteront les systèmes agroécologiques et les conditions de croissance. En outre, l'agriculture et le changement d'affectation des terres sont des sources importantes d'émissions mondiales de GES.

L'application d'engrais, l'élevage du bétail et le défrichage connexe influent sur les niveaux de GES dans l'atmosphère et sur le potentiel de stockage et de séquestration du carbone. Par conséquent, bien que le changement climatique en cours affecte la production agricole, le secteur lui-même présente également des possibilités de réduction des émissions.

Il existe des opportunités d'atténuation dans les secteurs de l'agriculture et de la foresterie pour aider à réduire l'impact du changement climatique, et il y a une place importante pour la promotion des stocks de méthane destinés aux pauvres. En outre, comme le changement climatique a déjà commencé, l'adaptation ou la modification des pratiques agricoles et de la production seront impératives pour continuer à répondre aux besoins alimentaires croissants de la société moderne. L'atténuation et l'adaptation nécessiteront l'attention des gouvernements et des décideurs pour coordonner et diriger les initiatives. Il est évident qu'un système de réglementation visant à garantir la valeur économique de la séquestration du carbone sera un important développement politique dans le secteur agricole. L'Évaluation des Risques liés au Changement Climatique (CCRA) du gouvernement du Royaume-Uni a permis de cerner et d'évaluer les menaces et les possibilités qui pèsent sur le pays au Royaume-Uni (tableau 5).

Tableau 5. Menaces et opportunités du changement climatique par l'évaluation des risques du changement climatique du gouvernement britannique (CCRA)

Menaces	Exemples
Dommages aux biens matériels et financiers à l'étranger en raison de dommages économiques causés par des conditions météorologiques extrêmes.	Les ouragans Katrina et la super tempête Sandy. Les inondations thaïlandaises de 2011, qui ont coûté à la Lloyds de Londres 1,4 milliard de livres
Augmentation de la fréquence et de l'urgence de l'aide humanitaire.	La sécheresse dans la Corne de l'Afrique, qui a entraîné des pénuries alimentaires après les pluies en 2010/11, a touché 12 millions de personnes. L'aide britannique a permis d'alimenter 3,5 millions entre Juillet 2011 et Juillet 2012, grâce à une réponse d'urgence de 200 millions de livres sterling.
Volatilité accrue des prix des denrées alimentaires.	La hausse des prix des denrées alimentaires en 2008 et 2011 est attribuée à un certain nombre de facteurs, mais elle a été déclenchée initialement par la sécheresse qui a affecté les niveaux de production
Réactions politiques ou de politique générale affectant la disponibilité des approvisionnements alimentaires (par exemple, mesures protectionnistes).	Les sécheresses de 2011 en Russie ont entraîné l'interdiction des exportations de blé. 43 pays en développement ont réduit les taxes à l'importation et 25 ont interdit les exportations ou augmenté les taxes à l'exportation pendant le pic des prix alimentaires en 2007/08.
Demande accrue de services du gouvernement britannique par les territoires d'outre-mer et les citoyens à l'étranger	Les événements liés au climat, tels que les incendies, les inondations et les ouragans, augmentent la demande de services consulaires. En outre, de nombreux territoires britanniques sont de petites îles, menacées par l'élévation du niveau de la mer.
Opportunités	Exemples
Potentiel accru d'exportation des biens et services d'adaptation du Royaume-Uni.	Le Royaume-Uni est un fournisseur clé de certaines technologies et services tels que la modélisation du climat, le traitement de l'eau et des eaux usées et l'assurance.
Réduction des coûts d'expédition à partir de l'ouverture de l'Arctique.	Les estimations de la recherche suggèrent que l'Arctique est susceptible d'attirer des investissements dépassant 100 milliards de dollars au cours de la prochaine décennie.
Une plus grande coopération diplomatique internationale.	Les activités de relations internationales liées au changement climatique sont en augmentation - la CCNUCC est la négociation mondiale la plus importante et la plus complexe, avec de nombreuses réunions et discussions bilatérales et régionales supplémentaires (par exemple le Forum des principaux émetteurs, les événements de l'ASEAN et le Dialogue de Carthagène).



Question (s) textuelle (s) (20 minutes)

Analyser les diverses menaces et opportunités qui pèsent sur l'agriculture et la foresterie sur le continent africain.



Résumé

Cette session du chapitre quatre a présenté les menaces et les opportunités que représentent le changement climatique pour l'homme et la vie sur Terre. Peu d'informations ont été documentées sur les opportunités disponibles pour les pays africains. La prochaine session présente une étude détaillée sur les moteurs du changement climatique

4.9 Moteurs externes du changement climatique

Les moteurs du changement climatique sont classés en moteurs interne et externe. Cette session décrit les moteurs externes du changement climatique et leur impact sur l'homme et l'environnement.



Objectifs

A la fin de cette session, l'apprenant devrait être capable de :

- décrire comment le changement climatique est influencé par les variations régulières de l'orbite de la Terre autour du soleil ;
- examiner les changements dans la production thermique solaire ;
- expliquer comment les niveaux fluctuants de l'activité magnétique solaire influencent le climat ; et
- évaluer les impacts des objets extra-terrestres sur le climat.



Activité 1 (Remue-ménages) (20 minutes)

Quelles sont les causes du réchauffement climatique qui ne sont pas imputées à l'homme ?

4.9.1 Variations régulières de l'orbite de la Terre autour du Soleil

La Terre tourne autour du soleil le long de son orbite. De plus, il tourne autour de son propre axe. L'axe est incliné par rapport à la perpendiculaire au plan de son orbite autour du soleil. Actuellement, l'inclinaison par rapport à la perpendiculaire est d'environ $23,5^\circ$.

4.9.2 Variations de la puissance solaire thermique

Le soleil est la source de la plus grande partie de l'énergie qui motive les processus biologiques et physiques autour de nous dans les océans et sur les terres, il alimente la croissance des plantes qui forment la base de la chaîne alimentaire, et dans l'atmosphère, il réchauffe l'air qui détermine notre météo. Le taux d'énergie provenant du soleil change légèrement au jour le jour. Sur des millénaires, la relation orbitale Terre-Soleil peut modifier la répartition géographique de l'énergie solaire sur la surface de la Terre. Il a été suggéré que les changements dans la production solaire pourraient affecter notre climat - à la fois directement en modifiant le taux de réchauffement solaire de la Terre et de l'atmosphère, et indirectement, en modifiant les processus de formation des nuages.

La vitesse à laquelle l'énergie solaire atteint le sommet de l'atmosphère terrestre est appelée "irradiance solaire totale" (ou IST). IST fluctue légèrement d'un jour à l'autre et d'une semaine à l'autre. Le cycle superposé à ces fluctuations rapides à court terme est un cycle lié aux taches solaires dans les couches extérieures du Soleil qui dure environ tous les 11 ans.

L'IST actuelle varie en fonction de la saison, de l'heure et de la latitude. On pense cependant que de petits changements dans cette quantité relativement faible d'énergie solaire absorbée peuvent faire une différence dans notre climat.

Étude de cas 9. Les changements dans le taux d'absorption solaire, appelé forçage radiatif (FR), pourraient-ils influencer notre climat aujourd'hui ?

1. Changements directs du climat dus à la production solaire

L'augmentation moyenne du forçage radiatif solaire depuis 1750 est beaucoup plus faible ($\sim 0,12 \text{ W m}^{-2}$) que l'augmentation de la FR due aux gaz piégeant la chaleur ($\sim 2,6 \text{ W m}^{-2}$) au cours de la même période.

La légère augmentation de l'absorption solaire est en outre plus que compensée par le refroidissement naturel. Le XXe siècle a été témoin des éruptions volcaniques majeurs, le plus récent, Pinatubo, en 1991 - qui a rejeté de minuscules particules réfléchissantes dans l'atmosphère. L'énergie entrant du soleil qui rencontrait ces particules se reflétait dans l'espace. En d'autres termes, les processus naturels à eux seuls auraient apporté un léger refroidissement à la fin du XXe siècle, et non le réchauffement que nous avons connu.

2. Changements indirects du climat dus à la production solaire

Les variations du taux d'émission de rayonnement solaire sur l'échelle de 11 ans, ainsi que la faible augmentation à long terme des IST au cours des derniers siècles, semblent être corrélées dans certaines études avec les variations des types de nuages. Ces changements dans l'énergie solaire absorbée semblent être beaucoup trop petits pour expliquer les changements majeurs dans notre climat.

Deux hypothèses différentes ont été proposées pour vérifier si le rayonnement solaire peut expliquer le changement climatique. La première repose sur le fait que, tant dans le cycle de 11 ans que, à plus long terme, les changements dans l'énergie solaire sont les plus élevés aux longueurs d'onde ultraviolettes (courtes). Le rayonnement à courte longueur d'onde est particulièrement efficace pour modifier les concentrations d'ozone dans l'atmosphère au-dessus de laquelle survient un temps typique. Selon cette hypothèse, les modifications dans la couche d'ozone pourraient à leur tour filtrer jusqu'à ce niveau de l'atmosphère où se forme notre météo, modifiant potentiellement les nuages et les températures.

La deuxième hypothèse repose sur le fait que les changements dans l'activité solaire modifient aussi le flux de petites particules chargées et hautement énergétiques (appelées rayons cosmiques galactiques) qui traversent l'atmosphère vers la Terre. Ces particules créent à leur tour plus d'ions (atomes chargés ou molécules chargées) à partir de molécules d'air dans l'atmosphère, et on a suggéré que ces ions pourraient modifier la formation des nuages, provoquant de grands changements dans les conditions météorologiques et les températures en-dessous.

Jusqu'à présent, il n'y a aucune preuve convaincante que l'une ou l'autre de ces hypothèses démontre de façon adéquate un lien de causalité entre de petits changements dans l'irradiance solaire et les changements relativement importants et mesurables de la température de surface de la Terre au cours du siècle dernier.

4.9.3 Niveau de fluctuations de l'activité magnétique solaire

1.1.10 La position actuelle d'organismes comme le GIEC est que le changement climatique à l'ère industrielle est principalement causé par les gaz à effet de serre anthropiques notamment le CO₂, avec des contributions naturelles relativement faibles dues à l'irradiance solaire et aux volcans. Cependant, au cours de la dernière décennie, une nouvelle théorie, développée par Henrik Svensmark, professeur de physique au Centre spatial national Danois de Copenhague, sur la façon dont les variations de l'activité magnétique du soleil peuvent avoir un impact très profond sur le climat de la terre, a suscité un intérêt croissant pour la communauté scientifique. La théorie propose un lien entre les fluctuations de l'activité magnétique du soleil et les changements qui en résultent dans le vent solaire autour de la Terre, affectant le nombre de rayons cosmiques qui frappent la Terre, en particulier l'atmosphère inférieure, ce qui, à son tour, affecte le taux de formation de nuages de faible niveau qui, à son tour, entraîne la variabilité du climat.

On reconnaît depuis longtemps qu'il semble y avoir un très bon ajustement entre l'activité magnétique solaire, comme en témoignent les niveaux des taches solaires et de croissance et diminution des cycles solaires, et le changement climatique. L'astronome britannique Royal, William Herschel, a remarqué une corrélation entre les taches solaires et le prix du blé en Angleterre. C'est la première fois que l'on observe que le climat de la terre peut être affecté par les variations du soleil. La célèbre Petite Âge des Glaces autour du XVIIe et XVIIIe siècle lorsque les taches solaires ont pratiquement disparu pendant 70 ans au cours du Minimum de Maunder, le flux des rayons cosmiques a augmenté et le climat a refroidi - cela semble n'être que le dernier d'une douzaine d'événements similaires au cours des dix derniers mille ans. Cependant, il n'y avait pas de mécanisme proposé qui pourrait expliquer comment les changements dans le cycle solaire affecteraient le climat dans la mesure suggérée par les archives historiques, car le niveau global d'énergie émise par le soleil, et donc l'énergie solaire qui frappe la Terre, ne semblait pas varier autant avec les cycles solaires.

4.9.4 Impacts des objets extra-terrestres

Un événement d'impact est une collision entre des objets célestes causant des effets mesurables. Les événements d'impact ont des conséquences physiques et se produisent régulièrement dans les systèmes planétaires, bien que les plus fréquents soient des astéroïdes, des comètes ou des météoroïdes et aient un impact minime. Lorsque de grands objets ont un impact sur des planètes terrestres comme la Terre, il peut y avoir des conséquences physiques et biosphériques significatives, bien que l'atmosphère atténue de nombreux impacts de surface par l'entrée atmosphérique. Les cratères et les structures d'impact sont des formes terrestres dominantes sur de nombreux objets solides du système solaire et présentent les preuves empiriques les plus solides de leur fréquence et de leur échelle.

Les événements d'impact semblent avoir joué un rôle important dans l'évolution du système solaire depuis sa création. Les événements majeurs ont considérablement façonné l'histoire de la Terre, ont été impliqués dans la formation du système Lune - Terre, l'histoire évolutionniste de la vie, l'origine de l'eau sur Terre et plusieurs extinctions massives. Parmi les événements marquants, on peut citer l'impact de Chicxulub, il y a 66 millions d'années, qui serait la cause de l'extinction du Paléogène du Crétacé.

Une équipe internationale de 18 chercheurs, composée de James Kennett, 18 professeurs de sciences de la Terre à l'Université de Santa Barbara, a découvert un matériau en verre fondu dans une fine couche de roche sédimentaire en Pennsylvanie, en Caroline du Sud et en Syrie. Selon les chercheurs, le matériau qui remonte à près de 13.000 ans a été formé à des températures de 1.700 à 2.200° C, et est le résultat d'un corps cosmique impactant la terre.

Ces nouvelles données sont les dernières à soutenir fermement l'hypothèse controversée de Boundary Younger Dryas (YDB), qui suggère qu'un impact cosmique s'est produit il y a 12 900 ans au début d'une

période climatique froide inhabituelle appelée Younger Dryas. Cet épisode s'est produit au moment, ou peu avant l'extinction majeure de la mégafaune nord-américaine, notamment des mammouths et des paresseux terrestres géants ; et de la disparition préhistorique largement répandue par la culture Clovis. Les conclusions des chercheurs sont publiées aujourd'hui dans les Actes de l'Académie nationale des sciences.

“Ces scientifiques ont identifié trois niveaux contemporains, il y a plus de 12 000 ans, sur deux continents, produisant des objets siliceux ressemblant à des scories (SLO, scoria-like objects)”, a déclaré H. Richard Lane, directeur de programme de la Division des sciences de la Terre de la Fondation nationale des sciences. “Les SLO sont une indication de l'impact et des débordements d'air à haute énergie, ce qui renforce l'affirmation selon laquelle ces événements ont provoqué le début des Dryas récents. Cette époque a marqué un départ majeur dans l'histoire biotique, humaine et climatique.”

La preuve morphologique et géochimique du verre fondu confirme que le matériau n'est ni cosmique, volcanique, ni d'origine humaine. “Le verre fondu à très haute température semble identique à celui produit lors d'événements d'impact cosmique connus tel que le cratère de météorite en Arizona et le champ de tectite australasien”, a déclaré Kennett.

“Le matériau fondu correspond aussi au verre fondu produit par l'explosion nucléaire de Trinity en 1945 à Socorro, au Nouveau-Mexique”, a-t-il poursuivi. “Les températures extrêmes requises sont égales à celles d'une bombe atomique, assez élevées pour faire fondre et bouillir du sable.



Question(s) textuelle (s) (20 minutes)

- 1) Comment l'orbite de la terre influence-t-elle le changement climatique ?
- 2) Comment la production solaire thermique influence-t-elle le changement climatique ?



Résumé

Cette session a montré comment les variations régulières de l'orbite de la Terre autour du soleil, les changements de la production thermique solaire, les niveaux fluctuants de l'activité magnétique solaire et les impacts des objets extraterrestres affectent le changement climatique. La prochaine session examine comment certains moteurs appelés moteurs internes contribuent également au changement climatique.

4.10 Moteurs internes du changement climatique

Cette session présente les moteurs internes du changement climatique. Elle décrit comment les éruptions volcaniques, l'albédo de la terre et les incendies de forêt provoquent le changement climatique.

1. Objectifs

À la fin de cette session, l'apprenant sera en mesure de

- a) décrire comment les éruptions volcaniques, l'albédo de la terre et les feux de brousse provoquent le changements climatique ; et
- b) distinguer les causes naturelles des causes anthropiques des incendies de forêt.

Activité 1 (Remue-méninges) (20 minutes)

Analyser des moteurs internes du changement climatique.

4.10.1 Éruptions volcaniques, tremblements et tectonique des plaques

Un tremblement de terre (aussi connu sous le nom de séisme, tremblement ou secousse) est le tremblement perceptible de la surface de la Terre, résultant de la soudaine libération d'énergie dans la croûte terrestre qui crée des ondes sismiques. Les tremblements de terre peuvent être assez violents pour détruire des villes entières. La sismicité, le séisme ou l'activité sismique d'une zone fait référence à la fréquence, au type et à la taille des tremblements de terre subis au cours d'une période de temps. Il y a encore des débats entre les scientifiques sur la question de savoir si le changement climatique peut provoquer un tremblement de terre.

4.10.2 L'albédo de la Terre (équilibre radiatif à la surface de la Terre)

L'albédo est une mesure de la réflectivité d'une surface. L'effet de l'albédo appliqué à la terre est une mesure de la quantité d'énergie du soleil réfléchi dans l'espace. Dans l'ensemble, l'albédo de la terre a un effet de refroidissement.

L'impact projeté le plus significatif sur l'albédo est le réchauffement planétaire futur. À l'exception de la banquise antarctique, qui a récemment augmenté de 1% par an, presque toute la glace de la planète fond. À mesure que les surfaces blanches diminuent, moins d'énergie est réfléchi dans l'espace et la Terre se réchauffera encore plus.

La perte de glace dans l'Arctique est particulièrement préoccupante. Non seulement l'albédo diminue, mais cette perte déclenche une réaction positive. En exposant la surface de l'océan à la lumière du soleil, l'eau se réchauffe. Cela fait fondre la glace du dessous, tandis que le CO₂ produit par l'homme dans l'atmosphère réchauffe la surface. L'humidité augmente également et la vapeur d'eau est un puissant gaz à effet de serre. Plus de glace fond donc, ce qui expose plus d'eau, qui fond plus de glace en dessous. Cette boucle se nourrit elle-même, l'effet devient de plus en plus prononcé. C'est un bon exemple de rétroaction positive. L'augmentation de la vapeur d'eau a aussi un autre effet, qui est d'augmenter la quantité de nuages. Comme nous l'avons déjà mentionné, les nuages peuvent augmenter l'albédo (une rétroaction négative), mais aussi le réchauffement (une rétroaction positive).

4.10.3 Feux de forêt (causés par des facteurs naturels comme la foudre)

Les feux de forêt sont des feux de terre non planifiés et non désirés, y compris les feux anthropiques non autorisés. Les feux de forêt sont fréquents dans certaines parties du monde. Elles se produisent sur tous

les continents, à l'exception de l'Antarctique. Elles se produisent le plus souvent dans les zones chaudes où la sécheresse est prolongée.

Les coûts des feux de forêt, en termes de risques pour la vie et la santé humaines, de dommages matériels et d'économies, sont dévastateurs et ils ne peuvent qu'augmenter, à moins que nous ne nous attaquions mieux aux risques des feux de forêt et réduisions nos activités qui mènent au nouveau changement climatique.

Les causes naturelles des feux de forêt sont la foudre, le chauffage spontané et les éruptions volcaniques.

- La foudre est la principale cause naturelle des feux de forêt. La plupart des feux déclenchés par la foudre sont petits et se déclarent rapidement, mais si les conditions sont bonnes, les feux déclenchés par la foudre peuvent se propager très rapidement. Environ 8 millions de coups de foudre frappent la Terre chaque jour !
- Le Chauffage spontané, est le moment où la matière est chauffée au point de s'enflammer sans étincelle. C'est courant lorsque de nombreuses feuilles et branches sont tombées au sol et n'ont pas été dégagees- le flux d'air est limité et peut conduire au feu.
- Les éruptions volcaniques libèrent de la lave rouge chaude et des cendres qui peuvent déclencher des feux.



Objectifs

À la fin de cette session, l'apprenant sera capable de

- a) décrire comment les éruptions volcaniques, l'albédo de la terre et les feux de forêt provoquent le changement climatique ; et
- b) distinguer les causes naturelles des causes anthropiques des incendies de forêt.



Activité 2 (Discussion de groupe) (20 minutes)

- Discutez des trois causes naturelles des feux de forêt



Question(s) textuelle(s) (20 minutes)

Comment l'albédo et les feux de forêt provoquent-ils le changement climatique ?



Résumé

Cette séance a décrit comment les facteurs internes, - éruptions volcaniques, tremblements, tectonique des plaques, albédo de la terre et incendies de forêt causés par des facteurs naturels comme la foudre, - contribuent au changement climatique. La prochaine session présentera les moteurs anthropologiques du changement climatique.

4.11 Les facteurs anthropiques du changement climatique

Les facteurs anthropiques du changement climatique sont les activités humaines qui entraînent ou contribuent au changement climatique. Cette session présente aux apprenants certaines activités qui causent le changement climatique. Il s'agit notamment de :

- i) Le changement d'utilisation des terres de la forêt vers d'autres types d'utilisation telles que l'agriculture ;
- ii) La déforestation et la dégradation des forêts ;
- iii) L'utilisation intensive d'engrais inorganiques ;
- iv) L'élevage ;
- v) La riziculture ;
- vi) Les transports ;
- vii) La conversion des terres humides en d'autres utilisations des terres ; et,
- viii) Les missions industrielles



Objectifs

A la fin de cette session, l'apprenant sera capable de :

- a) Décrire comment l'utilisation des terres passe de la forêt vers d'autres types d'utilisation telles que l'agriculture ;
- b) Décrire comment la déforestation et la dégradation des forêts affectent le climat ;
- c) Analyser l'impact de l'utilisation généralisée d'engrais inorganiques sur le climat ;
- d) Expliquer comment l'élevage affecte le changement climatique ;
- e) Décrire comment la riziculture influe sur la dynamique du climat ; et,
- f) Évaluer l'impact des systèmes de transport sur le climat



Activité 2 (Discussion de groupe) (20 minutes)

- Discutez des trois causes naturelles des feux de forêt

4.11.1 Changements d'utilisation des terres, de la forêt vers d'autres utilisations des terres telles que l'agriculture

Le changement d'utilisation des terres est un type d'activité humaine qui provoque des changements dans le climat de la terre. Le GIEC estime que le changement d'utilisation des terres (par exemple, la conversion de la forêt en terres agricoles) contribue à une augmentation nette de $1,6 \pm 0,8$ Gt de carbone par an dans l'atmosphère. Les changements d'utilisation des terres ont entraîné des changements dans la quantité de lumière solaire réfléchie depuis le sol vers l'espace. L'ampleur de ces changements est estimée à environ un cinquième de l'effet sur le climat mondial en raison des changements dans les émissions de GES.

Environ la moitié des changements d'utilisation des terres aux États-Unis se seraient produits durant l'ère industrielle, en grande partie à cause du remplacement des forêts par des cultures agricoles et des pâturages. On estime que l'effet le plus important de la déforestation se situe à des latitudes élevées où l'albédo des terres recouvertes de neige, auparavant boisées, a augmenté. Cela est dû au fait que la neige sur les arbres ne reflète qu'environ la moitié de la lumière du soleil qui y tombe, alors que le sol couvert de neige reflète environ les deux tiers. Dans l'ensemble, l'augmentation de l'albédo dans les régions agricoles eurasiennes et nord-américaines a eu un effet de refroidissement.

Parmi les autres changements importants de la surface des terres résultant des activités humaines, on peut citer la déforestation tropicale, qui modifie les taux d'évapotranspiration (la quantité de vapeur d'eau injectée dans la sphère par évaporation et transpiration des arbres), la désertification, qui augmente l'albédo de surface, et les effets généraux de l'agriculture sur les caractéristiques d'humidité du sol. Tous ces processus doivent être inclus dans les modèles climatiques.

4.11.2 Déforestation et dégradation des forêts

La déforestation est la conversion des forêts en un autre type d'utilisation des terres ou la réduction à long terme du couvert forestier, qui inclue la conversion des forêts naturelles en plantations d'arbres, l'agriculture, les pâturages, les réservoirs d'eau et les zones urbaines, mais exclue des zones de production de bois gérées pour assurer la régénération de la forêt après l'exploitation forestière.

La dégradation des forêts se produit lorsque les changements dans la forêt ont une incidence négative sur la structure ou la fonction du peuplement ou du site, ce qui réduit la capacité de fournir des produits et/ou des services écosystémiques. La dégradation des forêts crée des forêts moins résilientes et moins productives et, dans certains pays, elle peut être presque aussi nocive que la déforestation. La dégradation de la forêt amorce souvent la pente glissante vers la déforestation : de grandes brèches dans la canopée peuvent assécher les forêts tropicales humides, les rendant ainsi vulnérables au feu ; les routes d'exploitations forestières abandonnées donnent accès aux colons ; et les autorités sont souvent plus disposées à accorder des permis de conversion dans les forêts fortement exploitées.

Les effets de la déforestation et de la dégradation des forêts sont les suivants :

- La réduction de la biodiversité : la déforestation et la dégradation des forêts peuvent faire diminuer la faune sauvage. Lorsque le couvert forestier est enlevé, la faune est privée d'habitat et devient plus vulnérable à la chasse. Étant donné qu'environ 80 % des espèces répertoriées dans le monde se trouvent dans les forêts tropicales humides, la déforestation constitue une grave menace pour la biodiversité de la Terre.
- Les émissions de gaz à effet de serre : les forêts sont la plus grande réserve terrestre de carbone et la déforestation est la troisième source d'émissions de GES après le charbon et le pétrole. La déforestation est à l'origine de 15 % des émissions mondiales de GES. Dans ce pourcentage, les émissions de CO₂ représentent c. un tiers des émissions totales de CO₂ émises par des activités humaines.
- Les cycles de l'eau sont perturbés : En raison de la déforestation, les arbres n'évaporent plus les eaux souterraines, ce qui peut rendre le climat local beaucoup plus sec.
- L'érosion du sol est accrue : La déforestation accélère les taux d'érosion du sol, en augmentant le ruissellement et en réduisant la protection du sol contre la litière des arbres.
- Les moyens de subsistance sont perturbés : Des millions de personnes dépendent directement des forêts, par le biais de la culture itinérante, de la chasse et de la cueillette, et par la récolte de produits forestiers comme le caoutchouc. La déforestation continue de créer de graves problèmes sociaux, conduisant parfois à des conflits violents.

4.11.3 Utilisation intensive d'engrais organiques

Les engrais sont constitués de substances et de produits chimiques comme le méthane, le CO₂, l'ammoniac et l'azote, dont les émissions ont contribué à accroître la quantité de gaz à effet de serre présents dans l'environnement. Cela conduit à son tour au réchauffement de la planète et au changement climatique. En fait, l'oxyde nitreux est le troisième gaz à effet de serre le plus important, après le CO₂ et le méthane.

4.11.4 L'Élevage

Le changement climatique a des effets directs sur la productivité du bétail ainsi qu'indirects de par des changements dans la disponibilité des fourrages et des pâturages. Ils déterminent le type de bétails le plus adapté aux différentes zones agroécologiques et donc les animaux capables de subvenir aux besoins des communautés rurales. Le changement climatique devrait affecter le bétail au niveau des espèces. Les émissions tout au long de la chaîne de production de bétails contribuent à 9 % des émissions anthropiques totales de CO₂, 37 % des émissions anthropiques de méthane et 65 % des émissions d'oxyde d'azote. Les options techniques disponibles pour atténuer les émissions du secteur sont les suivantes :

- I. Rétablir la séquestration du carbone organique et du carbone par l'agroforesterie ;
- II. Améliorer l'alimentation du bétail ;
- III. Une meilleure gestion du fumier ; et,
- IV. Une gestion prudente des nutriments.

L'utilisation de la technologie du biogaz est un moyen de réduire les émissions provenant d'une gestion mature tout en augmentant les profits agricoles et en procurant des bénéfices environnementaux.

4.11.5 La culture du riz paddy

Le riz a d'importantes répercussions sur la sécurité alimentaire parce qu'il constitue un tiers de l'apport en calorie des populations du tiers monde. Pourtant, le défi de la production de riz est double : faire face à la croissance démographique tout en faisant face au changement climatique.

Des changements imprévus en matière de température, de CO₂ et de précipitations, liés au réchauffement climatique, devraient avoir une incidence sur la production de riz. Des études ont montré que l'augmentation de la température, en raison du changement climatique, a des effets néfastes sur la physiologie des cultures de riz et, en fin de compte, sur la baisse du rendement des cultures et de la qualité des céréales.

Comme le CO₂ est un élément essentiel de la photosynthèse, l'augmentation de la concentration atmosphérique de CO₂ devrait augmenter la croissance des plantes et les rendements du riz.

L'incertitude liée aux projections des modèles spatiaux et temporels des précipitations, causée par le changement climatique, rend difficile l'anticipation de l'effet total de l'intensification de la fréquence des inondations et des sécheresses graves. Il est important de noter que dans les régions où le rayonnement est plus important, la production de riz permet d'augmenter le rendement des céréales. Dans l'ensemble, les chercheurs estiment que le changement climatique a un effet bénéfique sur le rendement du riz. Les effets de l'augmentation du CO₂ ont été annulés par les effets de l'augmentation de la température. Cependant, les multiples sources de biais rendent incertaines les estimations de l'impact du changement climatique sur la production de riz. L'ampleur du biais est estimée entre 1 et 32 %.

4.11.6 Le transport

Les émissions de CO₂ dans le secteur des transports sont d'environ 30% dans les pays développés et d'environ 23 % dans le cas des émissions totales de CO₂ d'origine humaine dans le monde entier. Il existe un large consensus sur la nécessité de réduire les émissions de CO₂ provenant des transports d'au moins 50 % d'ici 2050 au plus tard.

Le secteur des transports est l'une des principales sources d'émissions de gaz à effet de serre (GES) aux États-Unis. En 2013, il représentait 27 % des émissions totales. Entre 1990 et 2013, les émissions de GES dans le secteur des transports aux États-Unis ont plus augmenté en termes absolus comparativement à d'autres secteurs (production d'électricité, industrie, agriculture, résidentiel ou commercial).

Lors d'un certain nombre de conférences internationales, les Ministres des transports ont orienté les réflexions sur la nécessité de réduire les émissions de CO₂ et d'améliorer l'efficacité énergétique dans le secteur des transports, notamment par le biais de :

- i) Les technologies automobiles innovantes, les systèmes avancés de gestion des moteurs et les groupes motopropulseurs de véhicules efficaces ;
- ii) L'utilisation de biocarburants durables, non seulement de première génération (huile végétale, biodiesel, bioalcool et biogaz issus de plantes à sucre, de cultures ou de graisses animales, etc.), mais aussi de deuxième génération (biocarburants provenant de la biomasse, cultures non alimentaires, y compris le bois) et de troisième génération (combustibles biodégradables provenant d'algues) ;
- iii) Une amélioration de l'infrastructure des transports, en collaboration avec les systèmes de transport intelligents (STI), afin d'éviter la congestion du trafic et de favoriser l'utilisation du transport intermodal (route, rail et voies navigables) ;
- iv) L'Information des consommateurs (campagnes pour l'écoconduite, utilisation des transports publics et transport modal, etc.) ; et,
- v) Les instruments juridiques (tels que les incitations fiscales pour les produits et procédés à faible émission de carbone, la taxation des produits et procédés à forte intensité de CO₂, etc.).

4.11.7 Conversion des terres humides en d'autres utilisations

La conversion des zones humides pour développement commercial, les systèmes de drainage, l'extraction de minéraux, la surpêche, le tourisme, l'envasement, le rejet de pesticides de l'agriculture, les polluants toxiques provenant des déchets industriels et la construction de barrages et de digues, souvent pour améliorer la protection contre les inondations, sont des menaces majeures pour les zones humides partout dans le monde.

L'assèchement des zones humides pour le développement commercial, y compris les installations touristiques ou les terres agricoles, constitue une menace majeure. L'utilisation imprudente de l'eau douce pour alimenter ces développements constitue une menace supplémentaire. Dans de trop nombreuses localités, la quantité d'eau prélevée dans les aquifères souterrains de la nature dépasse de loin leur capacité à se reconstituer. Le résultat est qu'à mesure que le niveau de l'eau diminue, des millions d'arbres et de plantes meurent parce qu'ils sont privés de leurs ressources vitales.

Des centaines de milliers d'hectares de zones humides ont été drainés pour l'agriculture. À l'échelle mondiale, l'agriculture représente 65% du prélèvement total d'eau sur terre. L'agriculture et d'autres industries telles que la fabrication du papier sont souvent inefficaces et très gaspilleuses en eau.



Résumé

Cette session a décrit comment les activités anthropiques : passage de la forêt à d'autres utilisations des terres telles que l'agriculture, la déforestation et la dégradation des forêts, l'utilisation extensive d'engrais inorganiques, l'élevage, la culture du riz paddy et la conversion des zones humides en d'autres utilisations des terres, contribuent aux changements climatiques. La session suivante présente les risques et les dangers du changement climatique.

**Question(s) d'exercices (20 minutes)**

- 1) Quelle est la différence entre la déforestation et la dégradation des forêts ?
- 2) Comment l'utilisation intensive d'engrais provoque-t-elle le changement climatique ?
- 3) Que peut-on faire pour réduire les impacts de l'agriculture sur le climat ?

Étude de cas 10. Impacts des activités anthropiques sur les zones humides

Les espèces envahissantes

Les espèces exotiques envahissantes ont eu de graves répercussions sur la flore et la faune aquatiques locales et peuvent perturber l'équilibre naturel d'un écosystème. Par exemple, l'introduction de la perche du Nil dans le lac Victoria a fait disparaître de nombreuses espèces indigènes de cichlidés du lac.

La pollution

La pollution dans les zones humides est une préoccupation croissante, qui affecte les sources d'eau potable et la diversité biologique. Le drainage et le ruissellement des cultures fertilisées et des pesticides utilisés dans l'industrie introduisent l'azote et les nutriments phosphorés et d'autres toxines comme le mercure dans les sources d'eau. Ces produits chimiques peuvent affecter la santé et la reproduction des espèces, ce qui constitue une grave menace pour la diversité biologique.

Le changement climatique

L'augmentation de la température provoque la fonte de la glace polaire et l'élévation du niveau de la mer. Ce qui, à son tour, à l'inondation des zones humides peu profondes et la submersion et la noyade de certaines espèces de mangroves. Dans le même temps, d'autres estuaires des zones humides, des plaines inondables et des marais sont détruits par la sécheresse.

Les barrages

Dans le monde, il y a maintenant plus de 40 000 barrages qui modifient le flux naturel de l'eau et ont un impact sur les écosystèmes existants. Alors qu'il y a beaucoup de débats sur la nécessité de construire des barrages, le WWF soutient que le développement devrait être aussi durable que possible pour garantir un impact négatif minimum sur la biodiversité.

4.12 Dangers liés au changement climatique

Un climat en mutation entraîne des changements dans la fréquence, l'intensité, l'étendue spatiale, la durée et le calendrier des conditions météorologiques et climatiques extrêmes, et peut entraîner des événements sans précédent. Les événements météorologiques ou climatiques, même s'ils ne sont pas extrêmes au sens statistique, peuvent toujours conduire à des conditions ou des impacts extrêmes, soit en franchissant un seuil critique dans un système social, écologique ou physique, soit en se produisant en même temps que d'autres événements. Certains extrêmes climatiques (par exemple les sécheresses, les inondations) peuvent être le résultat d'une accumulation d'événements météorologiques ou climatiques qui, individuellement, ne sont pas eux-mêmes extrêmes.

Cette session présente certains risques et dangers associés au changement climatique.



Objectifs

A la fin de cette session, les apprenants seront capables d'expliquer l'effet du changement climatique sur :

- a) L'inondation ;
- b) La sécheresse ;
- c) La mauvaise récolte ;
- d) La perte de la biodiversité ; et,
- e) La santé humaine.



Activité 1 (Discussion) (20 minutes)

Les apprenants devraient discuter de la tendance des inondations, de la sécheresse, des mauvaises récoltes et des maladies humaines dans leur pays d'origine.

4.12.1 Les inondations

Une inondation est «le débordement des confins normaux d'un cours d'eau ou d'un autre plan d'eau, ou l'accumulation d'eau au-dessus de zones qui ne sont pas normalement submergées. Les inondations comprennent les inondations fluviales, les inondations soudaines, urbaines, pluviales, d'égouts, côtières et glaciaires provoquées par les débordements d'eau». Les principales causes des inondations sont les précipitations abondantes et/ou de longue durée, la fonte des neiges et des glaces, une combinaison de ces causes, la rupture des barrages (p. ex. lacs glaciaires), réduction des transports en raison des embâcles ou des glissements de terrain, ou encore une tempête locale intense.

Les inondations sont affectées par diverses caractéristiques des précipitations, telles que l'intensité, la durée, la quantité, le moment et la phase (pluie ou neige). Ils sont également touchés par les conditions des bassins hydrographiques, comme le niveau de la rivière, la présence de neige et de glace, le caractère et l'état du sol (gelé ou non, la teneur en humidité du sol et la distribution verticale), le taux et le moment de la fonte de la neige et de la glace, l'urbanisation et l'existence de digues, de barrages et de réservoirs. Le long des zones côtières, les inondations peuvent être associées à des épisodes de tempête.

Une modification du climat change physiquement plusieurs des facteurs qui affectent les inondations (p. ex., les précipitations, la couverture de neige, la teneur en humidité du sol, le niveau de la mer, les conditions glaciaires du lac et la végétation) et peut par conséquent modifier les caractéristiques des inondations. La littérature sur l'impact du changement climatique sur les inondations pluviales (inondations soudaines et inondations urbaines, par exemple) est rare.

En résumé, le GIEC ne dispose que de preuves limitées ou moyennes pour évaluer les changements liés au climat en ce qui concerne l'ampleur et la fréquence des inondations à l'échelle régionale, car les

données instrumentales disponibles sur les inondations dans les stations de jauge sont limitées dans l'espace et dans le temps, et en raison des effets confondants des changements dans l'utilisation des terres et dans l'ingénierie.

En outre, il y a un faible consensus concernant ces preuves, et donc une faible confiance globale à l'échelle mondiale, même en ce qui concerne le signe de ces changements. Il y a peu de certitude (en raison de preuves limitées) que le changement climatique anthropique a eu une incidence sur l'ampleur ou la fréquence des inondations, bien qu'il ait influé de façon détectable sur plusieurs composantes du cycle hydrologique, par exemple les précipitations et la fonte des neiges (d'une confiance moyenne à une confiance élevée), qui peuvent avoir une incidence sur les tendances des inondations.

Les prévisions des précipitations et des changements de température impliquent des changements possibles dans les inondations, bien que, dans l'ensemble, la confiance dans les projections des changements dans les inondations fluviales soit faible. La confiance est faible en raison du peu de preuves et parce que les causes des changements régionaux sont complexes, bien qu'il y ait des exceptions à cette affirmation. Il existe une confiance moyenne (fondée sur le raisonnement physique) que les augmentations prévues des pluies abondantes contribueraient à l'augmentation des inondations locales provoquées par les pluies, dans certains bassins versants ou certaines régions. Au début du printemps, les débits de pointe des rivières alimentées par la fonte des neiges et les glaciers sont probables, mais la confiance dans leur ampleur est faible.

4.12.2 La sécheresse

La sécheresse est généralement «une période de temps anormalement sec assez longue pour causer un grave déséquilibre hydrologique». Bien que l'absence de précipitations (c'est-à-dire la sécheresse météorologique) soit souvent la principale cause de sécheresse, l'augmentation de l'évapotranspiration potentielle induite par l'augmentation du rayonnement, de la vitesse du vent ou du déficit de pression de vapeur (elle-même liée à la température et à l'humidité relative), ainsi que le pré conditionnement (pré-événement de l'humidité du sol ; stockage des lacs, de la neige et/ou des eaux souterraines) peuvent contribuer à l'apparition de l'humidité du sol et de la sécheresse hydrologique.

Les principales causes de l'humidité du sol ou des sécheresses hydrologiques sont la réduction des précipitations et/ou l'évapotranspiration plissée. Bien que le rôle des déficits dans les précipitations soit généralement considéré comme plus important dans la littérature, plusieurs indicateurs de sécheresse tiennent également compte explicitement ou indirectement des effets de l'évapotranspiration. Dans le contexte des projections climatiques, les analyses suggèrent que les changements dans la sécheresse simulée de l'humidité du sol sont principalement dus à des changements dans les précipitations, avec une évapotranspiration accrue due à un déficit de pression de vapeur plus élevé (souvent lié à une augmentation de la température) et des rayonnements disponibles qui modulent certains des changements.

En raison de la définition complexe des sécheresses et du manque d'observations sur l'humidité du sol, plusieurs indices (météorologique, hydrologique et humidité du sol) ont été élaborés pour caractériser la sécheresse. Ces indicateurs comprennent des simulations de modèles de surface terrestre, de modèles hydrologiques ou climatiques (fournissant des estimations de l'humidité ou du ruissellement du sol) et des indices basés sur des variables météorologiques ou hydrologiques mesurées.

Il y a une confiance moyenne sur le fait, depuis les années 1950, certaines régions du monde ont connu des tendances vers des sécheresses plus intenses et plus longues, en particulier en Europe du Sud et en Afrique de l'Ouest, mais dans certaines régions, les sécheresses sont devenues moins fréquentes, moins intenses ou plus courtes, par exemple dans le centre de l'Amérique du Nord et le nord-ouest de l'Australie. Il y a une confiance moyenne sur le fait que l'influence anthropique a contribué à certains

changements dans les schémas de sécheresse observés dans la deuxième moitié du XXe siècle, en fonction de son impact attribué sur les précipitations et les changements de température (bien que la température ne puisse être qu'indirectement liée aux tendances de la sécheresse);

Toutefois, l'on ne croit guère à l'attribution de changements dans les sécheresses au niveau des régions isolées en raison de preuves incohérentes ou insuffisantes. Les études post-AR4 indiquent qu'il existe une confiance moyenne dans l'augmentation prévue de la durée et de l'intensité des sécheresses dans certaines régions du monde, y compris le sud de l'Europe et la région méditerranéenne, l'Europe centrale, l'Amérique du Nord centrale, l'Amérique centrale et le Mexique, le nord-est du Brésil et l'Afrique australe. Ailleurs, la confiance est globalement faible en raison d'un accord insuffisant sur les projections des changements de sécheresse (dépendant à la fois du modèle et de l'indice de sécheresse). Les problèmes de définition et le manque de données empêchent une plus grande confiance que la moyenne dans les observations des changements de sécheresse, tandis que ces problèmes, ainsi que l'incapacité des modèles à inclure tous les facteurs susceptibles d'influencer les sécheresses, empêchent une plus grande confiance que la moyenne dans les projections.

4.12.3 Défaillance des cultures

Le GIEC confirme qu'au cours des prochaines décennies, le changement climatique entraînera des pertes de récoltes. Dans son quatrième rapport d'évaluation, il a estimé que les effets futurs potentiels du changement climatique sur l'agriculture étaient de faible à moyen confiance. Le rapport concluait que pour une augmentation moyenne de la température mondiale d'environ 1 à 3 °C (d'ici 2100, par rapport au niveau moyen de 1990-2000), il y aurait des diminutions de productivité pour certaines céréales dans les latitudes basses et des augmentations de productivité dans les latitudes élevées. Dans le même rapport, la «faible confiance» signifie qu'une conclusion donnée a environ 2 chances sur 10 d'être correcte, sur la base d'un jugement d'expert. La «confiance moyenne» a environ 5 chances sur 10 d'être correcte.

En Afrique, le GIEC prévoyait que la variabilité et le changement climatiques compromettraient gravement la production agricole et l'accès à l'alimentation. Cette projection s'est vue attribuer une «grande confiance». La géographie de l'Afrique la rend particulièrement vulnérable au changement climatique, et 70 % de la population dépend de l'agriculture pluviale pour ses moyens de subsistance. Le rapport officiel de la Tanzanie sur le changement climatique suggère que les zones qui reçoivent habituellement deux pluies dans l'année vont probablement obtenir plus et celles qui n'ont qu'une seule saison des pluies obtiendront beaucoup moins. On s'attend donc à ce que 33 % moins de maïs- la culture de base du pays - soient cultivés.

4.12.4 Perte de la biodiversité

Il existe de nombreuses preuves que le changement climatique affecte la biodiversité. Selon l'Évaluation des écosystèmes pour le Millénaire, le changement climatique devrait devenir l'un des principaux moteurs de la perte de biodiversité d'ici la fin du siècle. Le changement climatique oblige déjà la biodiversité à s'adapter soit en changeant l'habitat, en changeant les cycles de vie, soit en développant de nouvelles caractéristiques physiques.

Le changement climatique à lui seul devrait menacer environ un quart ou plus de toutes les espèces terrestres en voie d'extinction d'ici 2050, dépassant même la perte d'habitat comme la plus grande menace pour la vie terrestre. Les espèces des océans et des eaux douces sont également très menacées par le changement climatique, en particulier celles qui vivent dans des écosystèmes comme les récifs coralliens qui sont très sensibles au réchauffement des températures, mais l'ampleur complète de ce risque n'a pas encore été calculée.

Le changement climatique est une menace parce que les espèces ont évolué pour vivre à l'intérieur de certaines plages de température. Lorsqu'elles sont dépassées et qu'une espèce ne peut pas s'adapter à de nouvelles températures, ou lorsque d'autres espèces dont elle dépend, par exemple son approvisionnement alimentaire, ne peuvent s'adapter, sa survie est menacée.

Le GIEC a prédit que d'ici 2100, en supposant que les tendances actuelles en matière de combustion des combustibles fossiles continuent d'être utilisées, la surface de la Terre se réchauffera en moyenne de 6 °C ou plus. Il n'est pas possible de prédire comment la plupart des espèces, y compris la nôtre, et comment la plupart des écosystèmes réagiront à un tel réchauffement extrême, mais les effets seront probablement catastrophiques.

La biodiversité peut appuyer les efforts visant à réduire les effets négatifs du changement climatique. Les habitats préservés ou restaurés peuvent éliminer le CO₂ de l'atmosphère, contribuant ainsi à lutter contre le changement climatique en stockant du carbone (par exemple, en réduisant les émissions résultant du déboisement et de la dégradation des forêts).

La préservation des écosystèmes en état de cause, comme les mangroves, peut contribuer à réduire les effets désastreux du changement climatique, tels que les inondations et les ondes de tempête.

4.12.5 Santé humaine

Un changement climatique a un impact sur la santé et le bien-être humains. L'Organisation mondiale de la santé (OMS) a identifié le changement climatique comme un problème de santé publique critique. Le changement climatique aggrave de nombreuses maladies et conditions existantes, mais il peut aussi contribuer à introduire de nouveaux parasites et pathogènes dans de nouvelles régions ou communautés. À mesure que la planète se réchauffe, que les océans s'étendent et que le niveau de la mer s'élève, les inondations et les sécheresses deviennent plus fréquentes et plus intenses, et les vagues de chaleur et les ouragans deviennent plus sévères.

Les personnes les plus vulnérables, les enfants, les personnes âgées, les pauvres et les personnes souffrant de conditions de santé sous-jacentes sont plus exposées aux effets du changement climatique sur la santé. Le changement climatique met également l'accent sur l'infrastructure des soins de santé et les systèmes de prestation de soins. Le nombre de décès évitables devrait augmenter dans les pays en développement (en particulier en Afrique) qui ont des populations appauvries et ont déjà été touchés par le changement climatique.



Question d'exercice (20 minutes)

Rédiger un essai sur l'impact des inondations et des sécheresses climatiques sur le rendement des cultures et leur relation avec le changement climatique.



Résumé

Les risques et les dangers du changement climatique ont été présentés dans cette session. Ils comprennent les inondations, la sécheresse, les mauvaises récoltes, les feux de forêt, la mort du bétail, la santé humaine et la perte de la biodiversité. La session suivante décrit certaines mesures de gestion des moteurs anthropiques du changement climatique.

4.13 Gestion des facteurs anthropiques du changement climatique

Cette session présente quelques façons innovantes de réduire les impacts du changement climatique, l'utilisation de technologies vertes et l'agriculture intelligente face au climat.



Objectifs

À la fin de cette session, l'apprenant sera en mesure de

- Décrire les moteurs anthropiques du changement climatique ; et,
- Expliquer comment les moteurs anthropiques du changement climatique peuvent être gérés.



Activité 1 (Remue-ménages) (20 minutes)

Les apprenants devraient faire un remue-ménage sur la signification et les impacts des technologies vertes et de l'agriculture intelligente face au changement climatique.

4.13.1 Technologies vertes

Le terme «technologie» désigne l'application du savoir à des fins pratiques. Le domaine de la «technologie verte/écologique» englobe un groupe de méthodes et de matériaux en constante évolution, depuis les techniques de production d'énergie jusqu'aux produits de nettoyage non toxiques.

Les technologies vertes/écologiques : peuvent affecter la biodiversité en réduisant les émissions et d'autres produits nocifs pour l'environnement qui contribuent au changement climatique et à la pollution des habitats. Voici des exemples de technologies vertes : énergie propre ; transports verts ; bâtiment vert et chimie verte.

Les énergies propres doivent provenir de sources sans émissions. Elle englobe toutes les sources d'énergie primaires actuelles, à l'exception des combustibles fossiles, qui constituent la principale source d'énergie. La combustion de combustibles fossiles représente actuellement plus des trois quarts de la consommation énergétique mondiale. Les sources d'énergie renouvelables comprennent les sources d'énergie solaire, éolienne, nucléaire, hydroélectrique et géothermique. Idéalement, l'énergie mondiale devrait provenir d'une combinaison de ces sources, selon ce qui est disponible dans une zone donnée.

Transport écologique : Le transport à base de combustibles fossiles est responsable de 23 à 24 pour cent des émissions mondiales de CO₂. Le secteur peut être divisé en transports publics et privés. Les transports publics sont normalement plus efficaces parce qu'ils transportent plus de personnes pour moins d'énergie. Mais il pourrait être encore amélioré en utilisant des combustibles plus propres ou des sources d'électricité propres. Les véhicules privés sont presque entièrement alimentés par les combustibles fossiles aujourd'hui. Pour passer à des sources d'énergie renouvelables, elles devront être remplacées par des véhicules électriques à batterie ou des véhicules électriques hybrides. Il suffit d'augmenter l'efficacité des voitures particulières en réduisant la taille des voitures et en faisant les moteurs plus efficaces pour la conduite régulière.

La Construction écologique englobe tout, du choix des matériaux de construction jusqu'à l'emplacement de l'immeuble.

Chimie verte : L'invention, la conception et l'application de produits et de procédés chimiques pour réduire ou éliminer l'utilisation et la production de substances dangereuses

4.13.1 Agriculture intelligente face au climat

L'agriculture intelligente face au climat (ASC) est une approche pour relever les défis interdépendants de la sécurité alimentaire et du changement climatique qui a trois objectifs :

- 1) accroître durablement la productivité agricole, pour soutenir une augmentation équitable des revenus agricoles, de la sécurité alimentaire et du développement ;
- 2) adapter et renforcer la résilience des systèmes agricoles et de sécurité alimentaire au changement climatique à plusieurs niveaux ; et,
- 3) réduire les émissions de gaz à effet de serre provenant de l'agriculture (y compris les cultures, le bétail et la pêche). L'ASC considère ces trois objectifs ensemble à différentes échelles, de la ferme au paysage, à différents niveaux, du local au mondial et à court et à long terme, en tenant compte des spécifications et des priorités nationales et locales.



Activité 2 (Discussion de groupe) (20 minutes)

Discuter de certains moyens pratiques pour réduire l'impact du changement climatique.



Résumé

Le potentiel du changement technologique et de la technologie verte (p. ex., l'agriculture intelligente) pour réduire le changement climatique a été traité dans cette séance. La prochaine séance présentera une description détaillée de la vulnérabilité et des impacts du changement climatique

4.14 Le concept et les composantes de la vulnérabilité

Cette session de formation présente le concept et les composantes de la vulnérabilité. Il définit les principaux concepts de la vulnérabilité au changement climatique. Il permet d'expliquer les différents déterminants et composantes de la vulnérabilité.



Objectifs

À la fin de cette session, l'apprenant sera en mesure de

- Décrire les concepts clés de la vulnérabilité au changement climatique et de l'impact de ces derniers ;
- Expliquer les divers déterminants de la vulnérabilité au changement climatique ; et,
- Distinguer les composantes de la vulnérabilité.



Activité 1 (Discussion de groupe) (20 minutes)

Examinez de manière critique le concept de vulnérabilité dans le contexte de votre pays.

4.14.1 Définitions des concepts clés

Le GIEC définit la vulnérabilité comme la mesure dans laquelle un système naturel ou social est susceptible de subir des dommages durables du fait du changement climatique, et est fonction de l'ampleur du changement climatique, de la sensibilité du système au changement climatique et de la capacité à adapter le système à ces changements. Par conséquent, un système très vulnérable est un système qui est très sensible au changement climatique modestes et pour lequel la capacité d'adaptation est fortement limitée. Le concept englobe la vulnérabilité à la faim qui se réfère à la présence de facteurs qui font courir aux personnes le risque de devenir des victimes de l'insécurité alimentaire ou de la malnutrition. Cela pourrait être le résultat d'une augmentation des extrêmes météorologiques et des décalages spatio-temporels, ce qui rend difficile pour les agriculteurs des régions tropicales et subtropicales d'accroître la productivité agricole. En raison des différences entre les pays, les régions, les secteurs économiques et les groupes sociaux, la vulnérabilité aux impacts du changement climatique sera inégalement répartie. On sait que les pauvres (pays et personnes) seront probablement les plus touchés par le changement climatique et qu'ils auront du mal à y répondre en raison du niveau de développement économique et des institutions. Il est donc impératif d'établir des liens insuffisants entre la vulnérabilité sociale et économique au changement climatique. Là encore, la vulnérabilité peut être comprise dans la perspective des aléas naturels - les caractéristiques d'une personne ou d'un groupe en termes de capacité à anticiper, à faire face, à résister et à se remettre des conséquences d'un aléa naturel. En examinant les discussions sur la vulnérabilité. Il est évident que la définition de la vulnérabilité, d'une part, dépend de l'adaptation qui a eu lieu et, d'autre part, que la vulnérabilité est définie en termes de capacité d'adaptation et de capacité de réponse au stress. Dans les analyses de la vulnérabilité, l'utilisation d'un cadre d'économie politique, l'« approche des droits » développée par Sen (1981) est préconisée. Cette approche suppose que la vulnérabilité est déterminée par l'accès aux ressources par des individus ou des groupes et leur droit de faire appel à ces ressources.



Question textuelle (10 minutes)

Indiquez les dispositions institutionnelles et de gouvernance dans votre pays qui sont susceptibles de rendre les individus et les groupes vulnérables au changement climatique ?

4.14.2 Déterminants de la vulnérabilité

La vulnérabilité des écosystèmes (par exemple, les forêts) au changement climatique décrit leur tendance à être affectée négativement, déterminée par la sensibilité des processus écosystémiques à des éléments particuliers du changement climatique et le degré auquel le système (y compris ses éléments sociaux couplés) peut maintenir sa structure, sa composition et fonction en présence d'un tel changement, soit en le subissant, soit en s'y adaptant. Selon le GIEC, la vulnérabilité au changement climatique est une fonction de l'exposition qui se réfère à l'inventaire des éléments dans une zone dans laquelle des événements dangereux peuvent se produire. L'exposition n'est pas seulement la mesure dans laquelle un système est sensible à des variations climatiques importantes, mais également le degré et la durée de ces variations. L'élément ou l'unité d'exposition peut être une activité, un groupe, une région ou une ressource. Ces éléments pourraient être exposés à des dangers tels que la sécheresse, les inondations, les cyclones et les températures extrêmes. Un rapport de 2010 de la Conférence des Nations Unies sur le commerce et le développement (CNUCED) a constaté que la fréquence et l'intensité des événements météorologiques extrêmes dans les pays les moins avancés (PMA) ont augmenté, avec cinq fois plus d'incidents de ce type survenus au cours de la période 2000-2010 par rapport à 1970-1979. Il a également déclaré que le nombre de personnes dans les PMA touchés par des événements extrêmes avait presque doublé (100 millions en 1970-1979 à 193 millions en 2000-2010). L'exposition aux variations climatiques est principalement fonction de la géographie. Par exemple, les communautés côtières seront plus exposées à l'élévation du niveau de la mer et aux cyclones, tandis que les communautés des zones semi-arides seront les plus exposées à la sécheresse. Généralement, l'exposition et la vulnérabilité sont échangées pour transmettre la même signification mais elles sont distinctes. Par exemple, il est possible d'être exposé mais pas vulnérable (par exemple, vivre dans une zone sujette aux inondations mais avoir des moyens suffisants pour modifier la structure et le comportement du bâtiment pour atténuer les pertes potentielles). Cependant, pour être vulnérable à un événement extrême, il faut également être exposé. L'exposition entraîne une perte économique considérable et une perturbation des moyens de subsistance. Parce que la production agricole en Afrique est principalement pluviale, la sécheresse reçoit généralement le plus d'attention de toutes les expositions.



Activité 2 (Remue-méninges) (20 minutes)

Discuter de la manière dont les capacités des pauvres et des minorités dans les communautés pourraient être améliorées pour les aider à s'adapter aux vulnérabilités climatiques.

La gravité des impacts climatiques dépend non seulement de l'exposition, mais aussi de la sensibilité de l'unité exposée (par exemple un écosystème, un bassin hydrographique, une île, un foyer, un village, une ville ou un pays) et de la capacité de faire face ou de s'adapter. La sensibilité est la mesure dans laquelle une communauté ou un écosystème donné est affecté par les contraintes climatiques. Il reflète la mesure dans laquelle un système est affecté, de façon négative ou bénéfique, par la variabilité ou le changement climatique. Par exemple, une collectivité qui dépend de l'agriculture pluviale est beaucoup plus sensible à l'évolution des régimes pluviaux que celle où l'exploitation minière est le principal moyen de subsistance. Là encore, l'effet pourrait être direct (par exemple, un changement du rendement des cultures en réponse à un changement de la moyenne, de l'aire de répartition ou de la variabilité de la température) ou indirect (par exemple, des dommages causés par une augmentation de la fréquence des inondations côtières dues à l'élévation du niveau de la mer). L'exposition et la sensibilité sont des propriétés presque inséparables d'un système (ou d'une communauté) et dépendent de l'interaction entre les caractéristiques du système et les attributs du stimulus climatique. L'exposition et la sensibilité d'un système à un risque de changement environnemental (p. ex. sécheresse) reflètent la probabilité que le système connaisse les conditions particulières et les caractéristiques d'occupation et de subsistance

du système. Les caractéristiques de l'occupation (par exemple le lieu et les types d'établissement, les moyens de subsistance, l'utilisation des terres, etc.) reflètent des conditions sociales, économiques, culturelles, politiques et environnementales plus larges, parfois appelées facteurs ou sources ou déterminants de l'exposition et de la sensibilité. Il convient de noter que même si un système peut être considéré comme très exposé et/ou sensible au changement climatique, il ne signifie pas nécessairement qu'il est vulnérable. Cela n'est pas dû au fait que ni l'exposition ni la sensibilité ne rendent compte de la capacité d'un système à s'adapter au changement climatique (c'est-à-dire de sa capacité d'adaptation). La vulnérabilité est l'impact net qui reste après la prise en compte de l'adaptation.



Question d'exercice (10 minutes)

Le renforcement des capacités d'adaptation devrait-il être axé sur les pauvres et les vulnérables de la société ou des pays pauvres ?

La capacité d'adaptation est définie comme la capacité d'un système (humain ou naturel) de s'adapter au changement climatique (variabilité et extrêmes) pour modérer les dommages potentiels, pour tirer parti des opportunités ou de faire face aux conséquences. Il met en évidence le potentiel des espèces et des systèmes de montrer de la résistance (capacité de résister à un changement) et de la résilience (capacité de se remettre d'un changement) au changement environnemental. L'adaptation au changement climatique signifie que les populations réduisent les effets néfastes du climat sur leur santé et leur bien-être et tirent parti des possibilités que leur environnement climatique leur offre. La tendance des systèmes à s'adapter est influencée par certaines caractéristiques, appelées déterminants de l'adaptation. Il s'agit notamment de la sensibilité, de la vulnérabilité, de la résilience, de la prédisposition et de la capacité d'adaptation. La capacité d'adaptation comprend des ajustements du comportement, des ressources et des technologies. Les forces qui influent sur la capacité d'adaptation du système sont les facteurs déterminants de la capacité d'adaptation. L'un des facteurs les plus importants qui déterminent la capacité d'adaptation des individus, des ménages et des collectivités est leur accès aux ressources naturelles, humaines, sociales, physiques et financières et leur contrôle sur ces ressources. Il a été constaté que certains déterminants socio-économiques de la capacité d'adaptation sont génériques (comme l'éducation, le revenu et la santé), tandis que d'autres déterminants sont spécifiques à des impacts particuliers du changement climatique comme les inondations ou les sécheresses (p. ex. les institutions, les connaissances et la technologie). En général, les déterminants ne sont pas indépendants les uns des autres et ne s'excluent pas mutuellement, car, par exemple, les ressources économiques facilitent la mise en œuvre de nouvelles technologies et peuvent assurer l'accès à des possibilités de formation. Les PMA ne disposent pas de nombreux éléments clefs de la capacité d'adaptation pour faire face au changement climatique et à d'autres crises environnementales. Il est donc nécessaire d'améliorer l'accès aux ressources susceptibles d'aider les individus et les groupes à faire face aux menaces et aux expositions (réseaux communautaires opérationnels, accès à des prêts à faible taux, services accessibles comme les soins de santé et l'assainissement, systèmes d'irrigation et stockage de l'eau, etc.). Les adaptations varient non seulement en ce qui concerne leurs stimuli climatiques, mais aussi en ce qui concerne d'autres conditions non climatiques, parfois appelées conditions d'intervention, qui influent sur la sensibilité des systèmes et sur la nature de leurs ajustements. Par exemple, une série de sécheresses peut avoir des effets similaires sur le rendement des récoltes dans deux régions, mais des arrangements économiques et institutionnels différents dans les deux régions peuvent très bien avoir des effets très différents sur les agriculteurs et, partant, des réponses adaptatives différentes, à court et à long terme. La capacité d'adaptation est considérée comme une propriété souhaitable d'un système de réduction de la vulnérabilité. Plus un système a de chances, plus il est probable qu'il soit capable de s'adapter et, par conséquent, qu'il soit moins vulnérable aux changements et à la variabilité climatiques.



Activité 3 (Discussion en petits groupes) (20 minutes)

En prenant l'un ou l'autre des éléments suivants : social, culturel, économique ou politique, discutez de la façon dont les changements dans ces éléments dans nos collectivités pourraient aider à renforcer la résilience au changement climatique.

Les autres déterminants de la vulnérabilité sont la capacité et la résilience. La capacité fait référence aux ressources et aux biens que les gens possèdent pour résister, faire face et se remettre des chocs liés aux catastrophes. Elle englobe la capacité d'utiliser les ressources nécessaires et d'y accéder, et va donc au-delà de la seule disponibilité de ces ressources. Les capacités sont souvent ancrées dans des ressources endogènes à la communauté et qui reposent sur les connaissances traditionnelles, les compétences et technologies autochtones et les réseaux de solidarité. La manière dont les personnes et les organisations utilisent les ressources existantes pour atteindre divers objectifs bénéfiques dans des conditions inhabituelles, anormales et défavorables d'un phénomène ou d'un processus de catastrophe est appelée stratégies d'adaptation. La capacité est un élément important dans la plupart des cadres conceptuels de la vulnérabilité au changement climatique et des risques qui y sont associés. L'amélioration des capacités est souvent identifiée comme la cible des politiques et des projets en se fondant sur la notion que le renforcement des capacités finira par réduire les risques.

On peut envisager cette question sous deux angles : l'adaptation et la prise en charge. L'adaptation est généralement utilisée pour désigner les actions ex post (c'est-à-dire la capacité de réagir aux dangers vécus et d'en réduire les effets néfastes), tandis que la prise en charge est normalement associée aux actions ex ante (transformation de la structure, du fonctionnement ou de l'organisation pour mieux survivre aux dangers). La présence de la capacité suggère que les impacts seront moins extrêmes et/ou que le temps de récupération sera plus court. On pourrait donc en déduire que la vulnérabilité est le résultat d'un manque de capacité. La vulnérabilité est le contraire de la capacité, de sorte qu'augmenter la capacité signifie réduire la vulnérabilité, et une grande vulnérabilité signifie une faible capacité. La résilience, d'autre part, est la capacité d'un système (humain ou naturel) à résister, à absorber et à se rétablir des effets des aléas de manière opportune et efficace, en préservant ou en restaurant ses structures, ses fonctions et son identité de base essentielles. Une communauté résiliente est bien placée pour gérer les aléas, pour minimiser leurs effets et/ou pour se remettre rapidement des impacts négatifs, ce qui permet d'obtenir un état similaire ou amélioré par rapport à la situation avant que l'aléa ne se produise. Dans la plupart des régions africaines, la réalisation de la résilience peut nécessiter des changements (sociaux, culturels, économiques ou politiques). Il existe des liens étroits entre la résilience et la capacité d'adaptation. La résilience varie également beaucoup d'un groupe à l'autre au sein d'une communauté et, à ce titre, la réduction de la vulnérabilité et le renforcement de la résilience exigent une participation accrue des communautés locales.

4.14.3 Composantes de la vulnérabilité

La définition du GIEC met en évidence trois composantes de la vulnérabilité dans le contexte du changement climatique : l'exposition, la sensibilité et la capacité d'adaptation (figure 29). Elle implique qu'un système est vulnérable s'il est exposé (le degré de variabilité et de changement climatique que connaît un pays, une communauté, un individu ou un écosystème) et sensible (une évaluation de l'impact des facteurs climatiques sur un pays, une communauté, un individu ou un écosystème) aux effets du changement climatique et, dans le même temps, la capacité d'adaptation est limitée (capacité d'un pays, d'une communauté, d'un individu ou d'un écosystème à gérer les impacts négatifs et à saisir toutes les opportunités qui se présentent). Un système est moins vulnérable s'il est moins exposé, moins sensible ou s'il a une forte capacité d'adaptation. Ces composants sont multidimensionnels et différentiels. C'est-à-dire qu'elles varient selon l'espace physique et selon les groupes sociaux et au sein de ceux-ci. Ils sont également dépendants de l'échelle, c'est-à-dire de l'espace et des unités d'analyse telles que l'individu, le ménage, la région ou le système.

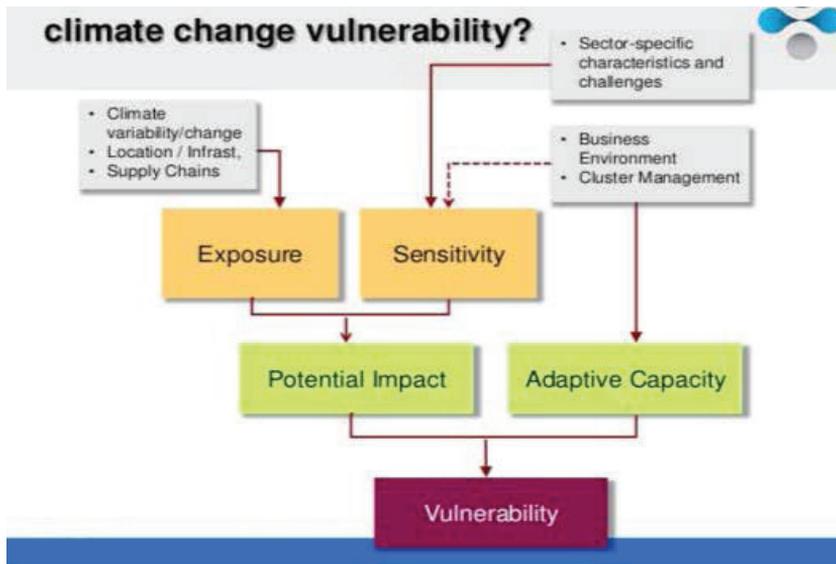


Figure 29. Déterminants des vulnérabilités.

Source : Schoen, 2015



Résumé

Au cours de cette session, nous avons été édifiés sur le concept et les composantes de la vulnérabilité. La session a expliqué comment l'exposition, la sensibilité, la capacité d'adaptation et d'autres déterminants influencent la façon dont un écosystème (par exemple la forêt) ou les sociétés sont touchés par le changement climatique. Au cours de la prochaine session, nous examinerons les approches de l'évaluation de la vulnérabilité au changement climatique

4.15 Méthodes d'évaluation de la vulnérabilité

Cette session présente les approches de l'évaluation de la vulnérabilité et la manière dont les résultats pourraient influencer les actions politiques.



Objectifs

À la fin de cette session, l'apprenant sera capable de :

- Décrire les principes utiles pour l'évaluation de la vulnérabilité climatique ; et,
- Décrire les mesures politiques prévues pour le changement climatique.



Activité 1 (Remue-méninges) (20 minutes)

Identifier un article ou un rapport sur l'évaluation de la vulnérabilité climatique.
En fonction des résultats, proposer des politiques ou des mesures correctives.

L'évaluation de la vulnérabilité au changement climatique est importante pour définir les risques posés et fournir des informations permettant d'identifier les mesures d'adaptation aux impacts. La diversité des concepts de vulnérabilité a donné lieu à une variété d'approches méthodologiques et d'outils qui ont évolué pour l'évaluer. Les évaluations de la vulnérabilité peuvent, par exemple, varier en fonction de l'approche méthodologique (p. ex. expérimental, modélisation, méta-analyse, fondé sur des enquêtes), l'intégration des sciences naturelles et sociales, l'orientation des politiques, l'horizon temporel (court à long terme), l'échelle spatiale (ferme, niveau local, national, régional, mondial), la prise en compte des incertitudes et le degré de participation des intervenants. En général, les méthodes appliquées pour évaluer la vulnérabilité sont axées sur l'utilisation d'indicateurs, d'approches de modélisation et d'intervenants. Pour opérationnaliser les indicateurs, on utilise un ensemble de signes composites ou substitutifs. En se fondant sur les trois composantes de la vulnérabilité (exposition, sensibilité et capacité d'adaptation), des indices appropriés sont élaborés pour faciliter leur évaluation. Les indicateurs utilisés pour les composants comprennent des sources biophysiques (principalement pour l'exposition et la sensibilité) et socio-économiques (principalement pour la capacité d'adaptation). Toutefois, il convient de noter que la vulnérabilité est une mesure relative plutôt qu'une mesure qui peut être exprimée en termes absolus. Comme la vulnérabilité est spécifique au contexte, c'est tout un défi de proposer des indicateurs standardisés. En tant que tel, l'élaboration d'indicateurs devrait être effectuée au niveau local où les personnes, les régions ou les secteurs vulnérables peuvent être définis de manière étroite.



Activité 2 (Discussion en petits groupes) (20 minutes)

En considérant un écosystème, développer des indicateurs à utiliser pour évaluer sa vulnérabilité. Développer une autre approche qui pourrait être utilisée pour évaluer la vulnérabilité des communautés vivant à proximité de l'écosystème considéré.

Une autre approche de l'évaluation de la vulnérabilité consiste à construire des modèles empiriques. Cela se fait lorsque des observations sont disponibles sur un phénomène (par exemple les incendies de forêt) et les variables explicatives possibles (par exemple le climat ou les activités humaines). Cela aide à établir une relation entre un impact observé et des variables explicatives et peut être utilisé pour tester les effets des changements (par exemple, le changement climatique ou les pratiques d'adaptation) sur le phénomène. Les modèles peuvent être construits avec des approches statistiques simples ou des méthodes plus élaborées, telles que la méta-analyse (combinant les résultats quantitatifs de différentes études) et l'exploration de données (tri à travers de grands ensembles de données et sélection d'informations pertinentes). Des exemples de modèles d'écosystèmes forestiers pour l'évaluation de la

vulnérabilité comprennent les modèles bioclimatiques (évaluation des impacts du changement climatique sur les espèces ou les écosystèmes), les modèles biogéochimiques (étude des effets sur le fonctionnement des écosystèmes, en particulier les flux de carbone, d'eau et d'énergie), l'équilibre modèles et modèles dynamiques (les modèles d'écosystème les plus avancés). En général, les approches statistiques ont l'avantage de nécessiter moins de données que les problèmes de simulation.

L'application de méthodes d'évaluation de la vulnérabilité nécessite l'implication des parties prenantes. Des méthodes participatives sont appliquées pour obtenir une documentation de première main sur la vulnérabilité due aux conditions sociales et aux stimuli physiques du point de vue des membres de la communauté. De même, lorsque les données quantitatives ne sont pas disponibles, les avis d'experts des parties prenantes offrent d'autres sources d'information.

La Cartographie cognitive (ou cartographie conceptuelle ou modèle mental est un processus structuré qui permet aux participants de produire une carte des concepts ou des idées derrière un sujet de discussion et de décrire comment ces idées sont liées entre elles), le jugement d'experts (obtenir des opinions éclairées de personnes connaissant bien le terrain), le brainstorming, les entretiens ou les enquêtes sont des méthodes utiles pour impliquer les parties prenantes dans l'analyse de la vulnérabilité. Plus important encore, les groupes vulnérables doivent être adéquatement impliqués dans les processus d'élaboration des critères d'évaluation et de conception et de mise en œuvre des plans pour atténuer les problèmes et renforcer la capacité d'adaptation. D'autres approches utilisées dans l'évaluation de la vulnérabilité sont la recherche sur les risques naturels, la recherche sur la sécurité alimentaire et l'analyse de la pauvreté et la recherche sur les moyens de subsistance durables. Une évaluation de la vulnérabilité doit reconnaître et informer sur les incertitudes inhérentes à l'évaluation. Les incertitudes vont du manque de compréhension des systèmes étudiés (par exemple, le manque de connaissances sur le comportement d'un système social face au changement climatique) au manque de certitudes sur les conditions externes (par exemple, les scénarios climatiques ou socio-économiques). Pour y faire face, une analyse d'incertitude doit être menée.



Exercice (10 minutes)

Pourquoi est-il nécessaire de mener des évaluations de la vulnérabilité au changement climatique ?



Résumé

Au cours de cette session, nous avons appris des approches de l'évaluation de la vulnérabilité. La séance a permis de discuter de certains modèles et méthodes pour aider à évaluer la vulnérabilité des écosystèmes et des personnes face au changement climatique. Les approches de la recherche de solutions ont également été mises en évidence. La session suivante porte sur la nature et la variabilité de la vulnérabilité.

4.16 La nature et la variabilité de la vulnérabilité

Cette session de formation traite de la nature et de la variabilité de la vulnérabilité. Elle se focalise sur la vulnérabilité biophysique, socio-économique et des moyens de subsistance face au changement climatique.



Objectifs

À la fin de cette session, l'apprenant sera capable de

- a) Analyser l'impact du changement climatique sur les environnements naturels et construits ; et,
- b) Évaluer les questions transversales (institutionnelles et de gouvernance) pertinentes pour la vulnérabilité au changement climatique.

4.16.1 Vulnérabilité biophysique

Les écosystèmes sont d'une importance fondamentale pour la fonction environnementale et la durabilité, et ils fournissent de nombreux biens et services essentiels aux individus et aux sociétés. Le changement climatique peut affecter les systèmes écologiques, le mélange d'espèces qu'ils contiennent et leur capacité à fournir le large éventail d'avantages dont dépendent les sociétés. Des recherches récentes ont révélé les régions du monde les plus vulnérables et les moins vulnérables au changement climatique. Les régions les plus menacées comprennent l'Asie du sud et du sud-est, l'Europe occidentale et centrale, l'est de l'Amérique du Sud et le sud de l'Australie. Les zones les moins vulnérables, en termes d'impacts climatiques et de dégradation, comprennent le sud de l'Amérique du Sud, le Moyen-Orient, le nord de l'Australie et le sud-ouest de l'Afrique. Le changement climatique modifie les processus biophysiques et biogéochimiques des écosystèmes. Avec l'avènement du changement climatique, la composition des espèces des forêts est susceptible de changer. Dans certaines régions, des types de forêts entières peuvent disparaître, entraînant la création de nouveaux écosystèmes. Des altérations majeures dans d'autres types d'écosystèmes peuvent entraîner une modification de la quantité et de la saisonnalité des précipitations, une augmentation de l'évapotranspiration et une augmentation moyenne de la température, exacerbant la dégradation de l'écosystème (changement de couverture terrestre, pollution). Ce phénomène engendre le déclenchement de plus de catastrophes, tout en réduisant les capacités de la nature et des peuples à résister aux impacts du changement climatique et des catastrophes.

Les changements des conditions climatiques ont des implications sur les composantes physiques des environnements aquatiques et terrestres. La vulnérabilité biologique culmine dans l'altération de la phénologie des espèces, de la structure et de la diversité des communautés, de l'intolérance physiologique à de nouveaux environnements, des changements dans les interactions entre les espèces, la modification des réseaux trophiques et des associations mutuelles (par exemple la pollinisation) et la migration des espèces. L'évolution des climats régionaux et locaux pourrait modifier les reliefs, les modèles de drainage, la recharge des aquifères, les caractéristiques du sol et les régimes de perturbation (par exemple, les incendies, les ravageurs et les maladies), ce qui favoriserait davantage certaines espèces que d'autres. Des changements dans le paysage ou la topographie peuvent entraîner la perte de certaines espèces clés, entraînant une diversité moindre de la flore et de la faune. L'effet du changement climatique sur l'humidité du sol devrait varier non seulement avec le degré de changement mais aussi avec les caractéristiques du sol. La capacité de rétention d'eau du sol affectera les changements possibles des déficits d'humidité du sol (plus la capacité est faible, plus la sensibilité aux changements est grande). Les changements dans l'engorgement de l'eau ou la fissuration des sols pourraient potentiellement endommager les écosystèmes existants ou en créer de nouveaux, car les facteurs édaphiques sont importants pour définir les habitats des espèces individuelles.



Activité 1 (Discussion de groupe) (20 minutes)

Discuter des conséquences de la vulnérabilité démographique sur les stratégies d'atténuation du changement climatique telles que le reboisement.

4.16.2 Vulnérabilité socio-économique et des moyens de subsistance

On s'attend à ce que le changement climatique ait un impact sur les environnements bâtis. Des températures élevées prolongées peuvent entraîner la détérioration des routes et la déformation des voies ferrées. Les aéroports, les routes côtières et les chemins de fer deviennent vulnérables à l'élévation du niveau de la mer. Dans les pays qui dépendent principalement de l'énergie hydroélectrique, le changement climatique pourrait signifier une réduction des niveaux d'eau dans les barrages ou un coût supplémentaire pour l'entretien des barrages en raison du débordement constant. En ce qui concerne les installations humaines, les personnes qui vivent sur des terres arides ou semi-arides, sur des collines escarpées, dans des zones côtières de faible altitude, dans des zones limitées en eau ou inondables, ou sur de petites îles, sont particulièrement vulnérables au changement climatique. Dans certains cas, de nouveaux matériaux de construction ou de nouvelles technologies peuvent être nécessaires. Les impacts du changement climatique sur les installations humaines peuvent être indirects, mais aussi directs. Toutefois, un grand nombre d'effets du changement climatique sur les installations humaines seront probablement ressentis indirectement par le biais d'effets sur d'autres secteurs. En conséquence, les personnes vivant dans les zones marginales peuvent être forcées de migrer vers les zones urbaines si les terres marginales deviennent moins productives en raison des nouvelles conditions climatiques. La gestion de la pollution, de l'assainissement, de l'élimination des déchets, de l'approvisionnement en eau et de la santé publique, ainsi que la mise en place d'infrastructures adéquates dans les zones urbaines, pourraient devenir plus difficiles et plus coûteuses dans des conditions climatiques modifiées.



Question textuelle (10 minutes)

Analysez l'effet du changement climatique sur la migration, le changement des matériaux de construction, la consommation d'énergie et la gestion des déchets.

Le changement climatique pourrait avoir des effets négatifs sur la plupart des secteurs socio-économiques. Compte tenu du secteur forestier, le changement climatique rend les forêts tropicales et les prairies vulnérables à la perte de biodiversité, à la détérioration rapide de la couverture terrestre et à la destruction des bassins versants et des aquifères. Cela implique une perte de biens et de services des écosystèmes forestiers dont beaucoup de nations et d'individus africains sont dépendants. Comme l'agriculture sur le continent est essentiellement pluviale, il est nécessaire de conserver nos forêts intactes afin d'améliorer les cycles des pluies. En ce qui concerne l'agriculture, l'augmentation des températures et la fréquence des sécheresses et des inondations risquent d'affecter la production agricole, ce qui pourrait accroître le nombre de personnes menacées par la faim et l'augmentation des déplacements et des migrations. Le changement climatique interagira avec les contraintes qui résultent des actions visant à augmenter les coûts de production agricole, affectant les rendements et la productivité des cultures de différentes façons, selon les types de pratiques et de systèmes agricoles. Les principaux effets directs se manifesteront à travers des changements dans les facteurs tels que les précipitations et le temps et la durée des saisons des cultures. Le secteur de la pêche pourrait être menacé par la diminution des zones d'alevinage et d'importantes pollutions côtières et littorales, le réchauffement et le refroidissement extrêmes des masses d'eau (phénomènes El Niño et La Nina). La disponibilité de l'eau est une composante

essentielle du bien-être et de la productivité. Le changement climatique pourrait exacerber les pénuries d'eau périodiques et chroniques, en particulier dans les zones arides et semi-arides du monde. Les pays en développement sont très vulnérables au changement climatique car beaucoup d'entre eux sont situés dans des régions arides et semi-arides et la plupart tirent leurs ressources en eau de systèmes à point unique tels que les forages ou les réservoirs isolés. Le changement climatique pourrait augmenter le coût de l'eau à usage domestique et commercial, ce qui pourrait aggraver la vulnérabilité des pauvres.

Pour ce qui est de l'énergie, l'augmentation de la population humaine et les extrêmes de température exigent des dispositifs de chauffage ou de refroidissement qui augmentent la demande en énergie. À l'heure actuelle, la majeure partie de la production d'énergie contribue au changement climatique. Les changements projetés sont susceptibles de modifier l'état de santé de millions de personnes, en augmentant le nombre de décès, de maladies et de blessures dus aux vagues de chaleur, à la pollution atmosphérique urbaine, aux inondations, aux tempêtes, aux incendies et aux sécheresses. La malnutrition accrue dans certaines régions accroîtra la vulnérabilité à la résurgence des maladies transmises par des vecteurs et des maladies infectieuses, telles que la dengue, le paludisme, l'hantavirus et le choléra. L'une des industries africaines à la croissance la plus rapide est le tourisme. Le tourisme est tributaire de la faune, des réserves naturelles, des stations côtières et d'un approvisionnement en eau abondant pour les loisirs. L'impact potentiel du changement climatique sur ce secteur sous forme de sécheresse dévasterait la faune et la flore sauvages et réduirait l'attrait de certaines réserves naturelles, réduisant ainsi les revenus tirés du tourisme. Les stations côtières seraient également sujettes aux inondations. En général, le changement climatique a des répercussions sur les ressources ou les matières premières dont les populations ont besoin pour s'adonner à leurs activités de subsistance.



Activité 2 (Discussion en petits groupes) (20 minutes)

Identifiez certains moyens de subsistance basés sur la forêt. Discutez des ramifications d'une éventuelle pénurie de matières premières sur le niveau de vie des communautés marginales et sur la GDF.



Question d'exercice (10 minutes)

En réfléchissant à certaines des politiques en matière de ressources naturelles de votre pays, évaluez certaines des dispositions qui empêchent les populations de s'adapter.

La vulnérabilité socio-économique et des moyens de subsistance en Afrique et dans la plupart du monde est le résultat de tensions multiples et de faibles capacités d'adaptation, résultant de la pauvreté, de la marginalisation, de l'inégalité, de la faiblesse des institutions, et des catastrophes complexes et des conflits associés. Les différents groupes et lieux au sein des pays diffèrent dans leur sensibilité à la vulnérabilité climatique et les divisions entre les riches et les pauvres se traduisent par des différences dans la capacité des populations à s'adapter.

Pour surmonter les contraintes liées à la vulnérabilité au changement climatique, il faut des avancées technologiques, des dispositions institutionnelles, la disponibilité de financements, l'autonomisation des femmes et des pauvres dans la société ainsi que l'échange d'informations. Il est nécessaire de revoir les dispositions institutionnelles et de gouvernance qui rendent difficiles l'adaptation des populations.

L'adaptation aux pénuries et/ou la mise en œuvre de mesures d'adaptation imposera un lourd fardeau aux économies nationales. Il faut tenir compte des politiques et des conditions économiques (par exemple les impôts, les subventions et les réglementations) qui déterminent la prise de décisions par le secteur privé, les stratégies de développement et les modes d'utilisation des ressources. Par exemple, l'eau est subventionnée dans de nombreux pays, ce qui encourage la surexploitation (gaspillage) et

décourage la conservation. Dans un tel scénario, une série d'approches, notamment le renforcement des cadres juridiques et institutionnels, la suppression des distorsions préexistantes du marché (par exemple, les subventions), la correction des défaillances du marché (par exemple, la non prise en compte des dommages causés à l'environnement ou de l'épuisement des ressources dans les prix ou d'une évaluation économique inadéquate de la biodiversité), et la promotion de l'éducation et de la contribution du public.



Résumé

Au cours de cette session, nous avons appris à connaître la nature et la variabilité de la vulnérabilité. La session a expliqué comment les écosystèmes et les facteurs socio-économiques sont influencés par le changement climatique. Au cours de la prochaine session, nous examinerons les risques liés au changement climatique, la gestion et la réduction des catastrophes.

4.17 Gestion et réduction des risques et des catastrophes liés au changement climatique

Cette session de formation présente les risques liés au changement climatique, la gestion et la prévention des catastrophes. Elle définit les concepts de gestion des risques et des catastrophes, explique les facteurs météorologiques qui contribuent aux catastrophes et discute des stratégies de réduction des risques de catastrophes liées au changement climatique.



Objectifs

À la fin de cette session, l'apprenant sera en mesure de :

- Expliquer les concepts clés de la gestion des risques et des catastrophes ;
- Décrire comment les facteurs météorologiques contribuent aux risques et aux catastrophes liés au changement climatique
- Explorer des stratégies de réduction des risques de catastrophes liées au changement climatique.



Activité 1 (Remue-méninges) (20 minutes)

Quels rôles les parties prenantes, en particulier les médias, pourraient-elles jouer dans les risques liés au changement climatique, dans la gestion et la prévention des catastrophes ?

4.17.1 Définitions des concepts en matière de gestion des risques et des catastrophes

Le risque de changement climatique résulte de la vulnérabilité climatique qui affecte les systèmes naturels et humains. Le risque pourrait prendre la forme d'une augmentation continue de la température, d'événements météorologiques extrêmes, de mauvaises récoltes, d'une fonte des calottes polaires, de changements dans les écosystèmes ou de maladies. Le changement climatique et la gestion des risques de catastrophes sont étroitement liés. Les catastrophes sous-entendent des altérations dans le fonctionnement normal d'une communauté ou d'une société en raison d'événements physiques dangereux qui interagissent avec des conditions sociales vulnérables, entraînant ainsi des effets néfastes généralisés humains, matériels, économiques ou environnementaux qui nécessitent une intervention urgente et immédiate (qui peuvent nécessiter un soutien externe pour la reprise). Les événements dangereux mentionnés dans la définition d'une « catastrophe » peuvent être d'origine naturelle, socio-naturelle (résultant de la dégradation ou de la transformation de l'environnement par l'homme) ou purement anthropique. La survenue d'une catastrophe est toujours précédée par l'existence de conditions physiques et sociales spécifiques, généralement appelées risques de catastrophe (probabilité d'une catastrophe sur une période donnée). Pour mieux comprendre la notion de risque de catastrophe, il est important d'examiner les notions de danger, de vulnérabilité et d'exposition. En raison des effets négatifs des catastrophes, il est nécessaire de mettre en place des mesures pour prévenir ou améliorer ces effets. La gestion des risques de catastrophe est une mesure prise pour réduire les risques et les effets néfastes des risques naturels, par des efforts systématiques d'analyse et de gestion des causes des catastrophes, notamment en évitant les risques, en réduisant la vulnérabilité sociale et économique aux risques et en améliorant la préparation aux catastrophes (figure 30). Elle comprend des processus pour concevoir, mettre en œuvre et évaluer des stratégies, des politiques et des mesures visant à améliorer la compréhension des risques de catastrophe, à favoriser la réduction et le transfert des risques de catastrophe et à promouvoir l'amélioration continue des pratiques de préparation, d'intervention et de

reprise en cas de catastrophe. Les objectifs explicites sont d'accroître la sécurité humaine, le bien-être, la qualité de vie et le développement durable. La gestion des risques de catastrophe est appliquée à des niveaux et intensités différentes. En d'autres termes, elle ne se limite pas à un «manuel» pour la gestion des risques ou des catastrophes associés aux événements extrêmes, mais comprend plutôt le cadre conceptuel qui décrit et anticipe l'intervention dans les schémas, échelles et niveaux globaux et divers d'interaction de l'exposition, du danger et de la vulnérabilité qui peuvent conduire à la catastrophe.

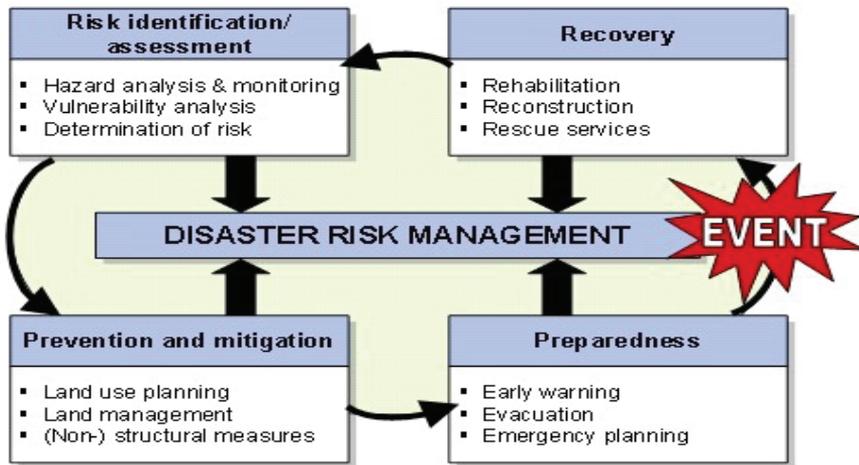


Figure 30. Gestion des risques de catastrophes



Question textuelle (10 minutes)

Dans quelle mesure les pays africains sont-ils préparés à la gestion et à la prévention des catastrophes liées au changement climatique ?

Dans le cadre de la gestion des risques de catastrophes, les systèmes d'alerte précoce sont essentiels. Il s'agit d'un ensemble de mesures nécessaires pour générer et diffuser des informations d'alerte pertinentes et à jour aux personnes, communautés et organisations menacées par un danger afin qu'elles puissent se préparer et agir de manière appropriée et à temps pour réduire la possibilité de dommages ou de pertes. Des moyens de communication de masse efficaces (par exemple, la radio, la télévision) sont nécessaires.

Les événements extrêmes dus au changement climatique tels que les catastrophes liées aux conditions météorologiques, ainsi que les changements lents comme l'élévation du niveau de la mer, menacent le développement durable et la résilience, compromettent le développement socio-économique et renforcent les cycles de la pauvreté dans le monde. Comme les risques pèsent souvent plus lourdement sur ceux qui sont le moins en mesure de les réduire ou de s'en remettre, les personnes et les pays les plus vulnérables ont besoin d'une assistance particulière. Les impacts du changement climatique peuvent freiner le développement en augmentant non seulement l'incidence, mais aussi la gravité de la pauvreté. Les impacts climatiques sapent la résilience et la capacité de récupérer et d'absorber les pertes dues à ces événements, en particulier celles des pays pauvres et de leurs citoyens, en réduisant leur productivité agricole, en affaiblissant la sécurité alimentaire et de l'approvisionnement en eau, en augmentant l'incidence des maladies, en menaçant les infrastructures existantes, la productivité

économique et les chaînes de valeur.



Activité 2 (Remue-méninges) (20 minutes)

- De quelle manière la résilience climatique pourrait-elle être renforcée par l'assurance risque dans les économies africaines ?
- Discutez des moyens par lesquels les gouvernements africains pourraient faire participer leurs citoyens aux régimes d'assurance climatique.

L'absence de filets de sécurité économique susceptibles d'amortir l'impact négatif de ces catastrophes reste très préoccupante. Pour accroître la résilience des sociétés et des personnes les plus vulnérables au changement climatique, il faut une certaine assurance contre les risques. Cette assurance est un instrument essentiel dans le cadre d'un système global de gestion des risques climatiques, qui couvre un vaste ensemble de préventions, réduction des risques, rétention des risques et transfert des risques. L'assurance contre les risques climatiques peut jouer de nombreux rôles aux niveaux individuel, communautaire, national, régional (international) et mondial en offrant une sécurité contre la perte de biens, de moyens de subsistance et même de vies, par exemple : en garantissant des secours fiables et dignes après les catastrophes ; en mettant en place des mesures d'incitation à la prévention ; en offrant de la certitude aux investissements publics et privés affectés par les intempéries ; en atténuant la pauvreté liée aux catastrophes et en stimulant le développement économique. Les solutions liées à l'assurance facilitent l'évaluation du potentiel de pertes et de dommages comme condition préalable à l'identification des besoins et des priorités politiques. L'assurance aide à fournir un financement rapide et fiable pour couvrir les pertes et les dommages, en particulier par rapport à d'autres options de financement ad hoc après la catastrophe, telles que l'aide, les prêts et l'assistance familiale. Les clients de l'assurance peuvent avoir accès à des indemnités appropriées pour acheter de la nourriture et se remettre sur pied tout en évitant les pièges de la pauvreté. Les versements peuvent aider les gouvernements à éviter les déficits budgétaires et les prêts coûteux après les catastrophes, et à prendre rapidement des mesures, par exemple pour aider les pauvres qui sont les plus touchés par les catastrophes. Dans ce contexte, les marchés de l'assurance contre les risques climatiques ont été stimulés pour une utilisation efficace et intelligente des régimes d'assurance pour les personnes et les biens à risque dans les pays en développement. C'est ainsi que l'Initiative de Munich sur l'assurance climatique (MCII) a été créée pour rechercher, concevoir et mettre en œuvre des solutions d'assurance et en surveiller les effets.



Question textuelle (10 minutes)

Les institutions financières en Afrique sont-elles prêtes à offrir des régimes d'assurance climatique ?
Quelles alternatives les institutions peuvent-elles mettre en place pour offrir cette opportunité ?

4.17.2 Facteurs météorologiques dans les risques et catastrophes liés au changement climatique

La météo est l'ensemble des conditions météorologiques (vent, pluie, neige, soleil, température, etc.) à un moment et un endroit précis. On s'attend à ce que le type, la fréquence et l'intensité de certains événements météorologiques changent à mesure que le climat de la Terre change. Les conditions météorologiques sévères posent des risques pour les écosystèmes et la vie. Le changement climatique pourrait affecter la formation des tempêtes en diminuant la différence de température entre les pôles et l'équateur. Cette différence de température alimente les tempêtes des latitudes moyennes qui touchent les régions les plus peuplées de la Terre. Des températures plus chaudes pourraient augmenter la

quantité de vapeur d'eau qui entre dans l'atmosphère. Le résultat est un environnement plus chaud et plus humide. Comme les températures continuent d'augmenter, de plus en plus de vapeur d'eau pourrait s'évaporer dans l'atmosphère, et la vapeur d'eau est le carburant des tempêtes. Une atmosphère plus chaude et plus humide pourrait également rendre les ouragans et les tempêtes tropicales plus intenses, plus durables, déclencher des vents plus forts et causer plus de dommages, en particulier aux écosystèmes et aux communautés côtières. Encore une fois, à cause des températures plus chaudes, les glaciers et les calottes glaciaires fondront, provoquant l'élévation du niveau de la mer. Les effets du réchauffement et du refroidissement climatique culminent avec le phénomène El Niño et La Nina.

Une autre variable météorologique est la pluie. De fortes pluies peuvent entraîner un certain nombre de risques, dont la plupart sont des inondations ou des risques résultant d'inondations. Les plantes et les cultures dans les zones agricoles peuvent être détruites par la force des eaux déchainées. L'érosion du sol peut également se produire, conduisant à des risques de glissement de terrain et réduisant la fertilité des terres agricoles. Les inondations peuvent également se propager et produire des maladies transmises par l'eau et les insectes (paludisme, choléra, typhoïde, rhume, etc.). Les changements dans le calendrier et la résurgence des saisons des pluies sont un autre effet du changement climatique qui pose un risque de catastrophes. La sécheresse (une longue période de temps sec) est une autre forme de conditions météorologiques extrêmes. Les sécheresses ont des effets divers. Elles font échouer les cultures, épuisent gravement les ressources en eau et augmentent de manière significative le risque de feux de forêt.

Les vagues de chaleur (des périodes prolongées de chaleur excessive) contribuent également aux catastrophes. Elles sont extrêmement dangereuses pour les humains et les animaux. Des épisodes de chaleur extrême plus fréquents et plus intenses peuvent accroître les maladies et les décès, en particulier parmi les populations vulnérables, et endommager certaines cultures.

L'harmattan est un facteur météorologique plus courant dans les pays d'Afrique de l'Ouest. La saison de l'harmattan (alizé du Nord-Est) est caractérisée par un vent froid, sec et poussiéreux, et aussi par une large fluctuation dans les températures entre le jour et la nuit. L'harmattan apporte des conditions météorologiques semblables à celles du désert, abaissant l'humidité, dissipant la couverture nuageuse, empêchant la formation de pluie et créant parfois de gros nuages de poussière qui peuvent entraîner des tempêtes de poussière ou des tempêtes de sable. La saison augmente les risques de feux, provoque de graves dommages aux cultures, des saignements de nez, des infections cutanées et des maladies respiratoires (aggravation de l'asthme). L'interaction de l'harmattan avec les vents de mousson peut provoquer des tornades.



Question d'exercice (10 minutes)

Quels pays africains étaient présents à la conférence mondiale sur la prévention des catastrophes à Kobe

La tempête de poussière (une forme inhabituelle de tempête de vent qui se caractérise par de grandes quantités de particules de sable et de poussière transportées par l'air en mouvement) est un autre facteur de catastrophe. Elles se développent pendant les périodes de sécheresse, ou dans les régions arides et semi-arides. Les tempêtes de poussière présentent de nombreux dangers et sont capable de causer des morts. Par exemple, la visibilité peut être considérablement réduite, ce qui augmente les risques d'accidents de véhicules et d'avions. De plus, les particules peuvent réduire l'apport en oxygène dans les poumons, ce qui peut entraîner une suffocation. Les yeux peuvent également être endommagés par l'abrasion. Les plans d'eau peuvent être pollués par la sédimentation de la poussière et du sable, ce qui tue les organismes aquatiques. La diminution de l'ensoleillement peut affecter la croissance des plantes.

4.17.3 Stratégies de réduction des risques de catastrophes liées au changement climatique

La réduction des risques de catastrophes peut être définie comme «les mesures prises pour réduire les risques de catastrophes et les effets néfastes des risques naturels, grâce à des efforts systématiques d'analyse et de gestion des causes des catastrophes, notamment en évitant les dangers, en réduisant la vulnérabilité sociale et économique aux dangers et en améliorant la préparation aux événements indésirables». En janvier 2005, à l'issue de la Conférence mondiale sur la prévention des catastrophes (à Kobe, au Japon, à laquelle ont participé 168 pays), la communauté internationale travaillant sur la RRC (réduction des risques de catastrophe) a adopté le Cadre d'Action de Hyogo (CAH).

Le CAH est l'instrument clé de la mise en œuvre de la réduction des risques de catastrophes, adopté par les États membres de l'ONU. Ce plan est l'instrument mondial clé pour guider la mise en œuvre de la RRC à tous les niveaux de la société. Son objectif principal est de renforcer la résilience des nations et des communautés face aux catastrophes, en parvenant à réduire de manière significative les pertes en vies humaines et en biens sociaux, économiques et environnementaux des communautés et des pays d'ici 2015. Le CAH propose cinq domaines d'action prioritaires, des principes directeurs et des moyens pratiques pour assurer la résilience des collectivités vulnérables aux catastrophes dans le contexte du développement durable. Depuis l'adoption du CAH, de nombreux efforts mondiaux, régionaux, nationaux et locaux ont abordé la réduction des risques de catastrophes de manière plus systématique. Il reste cependant beaucoup à faire. De nombreux organismes régionaux ont formulé des stratégies à l'échelle régionale pour la réduction des risques de catastrophes conformément au CAH : la région des Andes, l'Amérique centrale, les Caraïbes, l'Asie, le Pacifique, l'Afrique et l'Europe. Les priorités d'action sont présentées ci-dessous :

- **Veiller à ce que la réduction des risques de catastrophe soit une priorité nationale et locale et qu'elle repose sur une base intrinsèque solide pour sa mise en œuvre**

Des engagements nationaux et locaux forts sont nécessaires pour sauver des vies et des moyens de subsistance menacés par les risques naturels. Les risques naturels doivent être pris en compte dans la prise de décisions des secteurs public et privé de la même manière que les évaluations d'impact environnemental et social sont actuellement requises. Les pays doivent donc avoir des politiques, des lois et des arrangements organisationnels, ainsi que des plans, des programmes et des projets, pour intégrer la réduction des risques de catastrophes. Ils doivent également allouer des ressources suffisantes pour les soutenir et les maintenir, notamment : créer des plateformes nationales multisectorielles efficaces pour fournir des orientations et coordonner les activités ; intégrer la réduction des risques de catastrophes dans les politiques et la planification du développement, telles que les stratégies de réduction de la pauvreté ; et assurer la participation de la collectivité.

- **Identifier, évaluer et surveiller les risques de catastrophes et améliorer l'alerte rapide**

Pour réduire la vulnérabilité aux risques naturels, les pays et les communautés doivent connaître les risques auxquels ils sont confrontés et prendre des mesures fondées sur ces connaissances. Comprendre le risque exige d'investir dans des capacités scientifiques, techniques et institutionnelles pour observer, enregistrer, rechercher, analyser, prévoir, modéliser et cartographier les risques naturels. Il faut mettre au point et diffuser des outils. Les informations statistiques sur les catastrophes, les cartes des risques, la vulnérabilité aux catastrophes et les indicateurs de risques sont essentiels. Les pays doivent utiliser ces connaissances pour élaborer des systèmes d'alerte rapide efficaces, adaptés aux circonstances particulières des personnes à risque. L'alerte précoce est largement acceptée comme une composante cruciale de la réduction des risques de catastrophes. Lorsque des systèmes d'alerte précoce efficaces fournissent des informations sur un danger à une population vulnérable, et que des plans sont mis en place pour réagir, des milliers de vies peuvent être sauvées.

- **Utiliser les connaissances, l'innovation et l'éducation pour construire une culture de la sécurité et de la résilience à tous les niveaux**

Les catastrophes peuvent être considérablement réduites si les gens sont bien informés sur les mesures qu'ils peuvent prendre pour réduire leur vulnérabilité et s'ils sont motivés pour agir. Les principales activités de sensibilisation à la prévention des catastrophes sont les suivantes : fournir des informations pertinentes sur les risques de catastrophes et les moyens de protection, en particulier pour les citoyens des zones à haut risque ; renforcer les réseaux et promouvoir le dialogue et la coopération entre les experts en catastrophes, les spécialistes techniques et scientifiques, les planificateurs et les autres parties prenantes ; inclure la question de la réduction des risques de catastrophes dans les activités d'éducation et de formation formelles et informelles ; élaborer ou renforcer les programmes communautaires de gestion des risques de catastrophes ; et collaborer avec les médias dans le cadre des activités de sensibilisation à la réduction des risques de catastrophes. Les connaissances locales sont essentielles pour la prévention des catastrophes.

- **Réduire les facteurs de risque sous-jacents**

La vulnérabilité aux risques naturels est accrue de plusieurs façons, par exemple : la localisation des communautés dans les zones exposées aux risques, comme les plaines inondables ; la destruction des forêts et des zones humides, ce qui nuit à la capacité de l'environnement à résister aux dangers ; la construction d'installations publiques et de logements incapables de résister aux effets des dangers ; et le fait de ne pas avoir de mécanismes de sécurité sociale et financière en place. Les pays peuvent renforcer leur résilience face aux catastrophes en investissant dans des mesures simples et bien connues pour réduire les risques et la vulnérabilité. On peut réduire les catastrophes en appliquant les normes de construction pertinentes pour protéger les infrastructures essentielles, comme les écoles, les hôpitaux et les maisons. Les bâtiments vulnérables peuvent être aménagés de façon plus sûre. La protection des écosystèmes précieux, tels que les récifs coralliens et les forêts de mangroves, leur permet d'agir comme des barrières naturelles contre les tempêtes. Des initiatives efficaces en matière d'assurance et de microfinance peuvent aider à transférer les risques et à fournir des ressources supplémentaires.

- **Renforcer la préparation aux catastrophes pour une réponse efficace à tous les niveaux**

La préparation, y compris la réalisation d'évaluations des risques, avant d'investir dans le développement à tous les niveaux de la société permettra aux individus de devenir plus résistants aux risques naturels. Il s'agit de mettre au point des plans d'urgence et de les tester régulièrement ; la création de fonds d'urgence pour appuyer les activités de préparation, d'intervention et de relèvement ; élaborer des approches régionales coordonnées pour une intervention efficace en cas de catastrophes ; et un dialogue continu entre les organismes, les planificateurs, les décideurs et les organismes de développement. Des exercices réguliers de préparation aux catastrophes, y compris des exercices d'évacuation, sont également essentiels pour assurer une intervention rapide et efficace en cas de catastrophes. Les risques naturels ne peuvent être prévenus, mais il est possible de réduire leurs effets en réduisant la vulnérabilité des personnes et de leurs moyens de subsistance.



Questions textuelles (10 minutes)

- 1) Quel est le niveau de sensibilisation des communautés locales sur le CAH ?
- 2) Dans quelle mesure la capacité des communautés a-t-elle été suffisamment renforcée pour mener à bien la réduction des risques de catastrophes climatiques ?

4.17.4 Qui est responsable de la mise en œuvre de la réduction des risques de catastrophe et du Cadre de Hyogo?

La collaboration et la coopération sont essentielles à la réduction des risques de catastrophes. Les États, les organisations et institutions régionales et les organisations internationales ont tous un rôle à jouer. La société civile, y compris les bénévoles, les organisations communautaires, la communauté scientifique, les médias et le secteur privé, sont tous des acteurs essentiels. Les États sont chargés de mettre en place des mécanismes nationaux de coordination, de procéder à des évaluations de base sur l'état de la réduction des risques, de publier et d'actualiser des résumés des programmes nationaux, d'examiner les progrès accomplis au niveau national dans la réalisation des objectifs et des priorités du CAH, de s'employer à mettre en œuvre les instruments juridiques internationaux pertinents et d'intégrer la réduction des risques de catastrophes aux stratégies relatives au changement climatique.

Les organisations régionales sont chargées de promouvoir les programmes régionaux de réduction des risques de catastrophes, d'entreprendre et de publier des évaluations de base régionales et sous régionales, de coordonner les examens des progrès accomplis dans la mise en œuvre du CAH dans la région, de créer des centres régionaux de collaboration et de soutenir la mise en place de mécanismes régionaux d'alerte rapide. Les organisations internationales sont chargées d'encourager l'intégration de la réduction des risques de catastrophes dans les programmes et cadres de développement humanitaire et durable, de renforcer la capacité du système des Nations Unies, d'aider les pays sujets aux catastrophes par des initiatives de réduction des risques de catastrophes, d'appuyer la collecte et la prévision de données, l'échange d'informations et les systèmes d'alerte rapide, d'appuyer les efforts des États eux-mêmes par une assistance internationale coordonnée et de renforcer la formation et le renforcement des capacités en matière de gestion des catastrophes. Le système de la SIPC (Stratégie internationale pour la prévention des catastrophes) est chargé d'élaborer une matrice des rôles et des initiatives liés au CAH, de faciliter la coordination des actions aux niveaux international et régional, d'élaborer des indicateurs de progrès pour aider les États à suivre leurs progrès dans la mise en œuvre du CAH, de soutenir les plateformes nationales et les mécanismes de coordination, de stimuler l'échange des meilleures pratiques et des enseignements tirés et de préparer des examens sur les progrès accomplis dans la réalisation du CAH.

La résolution 66/199 de l'Assemblée générale des Nations Unies a demandé à la SIPC de faciliter l'élaboration d'un cadre de réduction des risques de catastrophe pour l'après-2015. A la fin du CAH (2005-2015), il est devenu important de définir une approche et d'orienter les discussions sur un cadre international pour la réduction des risques de catastrophes et la résilience. Par la suite, le Cadre de Sendai pour la réduction des risques de catastrophes 2015-2030 a été adopté par les États membres de l'ONU (mars 2015) et contient sept objectifs et quatre priorités d'action. Les objectifs sont les suivants :

- 1) Réduire de manière substantielle la mortalité mondiale due aux catastrophes d'ici 2030, en visant une réduction de la mortalité mondiale moyenne de 100 000 personnes entre 2020 et 2030 par rapport à 2005-2015 ;
- 2) Réduire sensiblement le nombre de personnes touchées dans le monde d'ici 2030, en visant une baisse du chiffre moyen mondial de 100 000 personnes entre 2020-2030 par rapport à 2005-2015 ;
- 3) Réduire les pertes économiques directes liées aux catastrophes par rapport au produit intérieur brut (PIB) mondial d'ici à 2030 ;
- 4) Réduire considérablement les dommages causés par les catastrophes aux infrastructures essentielles et les perturbations des services de base, notamment les établissements de santé et d'enseignement, y compris en développant leur résilience d'ici à 2030 ;
- 5) Augmenter sensiblement le nombre de pays dotés de stratégies nationales et locales de réduction des risques de catastrophes d'ici à 2020 ;

- 6) Renforcer considérablement la coopération internationale en faveur des pays en développement par un soutien adéquat et durable pour compléter les actions nationales de mise en œuvre du présent cadre d'ici à 2030 ; et,
- 7) D'ici à 2030, accroître sensiblement la disponibilité et l'accessibilité des systèmes d'alerte rapide multirisques et des informations et évaluations des risques de catastrophes pour les populations.

Les priorités sont les suivantes :

Priorité 1 : comprendre les risques de catastrophes ;

Priorité 2 : renforcer la maîtrise des risques de catastrophes pour gérer les éventuelles catastrophes ;

Priorité 3 : investir dans la réduction des risques de catastrophes pour la résilience ; et,

Priorité 4 : améliorer la préparation aux catastrophes pour une réponse efficace et pour mieux reconstruire dans le cadre de la reprise, de la réhabilitation et de la reconstruction.

4.17.5 La réduction des risques de catastrophes et le processus de la CCNUCC

Les parties à la CCNUCC ont reconnu que les connaissances et les capacités existantes pour faire face aux phénomènes météorologiques extrêmes doivent être exploitées pour s'adapter au changement climatique. Les orientations du Plan d'action de Bali en matière d'adaptation appellent à envisager des stratégies de gestion et de réduction des risques, y compris des mécanismes de partage et de transfert des risques tels que l'assurance. Bon nombre des principes généraux et des exigences en matière d'adaptation qui sont énumérés dans le Plan d'action de Bali sont très pertinents pour la réduction des risques de catastrophes, en particulier les évaluations de la vulnérabilité, le renforcement des capacités et les stratégies d'intervention, ainsi que l'intégration des mesures dans la planification sectorielle et nationale. Dans le domaine de changement climatique, un solide renforcement des capacités peut prendre la forme d'une formation spécifique au niveau communautaire jusqu'à une assistance technique pour les ministères ou les institutions gouvernementales cibles. Il s'agit notamment de renforcer les capacités individuelles et institutionnelles d'analyse, de prévision des impacts et d'évaluation de la vulnérabilité (comme la collecte et l'analyse des données météorologiques), de suivi et d'observation, d'évaluation des risques, d'analyse coûts-bénéfices des différentes options de développement. La création de bases de données pour la diffusion d'informations et la formation à l'action sur le changement climatique est essentielle. Ces informations sont nécessaires pour la prise de décisions, l'amélioration des capacités d'analyse, la gestion des connaissances, la diffusion des activités et la mise en œuvre de projets pilotes.

Le processus de la CCNUCC pour la réduction des risques de catastrophes met également l'accent sur un soutien accru pour accélérer le transfert de technologies écologiquement rationnelles tant pour l'adaptation que pour l'atténuation. Dans de nombreux cas, les gens s'adapteront au changement climatique simplement en modifiant leur comportement, en se déplaçant à un autre endroit ou en changeant de métier. Mais souvent, ils emploieront différentes formes de technologie, qu'il s'agisse de technologies « de pointe », telles que les nouveaux systèmes d'irrigation ou les semences résistant à la sécheresse, ou de « savoir-faire », comme les régimes d'assurance ou les schémas de rotation des cultures ou la combinaison de technologies de pointe et de savoir-faire, tels que les systèmes d'alerte précoce qui combinent des dispositifs de mesure de pointe avec des connaissances et des compétences non techniques qui peuvent susciter une prise de conscience et stimuler une action appropriée. Les sociétés peuvent également tirer parti de technologies telles que les systèmes d'observation de la Terre qui peuvent fournir des prévisions météorologiques plus précises.

Les approches et les stratégies entreprises dans le cadre de la CCNUCC en matière de réduction des risques de catastrophes liées au changement climatique sont résumées ci-après :

- Développer des mécanismes nationaux de coordination pour relier la réduction des risques de catastrophes et l'adaptation.

Cela peut se faire en organisant des réunions de consultation interdépartementales et nationales avec le personnel des domaines de la réduction des risques de catastrophes, du changement climatique et du développement, en établissant des liens formels entre la plateforme nationale pour la réduction des risques de catastrophes et l'équipe nationale du changement climatique, et en encourageant un dialogue et un échange d'informations systématiques entre les organes, les points focaux et les experts du changement climatique et de la prévention des catastrophes.

- Effectuer une évaluation de base sur l'état d'avancement des efforts de réduction des risques de catastrophes et d'adaptation au changement climatique.
- Cela suppose que les pays s'efforcent de recueillir et de résumer les informations nationales sur les risques, notamment les données socioéconomiques concernant la vulnérabilité et les capacités institutionnelles, ainsi que l'examen des politiques existantes pertinentes, en particulier les stratégies de développement et les plans sectoriels, la mise en œuvre du CAH, les programmes d'adaptation et les mécanismes de transfert des risques.

Préparer des plans d'adaptation en s'appuyant sur le CAH.

Sur la base de l'évaluation des besoins et des lacunes, cette tâche pourrait inclure l'élaboration conjointe d'un plan de prévention des catastrophes et d'un plan d'adaptation. Elle devrait s'appuyer sur les plans d'action nationaux d'adaptation, le cas échéant, et sur d'autres initiatives d'adaptation, et devrait utiliser les concepts et le langage du CAH le cas échéant, idéalement en agissant sur les cinq priorités du CAH, afin d'assurer une approche globale, intégrée et systématique de l'adaptation.

- En reconnaissant que le changement climatique affecte beaucoup plus et plus que jamais les communautés vulnérables, les stratégies suivantes devraient être prises en compte dans l'élaboration et la mise en œuvre des stratégies et programmes nationaux de réduction des risques de catastrophes :
- Donner la priorité aux efforts d'adaptation dans les communautés où la vulnérabilité est la plus élevée et où le besoin de sécurité et de résilience est le plus grand ;
- Intégrer les tendances attendues en matière de changement climatique dans l'évaluation des risques et de la vulnérabilité sur la base de la variabilité actuelle du climat afin d'élaborer des stratégies efficaces à court, moyen et long terme pour renforcer les capacités d'intervention et la préparation, ainsi que pour réduire les risques et promouvoir une adaptation efficace ;
- Intégrer pleinement l'adaptation dans les stratégies nationales et locales de développement durable et de réduction de la pauvreté à long terme ;
- Donner la priorité au renforcement des capacités existantes des autorités locales, des organisations de la société civile et du secteur privé afin de jeter les bases d'une gestion solide des risques climatiques et d'un élargissement rapide de l'adaptation grâce à une réduction des risques au niveau communautaire et à une gouvernance locale efficace ;
- Développer de solides mécanismes de mobilisation des ressources pour l'adaptation qui encouragent la mise à l'épreuve des programmes de développement, favorisent l'intégration dans les plans de développement de mesures d'adaptation au changement climatique et garantissent le flux de soutiens financiers et techniques aux acteurs locaux ;

- Tirer parti des possibilités de prévention et d'intervention en cas de catastrophe, grâce à l'amélioration des systèmes d'alerte rapide, de la planification des mesures d'urgence et de l'intervention intégrée, afin de promouvoir une adaptation et une réduction des risques efficaces au niveau communautaire et renforcer les systèmes nationaux de gestion de la coopération internationale en cas de catastrophe



Question textuelle (10 minutes)

Combien de pays africains ont élaboré et mis en œuvre avec succès des stratégies et programmes nationaux de réduction des risques de catastrophes liées au changement climatique ?



Résumé

Au cours de cette session, nous avons appris à connaître les risques liés au changement climatique et la gestion et la réduction des catastrophes. La session a défini les concepts de gestion des risques et des catastrophes, a mis en évidence certains facteurs météorologiques qui contribuent aux catastrophes ainsi que les stratégies clés pour réduire les risques de catastrophes liées au changement climatique.

Références

- Ackermann, F., C. Eden & S. Cropper, 1992. Getting started with cognitive mapping. Tutorial paper at the 7th Young OR conference, University of Warwick, 13–16 April 1992. pp. 65–82.
- Adger, W.N., 2003. Social aspects of adaptive capacity. In: Smith, J.B., R.J.T. Klein & S. Huq (Eds.): *Climate Change, Adaptive Capacity and Development*. Imperial College Press, London.
- Adger, W.N., 2006. "Vulnerability." *Global Environmental Change* 16(3):268-281.
- Adger, W.N. & K. Vincent, 2005. Uncertainty in adaptive capacity. *Geoscience* 337:399–410. Alexander, D.E., 2000. *Confronting Catastrophe*. Terra Publishing, Harpenden, UK.
- Australian Academy of Science, 2015. *The Science of Climate Change: Questions and Answers*. Australian Academy of Science, Canberra.
- Beaumont, L.J., L. Hughes & M. Poulsen, 2005. Predicting species distributions: use of climatic parameters in BIOCLIM and its impact on predictions of species' current and future distributions. *Ecological Modelling* 186:250–269.
- Becker, L. 2002. Repeated Blows. *Scientific American* 286:76–83.
- Berg, E.E., J.D. Henry, C.L. Fastie, A.D. De Volderd & S.M. Matsuoka, 2006. Spruce beetle outbreaks on the Kenai Peninsula, Alaska, and Kluane National Park and Reserve, Yukon Territory: Relationship to summer temperatures and regional differences in disturbance regimes. *Forest Ecology and Management* 227:219- 232.
- British Broadcasting Cooperation (BBC), n.d. The cause and impact of the intertropical convergence zone. Available: <http://www.bbc.co.uk/education/guides/z9yssbk/revision>
- Brooks, N., 2003. *Vulnerability, Risk and Adaptation: A Conceptual Framework*. Working Paper 38, Tyndall Centre for Climate Change Research, University of East Anglia, Norwich, UK.
- Brown, A.J. & W.P. Aspinall, 2004. Use of expert opinion elicitation to quantify the internal erosion process in dams. Paper presented at the 13th British Dams Society Conference, University of Kent, Canterbury, 22–26 June 2004.
- Cardona, O.D., M.K. van Aalst, J. Birkmann, M. Fordham, G. McGregor, R. Perez, R.S. Pulwarty, E.L.F. Schipper & B.T. Sinh, 2012. Determinants of risk: exposure and vulnerability. In C.B. Field et al. (eds.): *Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation. A Special Report of Working Groups I and II of the IPCC*. Cambridge University Press, Cambridge, UK, and New York, NY, USA, pp. 65-108.
- Carter, T.R., M. Hulme & M. Lal, 1999. Guidelines on the use of scenario data for climate impact and adaptation assessment. Version 1. IPCC Task Group on Scenarios for Climate Impact Assessment. 69p.
- Carter, T.R., M.L. Parry, H. Harasawa & S. Nishioka, 1994. IPCC technical guidelines for assessing climate change impacts and adaptations. IPCC Working Group 2. University College London, UK, and National Institute for Environmental Studies, Japan.
- Church, J.A. & N.J. White, 2006. A 20th century acceleration in global sea level rise, *Geophysical Research Letters*, 33.
- Daze, A., K. Ambrose & C. Ehrhart, 2009. *Climate Vulnerability and Capacity Analysis Handbook*. CARE International.

- De Gaetano, A.T. & R.J. Allen, 2002. Trends in twentieth-century temperature extremes across the United States. *Journal of Climate* 15:3188-3205.
- Dessler, A.E. & S.M. Davis, 2010. Trends in tropical humidity from reanalysis system. *Journal of Geophysical Research*, Vol. 115.
- Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ), 2015. Climate risk insurance for strengthening climate resilience of poor people in vulnerable countries. Available: https://www.bmz.de/g7/includes/Downloadarchiv/G7-Climate_Risk_Insurance_Initiative_-_Options-Paper-Plus.pdf.
- Dinse, K. (n.d). Climate variability and climate change: what is the difference? Michigan Sea Grant. www.miseagrant.umich.edu/climate.
- Downing, T., 1991. Vulnerability to hunger in Africa: a climate change perspective. *Global Environmental Change* 1:365–380.
- Downing, T. & A. Patwardhan, 2004. Assessing vulnerability for climate adaptation. Technical Paper 3. In: Lim, B. & E. Spanger-Siegfried (eds.): *Adaptation policy frameworks for climate change: developing strategies, policies and measures*, 67–89. Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- Ebi, K.L., T.J. Teisberg, L.S. Kalkstein, L. Robinson & R.F. Weiher, 2004. Heat watch/warning systems save lives: estimated costs and benefits for Philadelphia 1995-1998. *Bulletin of the American Meteorological Society* 85:1067-1073
- Emanuel, K., 2005. Increasing destructiveness of tropical cyclones over the past 30 years. *Nature* 436:686-688.
- Evan, A.T., J. Dunion, J.A. Foley, A.K. Heidinger & C.S. Velden, 2006. New Evidence for a Relationship Between Atlantic Tropical Cyclone Activity and African Dust Outbreaks. *Geophysical Research Letters* 33.
- FAO (n.d). Climate Smart Agriculture. Accessed on 30th November 2015. Available at <http://www.fao.org/sustainability/frameworks-approaches/en/>
- Fellmann, T., 2012. The assessment of climate change-related vulnerability in the agricultural sector: reviewing conceptual frameworks. Department of Economics, Pablo de Olavide University, Seville, Spain.
- Forster, P., V. Ramaswamy, P. Artaxo, T. Berntsen, R. Betts, D.W. Fahey, J. Haywood, J. Lean, D.C. Lowe, G. Myhre, J. Nganga, R. Prinn, G. Raga, M. Schulz & R. Van Dorland, 2007. Changes in Atmospheric Constituents and in Radiative Forcing. In S. Solomon et al. (eds.): *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the IPCC*. Cambridge University Press, Cambridge, UK, and New York, NY, USA.
- Fraser, E.D.G., M. Termansen, N. Sun, D. Guan, E. Simelton, P. Dodds, K. Feng & Y. Yu, 2008. Quantifying socioeconomic characteristics of drought sensitive regions: evidence from Chinese provincial agricultural data. *Comptes Rendus Geosciences* 340:679–688.
- Friedlingstein, P., R.A. Houghton, G. Marland, J. Hackler, T.A. Boden, T.J. Conway, J.G. Canadell, M.R. Raupach, P. Ciais & C. Le Quééré, 2010. Update on CO emissions, *Nat. Geosci.* 3(12):811–812
- Füssel, H.M. & R. Klein, 2006. Climate change vulnerability assessments: an evolution of conceptual thinking. *Climate Change* 75:301–329.
- Gabriele, C.H., 1996. Detecting Greenhouse-Gas-Induced Climate Change with an Optimal Fingerprint Method. *Journal of Climate* 9:2281-2306.
- Gerlach, T.M., 2011. Volcanic versus anthropogenic carbon dioxide. *Eos Trans. AGU* 92(24):201-202.

GIEC/IPCC, 2001. Climate Change 2001: The Scientific Basis. Contribution of the Working Group I to the Third Assessment Report of the IPCC: Eds.: J.T. Houghton et al. Cambridge University Press.

Green Technology, 2015. Green Technology – What is it? Available at <http://www.green-technology.org/what.htm>

Hansen, J., L. Nazarenko, R. Ruedy, M. Sato, J. Willis, A. Del Genio, D. Koch, A. Lacis, K. Lo, S. Menon, T. Novakov, J. Perlwitz, G. Russell, G.A. Schmidt & N. Tausnev, 2005. Earth's energy imbalance: Confirmation and implications. *Science* 308:1431-1435.

Herrera, E., T.B.M.J. Ouarda & B. Bobée, 2006. Méthodes de désagrégation appliquées aux Modèles du Climat Global Atmosphère-Océan (MCGAO). *Revue des sciences de l'eau* 19(4):297-312.

Hideaki, T., 2008. Strengthening Solidarity among the Asian Monsoon Countries for establishing Sustainable Water Policy for Agriculture. *Paddy Water Environment* 7:341-347.

Hinkel, J., 2011. Indicators of vulnerability and adaptive capacity: Towards a clarification of the science-policy interface. *Global Environmental Change* 21:191-208.

Hoyos, C.D., P.A. Aguidelo, P.J. Webster & J.A. Curry, 2006. Deconvolution of the factors contributing to the increase in global hurricane intensity. *Science* 312:94-97.

Huntley, B., 1991. How plants respond to climate change: migration rates, individualism and the consequences for plant communities. *Annals of Botany* 67:15-22.

Ichoku, C. (n.d.). The water cycle and climate change. NASA Earth observatory. Available at: <http://www.Earthobservatory.nasa.gov/Feature/Water/page3.php>

IDB, 2007. Disaster Risk Management Policy. GN-2354-5, Inter-American Development Bank, Washington, DC.

Inouye, D.W., 2008. Effects of climate change on phenology, frost damage, and floral abundance of montane wildflowers. *Ecology* 89:353-362.

IPCC. 2018. Annex I: Glossary [R. Matthews (ed.)]. In: Global warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty[V. Masson-Delmotte, P. Zhai,

H. O. Pörtner, D. Roberts, J. Skea, P.R. Shukla, A. Pirani, W. Moufouma-Okia, C. Péan, R. Pidcock, S. Connors, J. B. R. Matthews, Y. Chen, X. Zhou, M. I. Gomis, E. Lonnoy, T. Maycock, M. Tignor, T. Waterfield (eds.)]. In Press.

IPCC, 2014: climate change 2014: synthesis report. Contribution of Working Groups I, II and III to the 5th Assessment Report of IPCC. Geneva, Switzerland, 151 p

IPCC, 2013: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the 5th Assessment Report of IPCC. 1535 p.

IPCC, 2012. Managing the risks of extreme events and disasters to advance climate change adaptation. A Special Report of Working Groups I and II of the IPCC. Cambridge, UK, and New York, USA, Cambridge University Press. 582 p.

IPCC, 2007. Climate change impact, adaptation and vulnerability. Contribution of the working group II to the fourth assessment report. Cambridge University Press, UK

IPCC, 2007. Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of IPCC. S. Solomon, D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor & H.L. Miller (eds.). Cambridge University Press, Cambridge, UK

IPCC, 2007. Fourth Assessment Report: The Physical Science of Climate Change 2007 – Working Group 1. Cambridge University Press, UK.

IPCC, 2007. Frequently Asked Questions about climate change. Available at: <http://www.climatekelpie.com.au/understand-climate/climate-change-science/climate-variability-and-climate-change-whats-the-difference>.

IPCC, 2007. Climate change impact, adaptation and vulnerability. Contribution of the working group II to the fourth assessment report of the IPCC. Glossary, pp. 869–883. M.L. Parry, O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. van der Linder & C.E. Hanson (eds.). Cambridge University Press, Cambridge, UK.

IPCC, 2002. Climate Change 2001: Synthesis Report. Cambridge University Press, UK IPCC, 2001. Climate Change 2001: the Scientific Basis. Cambridge University Press, UK.

IPCC. 2001. Climate Change 2001: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Third Assessment Report of the IPCC. Cambridge University Press, UK.

International Strategy for Disaster Reduction, 2007. Hyogo Framework for Action 2005 - 2015: Building the Resilience of Nations and Communities to Disasters. www.unisdr.org/hfa

Jacob, D.J. & D.A. Winner, 2009. Effect of climate change on air quality. *Atmospheric Environment* 43:51–63. Kasperson, J.X. & R.E. Kasperson, 2001. Climate Change, Vulnerability and Social Justice. Stockholm Environment Institute, Stockholm.

Kelly, P.M. & W.N. Adger, 2000. Theory and practice in assessing vulnerability to climate change and facilitating adaptation. *Climatic Change* 47:325–352.

Kittel, T.G.F., 2012. The Vulnerability of Biodiversity to Rapid Climate Change. Institute of Arctic and Alpine Research, CB 450. University of Colorado at Boulder, USA.

Lavell, A., 1999. Environmental degradation, risks and urban disasters issues and concepts: Towards the definition of a research agenda. In: Fernandez, M.A. (ed.), *Cities at Risk: Environmental Degradation, Urban Risks and Disasters in Latin America*. A/H Editorial. US AID, Quito, Ecuador, pp. 19-58.

Leonard, B. (ed), 2009. Climate Literacy: The Essential Principles of Climate Science. US Climate Change Research Programme, USA.

Malone, E.L. & N.L. Engle, 2011. Evaluating regional vulnerability to climate change: purpose and methods. *WIREs Climate Change* 2:462–474.

Manning, Z., M. Chen, K.B. Marquis, B. Averyt, M. Tignor & H.L. Miller (eds.). Climate Change: The Physical Science Basis. IPCC Fourth Assessment Report. UK and US.

Marine Conservation Institute (n.d). Climate change and the carbon cycle. <https://marine-conservation.org/what-we-do/program-areas/ocean-acidification/climate-carbon/>

Mills, E. & E. Lecomte, 2006. From Risk to Opportunity: How Insurers Can Proactively and Profitably Manage Climate Change. http://eetd.lbl.gov/EMills/PUBS/PDF/Ceres_Insurance_Climate_Report_090106.pdf.

National Research Council, 2006. Surface Temperature Reconstructions For the Last 2,000 Years. National Academy Press, Washington, DC.

O'Brien, K.L. & R.M. Leichenko, 2000. Double exposure: assessing the impacts of climate change within the context of economic globalization. *Global Environmental Change* 10: 221–232.

Paltridge, G., A. Arking & M. Pook, 2009. Trends in middle- and upper-level tropospheric humidity from NCEP reanalysis data. *Theor. Appl. Climatol.* 98:351–359,

Platt, R.V., T.T. Veblen & R.L. Sherriff, 2006. Are wildfire mitigation and restoration of historic forest structure compatible? A spatial modeling assessment. *Annals of the Association of American Geographers* 96:455- 470.

Population Action International (n.d). Mapping population and climate change, Washington DC.

Ramaswamy, V., M.D. Schwarzkopf, W.J. Randel, B.D. Santer, B.J. Soden & G.L. Stenchikov, 2006. Anthropogenic and Natural Influences in the Evolution of Lower Stratospheric Cooling. *Science* 311:1138-1141.

Ribot, J.C., 1996. Climate Variability, Climate Change and Vulnerability: Moving Forward by Looking Back. In Ribot, J.C., A.R. Magalhães & S.S. Panagides (eds.): *Climate Variability, Climate Change and Social Vulnerability in the Semi-arid Tropics*. Cambridge University Press.

Russel, R., 2015. Layers of Earth's Atmosphere. University Cooperation for Atmospheric Research (UCAR), Boulder, US.

Sælhun, N.R., 1992. Modeling hydrological effects of climate change. In Tallaksen, L. & K.A. Hassel (eds.): *Climate Change and Evapotranspiration Modelling*. NHP Report No. 31, The Nordic Coordinating Committee for Hydrology, Oslo, Norway, pp. 73-80.

Salter, J., J. Robinson & A. Wiek, 2010. Participatory methods of integrated assessment – a review. *WIREs Climate Change* 1:697–717.

Santer, B.D., G.A. Meehl, M.F. Wehner, K.E. Taylor, W.M. Washington, T.M.L. Wigley, C. Ammann, J.S. Boyle, R. Sausen, J. Arblaster & W. Brüggemann, 2003. Contributions of Anthropogenic and Natural Forcing to Recent Tropopause Height Changes. *Science* 301.

Santer, B.D., K.E. Taylor, T.M.L. Wigley, T.C. Johns & P.D. Jones, 1996. A search for human influences on the thermal structure of the atmosphere. *Nature* 382(6586):39-46.

Satyanto, K.S., I.S. Budi & Y. Kozue, 2009. Climate Change Effects on Paddy Field Thermal Environment and Evapotranspiration. *Paddy Water Environment* 7:341-347.

Schoen, C., 2015. Climate Smart Clusters. Conference paper. Available online: <http://www.slideshare.net/TCINetwork/tci2015-climate-smart-clusters>.

Sharma, S. and K. Kumar, 1998. Impacts and Vulnerabilities. In: *Climate Change: Post-Kyoto Perspectives from the South*, pp. 61 – 78. New Delhi: Tata Energy Research Institute.

Shell, K.M. (n.d.). The albedo effect and global warming. Available at: <https://www.skepticalscience.com/Earth-albedo-effect.htm>

Smit, B., I. Burton, R.J.T. Klein & R. Street, 1999. The science of adaptation: a framework for assessment. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change* 4:199–213.

Smith, J.B., 2004. A Synthesis of the Potential Impacts of Climate Change on the United States. Pew Center on Global Climate Change, Arlington, VA.

Stedman, J.R., 2004. The Predicted Number of Air Pollution Related Deaths in the UK During the August 2003 Heatwave. *Atmospheric Environment* 38(8):1087-1090.

The COMET programme (n.d.). The Carbon cycle. University Cooperation for Atmospheric Research. Available at: <https://eo.ucar.edu/kids/green/cycles6.htm>

Tol, R.S.J., 2002. Estimates of the Damage Costs of Climate Change. *Environmental Resource Economics* 21:47-73.

Tompkins, E.L. & W.N. Adger, 2004. Does adaptive management of natural resources enhance resilience

to climate change? *Ecology and Society* 9(10). Available at: <http://www.ecologyandsociety.org/vol9/iss2/art10>.

UN office for the Coordination of Humanitarian Affairs (n.d.). Climate Change – case study Mozambique: 2007 flood and cyclone. Available at: <http://www.unocha.org/what-we-do/advocacy/thematic-campaigns/climate-change/case-study>

UNCTAD, 2010. The Least Developed Countries Report 2010: Towards a New International. Development Architecture for LDCs. Available at: http://www.unctad.org/en/docs/ldc2010_embargo_en.pdf.

UNFCCC, 1992. Convention Cadre des Nations unies sur le changement climatique, 33 p.

UNISDR, 2009. Terminology on Disaster Risk Reduction. UN International Strategy for Disaster Reduction, Geneva, Switzerland. Available at: <http://www.unisdr.org/eng/library/lib-terminology-eng.html>.

UNISDR, 2015. Sendai Framework for Disaster Risk Reduction 2015-2030. Available at: http://www.unisdr.org/files/43291_sendaiframeworkfordrren.pdf.

UNEP (n.d.). Climate Change Science compendium. Available at: <http://www.unep.org/climatechange/Science.aspx>

UNEP, 2000. Climate Change Vulnerability: Linking Impacts and Adaptation. UNEP and University of Oxford. UNFCCC, 2007. Climate change impact, vulnerability and adaptation in developing countries. A report by the UNFCCC

UNFCCC, 2000. Methods and Tools to Evaluate Impacts and Adaptation: Information on Impacts and Adaptation Assessment Methods (Progress Report, Note by the Secretariat). Subsidiary Body for Scientific and Technological Advice, Twelfth Session, Bonn, 12-16 June 2000.

United Nations Population Fund (2009). State of World Population 2009: Facing a Changing World: Women, Population and Climate. New York, NY: Unlimited Wetland values: http://www.ducks.ca/conserve/wetland_values/pdf/nvalue.pdf

Vitousek, P.M., J. Aber, R.W. Howarth, G.E. Likens, P.A. Matson, D.W. Schindler, W.H. Schlesinger & G.D. Tilman, 1997. Human alteration of the global nitrogen cycle: Sources and consequences. *Issues in Ecology* 1(3):1–17.

Volney, W.J.A. & R.A. Fleming, 2000. Climate change and impacts of boreal forest insects. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 82:283-294.

Von Storch H., 1999. On the use of 'inflation' in statistical downscaling, *Journal of Climate* 12(12):3505-3506.

Wagner, M.R., 1990. Individual tree physiological responses to global climate scenarios: a conceptual model of effects on forest insect outbreaks. In: Proceedings of the 1990 Society of American Foresters National Convention, Washington, DC, pp. 148-153.

Walker, B., S.R. Carpenter, J. Anderies, N. Abel, G.S. Cumming, M. Janssen, L. Lebel, J. Norberg, G.D. Peterson & R. Pritchard, 2002. Resilience management in social–ecological systems: a working hypothesis for a participatory approach. *Conservation Ecology* 6. Available at: <http://www.ecologyandsociety.org/vol6/iss1/art14/print.pdf>.

Watanabe, T. & K. Takashil, 2009. A General Adaptation Strategy for Climate Change Impacts on Environment and Evapotranspiration. *Paddy Water Environment* 7:341-347.

Watson, J.E.M., T. Iwamura & N. Butt, 2013. Mapping vulnerability and conservation adaptation strategies under climate change. *Nature Climate Change*.

Weart, S.R., 2010. The Idea of Anthropogenic Global Climate Change in the 20th Century. WIREs Climate Change 2010, Vol. 1:67-87.

Westerling, A.L., H.G. Hidalgo, D.R. Cayan & T.W. Swetnam, 2006. Warming and earlier spring increase western U.S. forest wildfire activity. Science 313:940-943.

Wisner, B., P. Blaikie, T. Cannon & I. Davis, 2004. At Risk, Natural Hazards, People's Vulnerability and Disasters. Routledge, London, UK.

Zimmerli, P., 2003. Natural Catastrophes and Reinsurance. Zurich, Switzerland, Swiss Re.

Chapitre 5 : Gestion des données sur le changement climatique

5.1 Aperçu du chapitre

Les données sur le changement climatique fournissent des preuves sur le changement climatique et leurs impacts, ainsi que sur la vulnérabilité au changement climatique et facilitent le développement de systèmes d'alerte précoce. Ainsi, l'accès à des données de haute qualité et actualisées est essentiel pour comprendre la science fondamentale du changement climatique. L'évaluation des impacts du changement climatique et de la vulnérabilité à ces derniers, puis l'établissement des besoins d'adaptation, exigent également des données de bonne qualité. Ce chapitre présente aux apprenants différentes sources de données climatiques et de données liées au climat, les familiarise avec les méthodes de collecte de données, les outils et les instruments, l'analyse et l'interprétation, la mise en place de systèmes d'alerte précoce aux risques climatiques et la diffusion de l'information.



Résultats d'apprentissage

- A la fin de ce chapitre, les apprenants seront capables de
- Distinguer les sources de données climatiques et celles liées au climat
- Appliquer des méthodes appropriées de collecte de données climatiques
- Synthétiser les données climatiques en une information significative, et,
- Développer des systèmes d'alerte précoce aux risques climatiques.

5.2 Définition des données climatiques



Objectifs

- À la fin de cette session, l'apprenant sera en mesure de
- Définir le concept de données climatiques ;
- Expliquer comment les données climatiques sont obtenues ; et,
- Analyser les utilisations des données climatiques dans la prévention des catastrophes.



Activité 1 (Remue-méninges) (20 minutes)

Qu'entendons-nous par données climatiques ?

Les données climatiques sont définies comme une série chronologique de mesures suffisamment longues, cohérentes et continues pour déterminer la variabilité et le changement climatique. La variabilité climatique désigne les variations de l'état moyen du climat à toutes les échelles spatiales et temporelles au-delà de celui des événements météorologiques individuels. La variabilité peut être due à des processus internes naturels au sein du système climatique (variabilité interne), ou à des variations des contraintes externes naturelles ou anthropiques (variabilité externe). Les données produites des réseaux météorologiques et climatologiques et de divers projets de recherche représentent une ressource précieuse et souvent unique, acquise au prix de dépenses considérables en temps, en argent et en efforts. Les types de données climatiques les plus utiles sont la température, la pression moyenne, l'humidité relative, la visibilité moyenne, le point de rosée moyen, la direction du vent, la vitesse du vent, la pression moyenne au niveau de la mer, la présence de neige, d'orages et de brouillard. La question du changement climatique mondial élargit les exigences en matière de données climatiques et de systèmes de gestion des données. Toutefois, le principal intérêt de l'utilisation des statistiques sur les données climatologiques observées n'est pas de simplement décrire les données, mais d'en tirer des conclusions utiles aux utilisateurs de l'information climatologique. Les statistiques sont l'outil utilisé pour combler l'écart entre les données brutes et l'information utile. Les données climatologiques peuvent être classées comme suit:

- Informations historiques : les données sur les conditions et les tendances passées peuvent être utilisées pour cartographier les aléas, évaluer les tendances, identifier les relations avec les impacts historiques (par exemple, les épidémies et l'insécurité alimentaire) et fournir une référence pour comparer les conditions actuelles et prévues ; les données historiques peuvent également être utilisées pour identifier la saisonnalité du climat, qui peut, par exemple, être une information importante pour comprendre les changements de distribution mensuelle des vecteurs porteurs de maladies ou identifier les cycles de culture probables ;
- L'information actuelle : les données sur les conditions actuelles et récentes peuvent être utiles pour indiquer si des événements météorologiques et climatiques sont susceptibles d'avoir des répercussions, à l'exemple des tempêtes violentes qui se sont produites ou sont en cours, à l'instar des sécheresses
- Informations prospectives : les prévisions, projections et scénarios sont utiles pour anticiper les risques liés aux clients, pour planifier les opérations humanitaires et pour planifier le relèvement et le développement à plus long terme.

Les données climatiques sont générées par un certain nombre d'acteurs mondiaux, régionaux et nationaux. Aux niveaux local et national, elle relève généralement de la responsabilité des services météorologiques nationaux. La production de données exige une infrastructure physique fonctionnelle, bien entretenue et bien répartie (par exemple, des stations météorologiques), ainsi que des capacités d'analyse des données climatiques au sein des services météorologiques. La possibilité pour le public d'accéder aux données climatiques dépend des politiques des parties prenantes impliquées dans le financement, la production, le traitement et le stockage des données. Bien que de nombreux ensembles de données soient disponibles gratuitement en ligne, l'accès peut encore être limité par les politiques nationales régissant le partage des données. Le gouvernement n'est pas la seule source de données et d'informations climatiques locales et nationales dans un pays. Les informations produites par le service météorologique peuvent être complétées par des données supplémentaires provenant des universités ou du secteur privé.



Activité 2 (Discussion de groupe) (20 minutes)

Considérez les stations météorologiques en Afrique. Possèdent-elles l'équipement et la capacité nécessaires pour générer des données climatiques fiables ?



Résumé

Au cours de cette session, nous avons pris connaissance des définitions des données climatiques et de leur pertinence pour la prévention des catastrophes. Dans la prochaine session, nous examinerons les types de données climatiques.

5.3 Types de données climatiques

Cette session examine les différents types de données climatiques.



Objectifs

A la fin de cette session, l'apprenant sera capable de :

- Faire la distinction entre les données climatiques quantitatives et qualitatives
- Décrire les sources primaires et secondaires de données climatiques.

5.3.1 Données quantitatives et qualitatives

Il existe deux types généraux de données climatiques. Les données climatiques quantitatives, sont des mesures de valeurs ou de comptages et sont exprimées en chiffres. Il s'agit essentiellement de variables numériques. Des technologies et des instruments ont été développés pour mesurer la plupart des variables météorologiques. Les conditions atmosphériques peuvent être mesurées à l'aide d'instruments et d'équipements qui fournissent des informations pour les prévisions météorologiques et pour l'étude du temps et du climat. Ces équipements sont calibrés pour permettre une lecture précise de l'échelle ou de l'intensité de la variable météorologique. Par exemple, les thermomètres sont utilisés pour mesurer la température de l'air et de la surface de la mer, les baromètres pour mesurer la pression atmosphérique, les hygromètres pour mesurer l'humidité (en %), les anémomètres pour mesurer la vitesse du vent, les pyranomètres pour mesurer le rayonnement solaire, les pluviomètres pour mesurer les précipitations liquides (en mm/jour), les jauges à neige pour les précipitations solides, les tensiomètres et les irromètres pour surveiller l'humidité du sol. Pour d'autres variables météorologiques, comme le courant d'air, des outils spéciaux ont été conçus pour les mesurer. Ces instruments sont dotés de jauges capables de traduire les variables météorologiques en chiffres qui peuvent ensuite être soumis à un examen statistique.

Les données climatiques qualitatives, en revanche, sont des mesures catégorielles exprimées non pas en termes de chiffres, mais plutôt par le biais d'une description verbale. En termes simples, les données peuvent être observées mais pas mesurées. Ce type de données est utile lorsque les équipements de mesure font défaut et que, par conséquent, le jugement ou la perception des personnes deviennent indispensables. Cela est également utile pour les populations moins alphabétisées. Par exemple, pour mesurer la sécheresse dans de telles circonstances, un indice (anormalement humide, moyen et anormalement sec) pourrait être construit pour recueillir les données. Pour mesurer la température, les répondants pouvaient utiliser des expressions telles que « chaud » ou « extrêmement chaud » pour décrire l'intention. Les données climatiques quantitatives définissent, tandis que les données climatiques qualitatives décrivent. Les données quantitatives et qualitatives donnent des résultats différents et sont souvent utilisées ensemble pour obtenir une image complète des données climatiques.



Question écrite (10 minutes)

Quels sont les facteurs probables qui peuvent affecter la qualité des données climatiques qualitatives ?

5.3.2 Données primaires et secondaires

Les données climatiques peuvent être primaires ou secondaires. Les données climatiques primaires sont des données observées ou recueillies directement à partir d'une expérience de terrain. Ces données sont recueillies directement auprès d'une source dans un but précis. La source peut être une station météorologique, des données satellitaires ou l'utilisation d'un instrument météorologique pour mesurer les variables météorologiques. L'obtention d'un récit des tendances climatiques passées et des changements actuels de la part de ceux qui ont vécu dans leur région pendant une période prolongée en l'absence de matériel de mesure constitue une donnée primaire.

Les données climatiques secondaires sont des données publiées ou des données recueillies dans le passé par une autre partie. Il s'agit de la consultation de dossiers de variables météorologiques ou climatiques historiques (par exemple, les mesures des températures et des précipitations) qui peuvent être utiles pour la prévision, la modélisation, la simulation ou la prise de décisions en l'absence de données primaires. Les données climatiques secondaires sont disponibles en ligne, dans les stations météorologiques nationales ou à l'OMM (Organisation Météorologique Mondiale).



Résumé

Au cours de cette session, nous avons appris à connaître les types de données climatiques. Les différences entre les données quantitatives et qualitatives, primaires et secondaires, ont été présentées. La prochaine session se penchera sur les sources de données climatiques.

5.3 Sources de données climatiques

Cette session de formation parle des sources de données climatiques. La session se concentre sur les différents lieux où l'on peut obtenir des données climatiques.



Objectifs

À la fin de cette session, l'apprenant sera en mesure de :
Décrire les diverses sources où l'on peut obtenir des données climatiques.



Activité 1 (Discussion en petits groupes) (20 minutes)

Décrivez les sources de données climatiques. Catégorisez ces sources selon qu'elles fournissent des données historiques, actuelles ou prospectives.

5.3.1 Systèmes de connaissances des peuples autochtones

Les communautés autochtones sont depuis longtemps reconnues comme étant particulièrement vulnérables aux impacts du changement climatique en raison du lien étroit entre leurs moyens de subsistance, leur culture, leur spiritualité et leurs systèmes sociaux et leur environnement. En même temps, cependant, cette relation profonde et établie de longue date avec l'environnement naturel offre à de nombreux peuples autochtones des connaissances qu'ils utilisent depuis longtemps pour s'adapter aux changements environnementaux et qu'ils utilisent maintenant pour répondre aux impacts du changement climatique. Au fil du temps, les peuples autochtones ont accumulé, grâce à leurs observations, des connaissances et des idées fondées sur l'expérience concernant les variables météorologiques ou climatiques changeantes telles que les températures élevées, les pluies intenses et irrégulières, l'élévation du niveau de la mer, les périodes de sécheresse prolongées. Lorsque l'accès à d'autres formes de connaissances scientifiques est inaccessible ou incomplet, les informations météorologiques ou climatiques provenant de personnes qui vivent dans ces régions depuis longtemps sont cruciales.

5.3.2 Stations météorologiques nationales et régionales

Divers pays ont mis en place des stations de services météorologiques pour collecter, traiter, archiver, analyser et diffuser les résultats ou les informations météorologiques aux utilisateurs finaux. Il existe également des stations météorologiques régionales qui relèvent des stations nationales pour traiter les problèmes de données climatiques au niveau local. Ces services météorologiques disposent de stations météorologiques dotées d'instruments et d'équipements permettant de mesurer les conditions atmosphériques afin de fournir des informations pour les prévisions météorologiques et d'étudier le temps et le climat au quotidien.



Activité 2 (Discussion de groupe) (20 minutes)

Pensez à votre station météorologique nationale/régionale. Quels sont les principaux défis auxquels sont confrontées leurs opérations ? Comment relever ces défis ?

5.3.3 Organisation météorologique mondiale (OMM)

L'Organisation météorologique mondiale (OMM) est une institution spécialisée des Nations Unies. C'est la voix du système des Nations Unies qui fait autorité sur l'état et le comportement de l'atmosphère terrestre, son interaction avec les océans, le climat qu'elle produit et la répartition des ressources en eau qui en résulte. Comme le temps, le climat et le cycle de l'eau ne connaissent pas de frontières nationales, la coopération internationale à l'échelle mondiale est essentielle pour le développement de la météorologie et de l'hydrologie opérationnelle ainsi que pour tirer profit de leur application.

L'OMM fournit le plan directeur de cette coopération internationale. L'OMM facilite également l'échange libre et sans restriction de données et d'informations, de produits et de services en temps réel ou quasi réel sur des questions relatives à la sûreté et à la sécurité de la société, au bien-être économique et à la protection de l'environnement. Les systèmes d'observation recueillent des données météorologiques, climatologiques, hydrologiques, marines et océanographiques provenant de plus de 15 satellites, 100 bouées ancrées, 600 bouées dérivantes, 3 000 avions, 7 300 navires et quelque 10 000 stations terrestres. Des ordinateurs puissants utilisent des modèles mathématiques basés sur des lois physiques pour produire des cartes, des produits numériques, des prévisions météorologiques et de qualité de l'air, des prévisions climatiques, des évaluations de risques et des services d'alerte rapide. Les satellites météorologiques diffusent des informations météorologiques en temps réel plusieurs fois par jour à plus de 1 000 emplacements. Les données de l'OMM permettent de mieux comprendre la climatologie des phénomènes météorologiques violents et des phénomènes extrêmes tels que les cyclones tropicaux, El Niño, les inondations, les vagues de chaleur, les vagues de froid, les sécheresses et autres risques naturels, contribuant ainsi à sauver des vies et des biens et à améliorer notre compréhension et notre surveillance du système climatique et de l'environnement. L'OMM a attiré l'attention sur des questions très préoccupantes, telles que l'appauvrissement de la couche d'ozone, le réchauffement planétaire, le changement climatique et la diminution des ressources en eau.

5.3.4 Administration nationale de l'aéronautique et de l'espace (NASA)

Les satellites en orbite autour de la Terre et d'autres avancées technologiques ont permis aux scientifiques de recueillir de nombreux types d'informations sur notre planète et son climat à l'échelle mondiale. Ce corpus de données, recueillies sur de nombreuses années, révèle les signes d'un changement climatique. L'administration nationale de l'aéronautique et de l'espace (NASA) mène des recherches sur les sciences climatiques, ce qui permet à la communauté scientifique internationale de faire progresser la science mondiale intégrée du système terrestre à l'aide d'observations spatiales. La recherche de l'agence porte sur l'activité solaire, l'élévation du niveau de la mer, la température de l'atmosphère et des océans, l'état de la couche d'ozone, la pollution de l'air et les changements dans les glaces marines et terrestres. La NASA a entrepris 17 missions spatiales pour recueillir des données sur le climat. Le système d'observation de la terre de la NASA, ses instruments météorologiques et la quantité de données qu'ils ont recueillies au fil des ans en font une bonne source pour obtenir des données sur le climat.

5.3.5 Centre Africain pour les Applications et les Données Météorologiques (ACMAD)

L'ACMAD est le centre météorologique et climatique à compétence continentale africaine. Il a été créé en 1987 par la Conférence des ministres de la Commission économique des Nations Unies pour l'Afrique (CEA) et l'OMM. L'ACMAD est opérationnel à Niamey depuis 1992. Il est composé des 53 pays du continent africain. La mission de l'ACMAD est de fournir des données et des produits météorologiques, climatiques et environnementaux pour un développement socio-économique



Question textuelle (10 minutes)

Dans quelle mesure les activités de l'ACMAD sont-elles bien diffusées ?

5.3.6 Climate Prediction and Application Center (ICPAC)

Afin de minimiser les impacts négatifs des événements climatiques extrêmes, l'OMM et le PNUD ont créé le Centre régional de surveillance de la sécheresse (DMC) à Nairobi et un centre secondaire à Harare couvrant 24 pays de la sous-région de l'Afrique orientale et australe. Les pays participants de l'ICPAC sont le Burundi, Djibouti, l'Érythrée, l'Éthiopie, le Kenya, le Rwanda, la Somalie, le Soudan, l'Ouganda et la Tanzanie. L'ICPAC a pour principal objectif de contribuer aux services de surveillance et de prévision du climat pour l'alerte précoce et l'atténuation des effets néfastes des événements climatiques extrêmes sur divers secteurs socio-économiques de la région, tels que la production agricole et la sécurité alimentaire, les ressources en eau, l'énergie et santé. Les produits d'alerte précoce permettent aux utilisateurs de mettre en place des mécanismes pour faire face aux risques climatiques et météorologiques extrêmes dans la Grande Corne de l'Afrique. Certaines des fonctions clés du centre comprennent le développement et l'archivage de banques de données climatiques régionales et nationales contrôlées par la qualité, le traitement des données, y compris l'élaboration de statistiques climatologiques de base, l'acquisition en temps opportun du climat en temps quasi réel et de données télédéteectées, la surveillance de l'espace-temps évolutions des conditions météorologiques et climatiques extrêmes dans la région, génération de produits de prévision et d'alerte précoce, délimitation des zones à risque d'événements climatiques extrêmes, surveillance, détection et attribution des changements climatiques.



Activité 3 (discussion de groupe) (20 minutes)

- Juxtaposer le but et les activités de l'ACMAD et de l'ICPAC.
- Peut-on déduire que l'ICPAC répond à certaines lacunes de l'ACMAD, compléter les activités de l'ACMAD ou les régions de l'ICPAC ont des besoins climatiques particuliers ?

5.3.7 Autres sources de données climatiques

Une autre source de données climatiques est la National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA). La NOAA utilise les données de ses satellites, ainsi que celles de ses partenaires, pour générer chaque jour des prévisions météorologiques. Il fonctionne sur trois types de systèmes de satellites : ceux qui orbitent autour de la Terre (orbite polaire), ceux qui restent concentrés sur une région de la Terre (géostationnaire) et un satellite de l'espace profond, situé à un million de kilomètres de la Terre. Le Climate Data Online (CDO) de la NOAA offre un accès gratuit à des archives de données météorologiques et climatiques historiques mondiales, en plus de l'information sur l'historique des stations. Ces données comprennent des mesures quotidiennes, mensuelles, saisonnières et annuelles de qualité contrôlée de la température, des précipitations, du vent et des degrés-jours ainsi que des données radar et des normales climatiques sur 30 ans. Il existe une foule d'autres sources de données climatiques en ligne, mais quelques-unes d'entre elles exigent un paiement pour avoir accès à leurs données.



Résumé

Au cours de cette session, nous avons appris à connaître les différentes sources de données climatiques. La plupart de ces sources offrent des données gratuitement, mais quelques supports en ligne exigent un paiement. La prochaine session portera sur les méthodes de collecte de données climatiques.

5.4 Méthodes de collecte des données climatiques

Cette session de formation est centrée sur les méthodes de collecte de données climatiques. Elle mettra en évidence les différents moyens par lesquels les données climatiques pourraient être sollicitées.



Objectifs

À la fin de cette session, l'apprenant sera en mesure de

- a) Décrire l'observation comme une méthode de collecte de données climatiques ;
- b) Décrire l'expérimentation comme une méthode de collecte de données climatiques ;
- c) Décrire l'enquête comme une méthode de collecte de données climatiques ;
- d) Décrire l'étude de cas comme une méthode de collecte de données climatiques ;
- e) Décrire l'évaluation rurale rapide comme méthode de collecte de données climatiques ; et
- f) Décrire l'étude documentaire/la recherche documentaire comme méthode de collecte de données climatiques.

5.4.1 Observations météorologiques directes

Les données climatiques peuvent être recueillies en observant directement les interactions, les processus ou les comportements météorologiques ou climatiques à mesure qu'ils se produisent. L'observation est utile lorsqu'on essaie de comprendre un processus ou une situation en cours. L'observation des changements de température, de précipitations ou de tout autre élément météorologique dans le cadre naturel peut aider à mieux comprendre le phénomène évalué. Les études d'observation tentent de comprendre les relations de cause à effet. Cependant, contrairement aux expériences, le chercheur n'est pas en mesure de contrôler les variables de l'étude. L'observation peut être une façon de valider les données recueillies par d'autres moyens



Activité 1 (Remue-méninges) (10 minutes)

Quelles précautions doit-on prendre pour s'assurer que les données recueillies par des observations directes sont exactes ?

5.4.2 Expérience

Une expérience est une étude contrôlée dans laquelle on tente de comprendre les relations de cause à effet. Une étude est contrôlée dans le sens où le chercheur détermine les traitements que chaque variable reçoit. En général, une ou plusieurs variables sont manipulées pour déterminer leur effet sur une variable dépendante. Des expériences sont menées pour pouvoir prédire un phénomène et pour pouvoir expliquer une relation de cause à effet. Dans un scénario de changement climatique, on pourrait mettre en place une expérience impliquant deux communautés, l'une avec une forêt intacte et l'autre sans forêt. Nous pourrions ensuite observer comment les facteurs météorologiques ou climatiques interagiraient avec les activités et les moyens de subsistance des résidents des deux communautés

5.4.3 Sondage

Un sondage est une étude qui obtient des données d'un sous-ensemble d'une population. La recherche par sondage est souvent utilisée pour évaluer les pensées, les opinions et les sentiments concernant le changement climatique. Les sondages sont principalement réalisés à l'aide de questionnaires. Le questionnaire pourrait contenir une série de questions visant à obtenir des informations ou des données sur le climat auprès d'un groupe cible de personnes. Le questionnaire est complété par des entretiens en face à face, par téléphone, par courrier ou en ligne.

5.4.4 Etude de cas

Une étude de cas est une approche qui vise à acquérir une compréhension approfondie du changement climatique. Cette méthode d'étude est particulièrement utile pour essayer de tester des modèles théoriques en les utilisant dans des situations réelles. C'est une méthode utilisée pour réduire un très large champ de recherche en un champ facilement accessible. Par exemple, la manifestation du changement climatique sur les écosystèmes forestiers pourrait être étudiée sur la base des différentes composantes de la forêt (arbres, animaux). On s'attend aussi à ce que le changement climatique ait des répercussions importantes sur les collectivités côtières. Une étude de cas d'une communauté aiderait à déterminer pourquoi il en serait ainsi. Les études de cas présentent des données qui sont habituellement recueillies par divers moyens, notamment des entrevues, des observations, des données audio et vidéo et la collecte de documents. Le but de la collecte de données par divers moyens est à la fois d'améliorer les capacités du cas à générer une théorie et à fournir une validité supplémentaire aux affirmations faites.

5.4.5 Évaluation rurale rapide

L'ERR a été élaborée en réponse aux inconvénients des méthodes de recherche plus traditionnelles, notamment le temps nécessaire pour produire des résultats, le coût élevé des enquêtes officielles et les faibles niveaux de fiabilité des données en raison d'erreurs non dues à l'échantillonnage. Il s'agit d'un pont entre les enquêtes formelles et les méthodes de recherche non structurées telles que les entretiens en profondeur, les groupes de discussion et les études d'observation. L'ERR est surtout utile lorsque le taux d'alphabétisation des populations étudiées est relativement faible et que les recenseurs formés sont peu nombreux. La nature de l'ERR est telle qu'elle promet de surmonter les limites des autres procédures de collecte de données. L'approche vise à intégrer les connaissances et les opinions des populations rurales dans le processus de collecte de données climatiques. Les populations locales sont autorisées à examiner la question du changement climatique et à proposer des solutions de leur propre chef. L'ERR exige des équipes multidisciplinaires et l'utilisation d'une série de méthodes visuelles et d'entrevues semi-structurées pour apprendre des répondants. Cela signifie que les gens ne sont pas seulement écoutés, mais aussi entendus et que leur voix contribue à façonner les résultats. Parce que le respect des connaissances et des expériences locales est primordial, il en résulte des données qui reflètent les réalités locales, ce qui conduit souvent à un changement mieux soutenu et plus durable.

5.4.6 Étude de dossier / recherche documentaire

Il s'agit de résumer, de rassembler et/ou de synthétiser des données climatiques provenant de recherches ou de publications existantes (par exemple la presse, Internet, des rapports analytiques et statistiques) plutôt que de sujets de recherche ou d'expériences. Elle permet souvent d'identifier des besoins d'informations importantes qui n'ont pas été satisfaits par des recherches antérieures. Elles servent également de base pour comprendre les changements résultant des variables climatiques ou météorologiques. La recherche documentaire peut servir de technique de collecte de données autonomes ou de stade initial d'une étude et de précurseur de la recherche primaire. Il existe de nombreuses données climatiques provenant de stations météorologiques disponibles en ligne qui sont utiles pour faire des prévisions météorologiques et des prévisions de catastrophes.



Question textuelle (10 minutes)

Quels sont les avantages et les inconvénients d'une étude documentaire ou d'une recherche documentaire ?



Résumé

Au cours de cette session, nous avons pris connaissance des méthodes de collecte des données climatiques. Les méthodes appropriées aux situations ont été expliquées ainsi que les méthodes pour toutes les catégories de personnes. La prochaine session porte sur les outils et l'instrumentation.

5.5 Outils et instruments

Cette formation porte sur les outils et les instruments. Elle met en évidence les outils de collecte de données climatiques et les instruments utilisés pour la mesure des variables météorologiques.



Objectifs

À la fin de cette session, l'apprenant sera en mesure de

- Elaborer et utiliser l'outil approprié pour la collecte de données climatiques en fonction des circonstances ; et
- Décrire les instruments utilisés pour mesurer les variables météorologiques ou climatiques.



Activité 1 (Discussion de groupe) (20 minutes)

Discuter des instruments utilisés pour mesurer les facteurs météorologiques ou climatiques.

5.5.1 Questionnaires, liste de contrôle pour l'entrevue et liste de contrôle pour l'observation

Un questionnaire est un moyen d'obtenir les sentiments, les croyances, les expériences, les perceptions ou les attitudes d'un échantillon d'individus. Il s'agit d'un ensemble de questions très concises et préplanifiées, conçues pour fournir des informations spécifiques afin de répondre à un besoin particulier (par exemple, des données climatiques) pour la recherche d'informations sur un sujet pertinent (par exemple, le changement climatique ou la prévention des catastrophes). En tant qu'outil de collecte de données climatiques, il pourrait être structuré ou non. Le questionnaire peut être administré en personne, envoyé par la poste, rempli en ligne ou par téléphone. Les questionnaires ont l'avantage de l'uniformité des questions. Chaque répondant reçoit le même ensemble de questions formulées exactement de la même façon. Les questionnaires peuvent donc produire des données plus comparables que l'information obtenue par le biais d'une entrevue. Si les questions sont très structurées et que les conditions dans lesquelles on y répond sont contrôlées, alors le questionnaire pourrait être normalisé. Les questionnaires peuvent être fermés ou ouverts.

La liste de contrôle de l'entrevue ou check list de l'interview est un autre outil. L'objectif de la liste de contrôle de l'entrevue est d'explorer les points de vue, les expériences, les croyances et/ou les motivations des individus sur des sujets spécifiques. Elle permet de mieux comprendre les phénomènes sociaux plus que ne le ferait une méthode purement quantitative. Il existe trois types de listes de contrôle pour les entretiens : structurées, semi-structurées et non structurées. Les entretiens structurés sont une liste de questions prédéterminées. Ils sont relativement rapides et faciles à administrer et peuvent être particulièrement utiles si des précisions sur certaines questions sont nécessaires ou s'il est probable que les répondants aient des problèmes de lecture, d'écriture ou de calcul. En raison de leur nature structurée, ils pourraient empêcher la collecte de données supplémentaires. Inversement, les entrevues non structurées ne reflètent aucune idée préconçue et sont réalisées avec peu ou pas d'organisation. Ils commencent généralement par une simple conversation sur le sujet. Les entretiens non structurés prennent généralement beaucoup de temps et peuvent être difficiles à gérer et à réaliser, car l'absence de questions d'entrevue prédéterminées ne donne que peu d'indications sur les sujets à aborder. Leur utilisation n'est donc généralement envisagée que lorsqu'une profondeur importante est nécessaire ou lorsque l'on ne sait pratiquement rien sur le sujet. Les entretiens semi-structurés comportent plusieurs questions clés qui aident à définir les domaines à explorer, mais qui permettent aussi à l'enquêteur ou à

l'enquête de diverger afin de poursuivre une idée ou de répondre plus en détail. La souplesse de cette approche, surtout par rapport aux entretiens structurés, permet également de découvrir ou d'approfondir des informations qui sont importantes pour les participants, mais qui n'ont peut-être pas été jugées pertinentes par le chercheur auparavant.

Une liste de contrôle d'observation ou check list d'observation est une liste de choses qu'un observateur va regarder lorsqu'il observe un phénomène ou une situation. Elle donne à l'observateur une structure et un cadre d'observation. L'observation permet de surmonter l'un des principaux inconvénients des entretiens et des questionnaires, c'est-à-dire que les réponses fournies peuvent ne pas être exactes. De telles inexactitudes sont dues au fait que les répondants ne sont pas conscients de l'événement, qu'ils ne se souviennent pas exactement de ce qui s'est passé, qu'ils mentent délibérément pour paraître meilleurs qu'ils ne le sont et qu'ils désirent dire au chercheur ce qu'ils pensent que le chercheur veut entendre. L'observation peut être utilisée lorsqu'il n'est pas possible de recueillir des données au moyen d'entretiens ou de questionnaires, par exemple lorsque le sujet ou le phénomène à l'étude est inanimé.



Activité 2 (Discussion en petits groupes) (20 minutes)

Sélectionnez un type d'écosystème. Élaborer un exemple de liste de contrôle des observations pour étudier l'impact du changement climatique sur l'écosystème nommé.

Un autre outil utile est le groupe de discussion. Une discussion thématique de groupe est une discussion de groupe (sur le changement climatique dans ce cas) organisée à des fins de recherche. Ces discussions sont guidées, suivies et enregistrées par un chercheur (en tant que modérateur ou animateur) et servent à générer des informations sur les opinions collectives et les significations qui se cachent derrière ces opinions. Elles sont également utiles pour générer une méconnaissance des expériences et des croyances des participants. Les groupes de discussion partagent de nombreuses caractéristiques communes avec des entretiens moins structurés. Les outils d'approche de recherche participative tels que la cartographie des ressources, les diagrammes en arête de poisson sont également des outils de collecte de données utiles.



Question d'exercice (10 minutes)

Quels autres outils d'évaluation rurale participative pourraient s'avérer utiles pour la collecte de données/informations sur le changement climatique ?

5.5.2 Equipement

L'équipement météorologique est utilisé pour prendre des mesures de divers paramètres atmosphériques dans les stations météorologiques. Ces équipements sont utilisés pour mesurer la température, le vent, l'humidité et les précipitations, ainsi que d'autres facteurs atmosphériques qui décrivent le temps et le climat locaux. Un pluviomètre est un instrument utilisé pour mesurer la quantité de précipitations liquides sur une certaine période de temps. Dans son sens le plus simple, un pluviomètre est un outil qui recueille l'eau qui tombe du ciel sous forme de pluie. La profondeur de la pluie peut être mesurée à l'aide d'une règle. Pendant les ouragans, les vents forts rendent impossible la mesure des liquides dans les pluviomètres. De plus, lorsque la température approche du point de congélation (0°C), le liquide peut geler autour du pluviomètre et bloquer l'ouverture. Un type de pluviomètre couramment utilisé dans les stations météorologiques est le seau basculant chauffé. Ce pluviomètre fait fondre les précipitations gelées autour de l'ouverture et garde les précipitations sous forme liquide lorsqu'elles entrent dans le seau. Lorsque la pluie pénètre dans l'entonnoir, elle s'égoutte dans l'un des deux seaux qui sont équilibrés sur un pivot situé sous l'entonnoir.

Lorsque le seau se renverse, il déclenche un interrupteur à lames qui renvoie à la station météorologique des données sur la quantité de précipitations dans le seau. Cependant, l'élément chauffant peut provoquer l'évaporation de petites quantités de pluie avant qu'elles n'atteignent l'entonnoir de mesure. De plus, le seau basculant peut se bloquer ou déborder en cas de pluie de forte intensité comme les orages, ce qui peut provoquer des erreurs dans la quantité de précipitations. L'hygromètre est un autre instrument de mesure météorologique de l'humidité relative. L'humidité est la mesure de la quantité d'humidité dans l'air.

Un thermomètre mesure la température de l'air. La plupart des thermomètres sont des tubes de verre fermés contenant des liquides tels que l'alcool ou le mercure. Lorsque l'air autour du tube chauffe le liquide, celui-ci se dilate et remonte dans le tube. Une échelle indique alors la température réelle. La plupart des thermomètres mesurent par contact direct avec l'air, bien que les thermomètres à infrarouge utilisent des capteurs pour détecter le rayonnement infrarouge provenant des surfaces et estimer la température de cette manière. L'enregistreur d'ensoleillement est un appareil utilisé pour mesurer le nombre d'heures d'ensoleillement dans une journée. Un baromètre mesure la pression de l'air. Il vous indique si la pression monte ou descend. Un baromètre ascendant signifie des conditions ensoleillées et sèches, tandis qu'un baromètre descendant signifie des conditions orageuses et humides. Un baromètre anéroïde, un des types les plus courants, utilise une boîte d'air scellée pour détecter les changements de pression atmosphérique.

Une girouette est un instrument qui détermine la direction du vent. Un anémomètre mesure la vitesse du vent. Certains instruments mesurent à la fois la vitesse et la direction du vent. Le radar Doppler prend des mesures des vents dans les nuages afin de prévoir les tempêtes violentes. Les tensiomètres, le capteur filigrane ou l'irromètre sont utilisés pour mesurer l'humidité du sol. Les stations météorologiques contiennent souvent les différents instruments météorologiques énumérés ci-dessus pour recueillir des données. De plus, les scientifiques utilisent des ballons météorologiques pour recueillir des données sur l'atmosphère. Les avions et les satellites de recherche transportent également des instruments permettant de recueillir des données sur les conditions météorologiques et le climat.



Activité 3 (Remue-méninges) (20 minutes)

Concevoir des moyens novateurs pour enregistrer les conditions atmosphériques avec des matériaux locaux afin d'aider les individus et les pauvres (vulnérables) à recueillir leurs propres données climatiques.



Résumé

Dans cette session, nous avons appris à connaître les outils et instruments. La séance a permis d'expliquer les outils et les instruments permettant de recueillir des données climatiques qualitatives et quantitatives de manière respectueuse. Ces données sont essentielles pour les stratégies de prévention des catastrophes. La prochaine session porte sur l'analyse et l'interprétation des données

5.6 Analyse et interprétation des données

Cette session de formation porte sur l'analyse et l'interprétation des données. Elle met en évidence les outils d'analyse des données climatiques, les méthodes d'analyse des données et la présentation des données.



Objectifs

À la fin de cette session, l'apprenant sera en mesure de

- a) Utiliser des outils et des logiciels d'analyse des données climatiques ;
- b) Décrire les méthodes d'analyse des données climatiques ; et,
- c) Présenter et interpréter les données climatiques.

5.6.1 Outils pour l'analyse des données

Les outils d'analyse des données climatiques sont utilisés pour l'analyse, la manipulation et la représentation graphique des données sur la science atmosphérique. Il n'existe pas de logiciel unique pour effectuer ces analyses. Tous les outils logiciels et tous les langages ont des forces et des faiblesses. Pour le traitement de données à grande échelle sur une variété d'ensembles de données dans des formats de données assortis et des exigences différentes, il est peu probable qu'un outil ou un langage parfait existe. Souvent, une combinaison d'outils et de langages sera nécessaire. Le traitement des données climatiques comporte trois composantes : (1) la manipulation des fichiers ; (2) le traitement (manipulation des données et calculs) ; et (3) les graphiques (visualisation).

Il existe trois catégories différentes de logiciels utilisés pour le traitement et la visualisation des données climatiques : (1) les langages compilés (par exemple, fortran, C, C++) ; (2) les opérateurs de ligne de commande et les visualisateurs (NCO, CDO, ncview, panoply) ; et (3) les langages interprétés (NCL, GrADS, Ferret, R, Python [CDAT/PyNIO/ PyNGL/Numpy/matplotlib] et les produits commerciaux Matlab, les logiciels de statistique R, IDL et, dans une moindre mesure, PV-Wave). D'autres outils sont la Trousse d'Outil pour la météo et le Climat (offre une visualisation simple des données), l'interface cartographique SIG (Climate Data Online) (offre des capacités de cartographie dynamique spécialisées pour les ensembles de données). Les calculateurs et les tables de conversion aident les gens à comprendre et à interpréter les données météorologiques et climatiques, y compris la conversion de la température entre Celsius et Fahrenheit ou l'estimation de la vitesse du vent. L'outil de probabilité d'ensemble du système d'archivage et de distribution des modèles opérationnels (NOMADS) de la NOAA permet aux utilisateurs d'interroger le système de prévision d'ensemble global (GEFS), de décrire un ensemble de conditions et de déterminer la probabilité que ces conditions se produisent dans une localité donnée. Il existe un certain nombre d'autres sites Web (Par exemple, NASA) qui permettent de visualiser et d'effectuer des tâches de traitement limitées. Les tâches courantes comprennent les cartes de différences, les corrélations, les composites, la surveillance du climat et la dérivation des indices climatiques.



Activité 1 (Remue-méninges) (20 minutes)

- Identifiez les outils avec lesquels les populations locales peuvent facilement analyser les données climatiques et faire des déductions.
- Comment peut-on développer leurs capacités à effectuer des analyses plus complexes pour mieux faire des prévisions ?

5.6.2 Méthodes d'analyse des données

Par définition, le climat est la statistique du temps sur une période arbitrairement définie. Les méthodes utilisées pour établir les estimations statistiques peuvent être simples ou très complexes. La statistique la plus courante est la moyenne d'une variable (par exemple, la température). Cependant, le fait de se concentrer uniquement sur la moyenne peut être trompeur. Par exemple, la température moyenne peut être cohérente avec les périodes précédentes, mais la variance peut avoir changé de manière significative. La variation graduelle d'une variable au fil du temps est définie comme une tendance. Étant donné une série chronologique de températures, la tendance est la vitesse à laquelle la température change au cours d'une période donnée. La tendance peut être linéaire ou non linéaire. Une méthode courante pour analyser les données qui se produisent dans une série, comme les mesures de température dans le temps, consiste à examiner les anomalies ou les différences par rapport à une valeur de référence prédéfinie.

Une autre méthode d'analyse des données climatiques est la vérification des hypothèses. Cette approche permet de prendre des décisions à partir des données et aide également à affirmer ou à réfuter des soupçons de longue date. L'analyse en composantes principales et l'analyse des corrélations multivariées sont utilisées pour trouver des modèles connexes dans un ensemble de données bruyantes sur le climat. L'analyse de la valeur extrême (EVA) est utilisée pour évaluer la probabilité d'événements aux extrémités de la distribution d'une variable. L'EVA, par exemple, peut aider à montrer comment quantifier une inondation de 100 ans avec seulement 30 ans de données. Outre les statistiques classiques, il existe des diagnostics qui permettent d'évaluer la nature des variations climatiques sur différentes échelles de temps. La détection, l'estimation et la prévision des tendances et la signification statistique et physique qui y est associée sont des aspects importants de l'analyse du climat. L'analyse des données guide la simplification et la compréhension des processus complexes.

5.6.3 Présentation des données

Le fait de mettre les données dans un format visuel peut faciliter une analyse supplémentaire. Une façon courante de présenter les données climatiques d'une région est d'utiliser un climatogramme, une représentation graphique des précipitations et de la température mensuelles moyennes à long terme pour cette localité. Sur les climagraphe, les précipitations sont traditionnellement représentées par des barres et un graphique linéaire est utilisé pour présenter les valeurs de température mensuelles. Les données atmosphériques peuvent également être présentées sous forme de cartes et de séries chronologiques, de cartes de température et de précipitations, de séries chronologiques d'anomalies de température, de séries chronologiques homogénéisées d'observations sur place et de métadonnées associées. Des diagrammes de Taylor sont utilisés pour représenter les résultats de données et d'analyses plus complexes. La présentation des données climatiques est essentielle à des fins politiques, pour planifier la réduction des risques de catastrophes et pour améliorer les stratégies de subsistance des personnes vulnérables.



Question d'exercice (10 minutes)

De quelles manières novatrices les données climatiques pourraient-elles être présentées pour améliorer la compréhension parmi les populations moins alphabétisées ?



Résumé

Au cours de cette séance, nous avons appris à analyser et à interpréter les données. Divers outils et logiciels pour l'analyse des données climatiques ont été mentionnés. Les méthodes d'analyse et de présentation des données ont également été expliquées. La prochaine session s'occupe de la documentation de données et de l'archivage.

5.7 Documentation et archivage des données

Cette formation porte sur la documentation et l'archivage des données. Il y est question du stockage des données climatiques et des systèmes d'extraction des données.



Objectifs

À la fin de cette session, l'apprenant sera en mesure de

- a) Décrire le stockage des données climatiques ; et,
- b) Décrire l'extraction de données climatiques.



Activité 1 (Remue-méninges) (15 minutes)

Quels outils sont nécessaires pour stocker les données climatiques aux niveaux individuel et communautaire ?

5.7.1 Stockage de données

Pendant des milliers d'années, les historiens ont enregistré des informations sur le temps. Dans le passé, cette information était souvent basée sur des récits d'autres personnes et n'était pas tirée des observations personnelles des historiens. Ces comptes peuvent avoir été vagues, tronqués ou affectés par des trous de mémoire. Ce type d'information météorologique a été intégré à un immense éventail d'autres types d'information, dont une grande partie est contenue dans les bibliothèques et les archives nationales. Les archives météorologiques nationales spécialisées sont relativement récentes, les plus anciennes ayant été créées au cours de la première moitié du XXe siècle. Les premiers documents sous forme de manuscrits étaient conservés dans des journaux quotidiens, hebdomadaires ou mensuels. Des notes ont été prises sur des événements extrêmes ou catastrophiques tels que des températures élevées ou basses, des vitesses de vent anormales, des précipitations excessives ou une sécheresse prolongée, des dates de gel ou de congélation, des ouragans et des tornades. Des tempêtes, des périodes d'accalmie, des vents, des courants, des types de nuages et des périodes sans nuages ont été notés dans les journaux de bord des navires. Les dates de gel et de dégel des rivières, des lacs et des mers, ainsi que les dates de la première et de la dernière chute de neige, étaient souvent consignées comme une partie importante de tout journal. Des revues spécifiques pour la collecte et la conservation de l'information climatologique ont été établies au cours des deux ou trois derniers siècles. Jusque dans les années 1940, les formulaires élaborés, imprimés et utilisés dans les divers pays étaient souvent différents, et les observations étaient normalement consignées à la main.

Depuis les années 1940 et surtout depuis la création de l'OMM, les formulaires et procédures normalisés se sont progressivement généralisés et les archives météorologiques nationales ont été désignées comme lieu de stockage de ces documents. A chaque nouvelle amélioration ou ajout aux outils d'observation, le nombre d'éléments ou de variables inscrits dans les journaux et les carnets de bord a augmenté et des formats spécialement préparés ont été mis au point. Même si les formats ont changé, la régularité, la cohérence ou la continuité de la tenue des dossiers a toujours été souhaitable. Un bon registre chronologique doit être tenu à jour et dans l'ordre chronologique. Des observations et des enregistrements méthodiques et minutieux permettent de faciliter la collecte, l'archivage et l'utilisation des documents. La collecte, la transmission, le traitement et le stockage des données météorologiques opérationnelles sont toutefois considérablement améliorés par les progrès de la technologie informatique et les archives météorologiques sont de plus en plus remplies de données qui n'ont jamais été enregistrées sur papier. La puissance et la facilité d'utilisation des ordinateurs, la capacité d'enregistrer et de transférer l'information par voie électronique, et le développement de mécanismes d'échanges internationaux, comme Internet, ont donné aux climatologues de nouveaux outils pour améliorer rapidement la compréhension du climat.

La gestion de la grande variété de données recueillies à des fins météorologiques ou climatologiques exige une approche systématique qui englobe les documents papier, les documents sur microforme et les documents numériques. Pour y parvenir, il faut faire appel aux services d'un gestionnaire de données. Une fonction importante du gestionnaire de données est d'estimer les besoins de stockage des données, y compris l'estimation de la croissance future. Il faut tenir compte des informations supplémentaires à inclure dans les enregistrements de données (par exemple, les indicateurs de qualité des données, les messages originaux et la date et l'heure des mises à jour des enregistrements), des besoins en matière de métadonnées et de toute redondance nécessaire pour garantir que les bases de données peuvent être restaurées. Certains types de données (comme celles provenant de la télédétection, de l'océanographie à haute résolution temporelle) nécessitent de grandes quantités de stockage. Les données non conventionnelles (telles que l'humidité du sol, les observations phénologiques et les indices de végétation) peuvent avoir des besoins de stockage différents des observations plus traditionnelles. Les documents non numériques doivent être entreposés de manière à minimiser leur détérioration. Ils devraient être entreposés dans un environnement contrôlé afin d'éviter les extrêmes de température et d'humidité, les insectes, les parasites, les incendies, les inondations, les accidents ou la destruction délibérée. Un exemple l'idéal serait le stockage dans des boîtes sans acide dans des entrepôts climatisés et sécurisés.



Questions textuelles (10 minutes)

- 1) Les services météorologiques nationaux ont-ils la capacité et les ressources nécessaires pour gérer efficacement les données climatiques ?
- 2) Que sont les métadonnées ?

Un programme d'entretien devrait être établi pour sauver les documents qui se détériorent et en particulier les données qu'ils contiennent. Les images électroniques des documents papier peuvent être stockées et récupérées à l'aide de technologies informatiques telles qu'un logiciel de reconnaissance optique de caractères. Il est important de se rappeler qu'aucun support de stockage n'est permanent et qu'il faut donc procéder à un examen régulier des dispositions archivistiques. Les archives informatisées doivent être sauvegardées de manière sûre et régulière avec au moins une copie stockée dans un site séparé de l'archive principale.

En résumé, les données climatologiques sont plus utiles si elles sont éditées, contrôlées en qualité et stockées dans une archive nationale ou un centre climatique et si elles sont rendues facilement accessibles sous des formes faciles à utiliser. Un système de gestion des données climatiques (SGDCC) est un ensemble d'outils et de procédures qui permet de stocker et de gérer correctement toutes les données pertinentes pour les études climatiques. Les principaux objectifs de la gestion de la base de données sont de maintenir l'intégrité de la base de données en tout temps et de s'assurer que la base de données contient toutes les données et métadonnées nécessaires pour répondre aux exigences pour lesquelles elle a été créée, maintenant et à l'avenir. Les systèmes de gestion de bases de données ont révolutionné la gestion des données climatiques en permettant un stockage, un accès, une conversion et une mise à jour efficaces pour de nombreux types de données, et en renforçant la sécurité des données.

5.7.2 Systèmes d'extraction de données

Il est essentiel que l'élaboration des bases de données climatiques et la mise en œuvre des pratiques de gestion des données tiennent compte des besoins et des capacités des utilisateurs de données actuels et futurs. Bien que cette exigence puisse sembler intuitive, des informations importantes pour une application utile sont parfois omises, ou alors les centres de données n'engagent pas suffisamment de ressources pour vérifier la qualité des données pour lesquelles les utilisateurs exigent explicitement ou implicitement une qualité élevée. Par exemple, une base de données sans codes météorologiques actuels et passés pourrait entraîner une sous-estimation de la prévalence des phénomènes observés.

Dans tous les nouveaux développements, les gestionnaires de données devraient essayer d'avoir au moins un utilisateur clé de données au sein de l'équipe de projet ou d'entreprendre un processus de consultation régulières des parties prenantes utilisatrices pour se tenir au courant des changements des besoins et de tous les problèmes que les communautés d'utilisateurs peuvent avoir. Un aspect important de tout système de gestion des données (SGD) est la capacité des installations à effectuer l'extraction et l'analyse des données. La plupart des utilisateurs devraient disposer d'une interface graphique pour la récupération des données, et le petit nombre d'utilisateurs avertis qui ont besoin d'extractions non standards devrait disposer d'une ligne de commande. Les utilisateurs devraient pouvoir préciser leurs propres critères d'extraction, et la documentation du système devrait être claire et fournir autant d'information que nécessaire pour appuyer les utilisateurs. Les options de sortie devraient être étendues et inclure des facilités pour personnaliser les stations, les heures et les détails des présentations de sortie. Il faut donner accès aux listes de données, aux résumés tabulaires, aux analyses statistiques et à la présentation graphique.

Pour prévenir la perte ou l'endommagement du SGD, il est nécessaire d'avoir des politiques de sécurité. Un audit rétrospectif est l'une de ces mesures de sécurité. Il s'agit d'un enregistrement indiquant qui a accédé à un SGD et quelles opérations ont été effectuées pendant une période donnée. Les audits rétrospectifs sont utiles pour récupérer les transactions perdues. La plupart des systèmes comptables et des SGD ont mis en place un audit rétrospectif. Il existe des logiciels d'audit qui permettent aux administrateurs de réseau de surveiller l'utilisation des réseaux. Les principes de sécurité des mots de passe devraient être appliqués, notamment ne pas partager les mots de passe, ne pas les écrire sur papier, les changer régulièrement et utiliser des mots de passe « forts » avec des lettres, des chiffres et des caractères apparemment sans rapport. Tous les services inutiles devraient être désactivés sur l'ordinateur de la base de données, la base de données doit être protégée contre les attaques de virus et de pirates informatiques, des sauvegardes régulières doivent être effectuées. Les stations météorologiques nationales/régionales devraient mettre à disposition des enregistrements écrits de données climatiques lorsque la demande est faite par des parties prenantes qui ne peuvent pas accéder aux ordinateurs.



Activité 2 (Discussion en petits groupes) (20 minutes)

S'il existe des audits pour assurer l'intégrité des données dans les systèmes de stockage informatique, comment peut-on garantir l'intégrité des données enregistrées manuellement ?



Résumé

Dans cette session, nous avons appris à documenter et à archiver les données. La façon appropriée de stocker les données climatiques a été apprise. On a discuté des moyens de récupérer les données climatiques tout en assurant la sécurité et la validité des données.

Références

- Angrosino, M.V., M. de Perez & A. Kimberly, 2000. Rethinking observation: From method to context. In Norman K. D & S.L. Yvonna (Eds.): *Handbook of Qualitative Research* (2nd edition, pp.673-702), Thousand Oaks, CA: Sage.
- Brown, O. & A. Crawford, 2009. Climate change and security in Africa: A study for the Nordic-African Foreign Ministers Meeting. Winnipeg: IISD. Available at: http://www.iisd.org/pdf/2009/climate_change_security_africa.pdf.
- Brunsdon, C., J. McClatchey & D.J. Unwin, 2001. Spatial variations in the average rainfall-altitude relationship in Great Britain: and approach using geographically weighted regression. *International Journal of Climatology* 21:455-466.
- Chamberlain, K., P. Camic & L. Yardley, 2004. Qualitative analysis of experience: grounded theory and case studies. In D.F. Marks & L. Yardley (eds): *Research methods for clinical and health psychology*. London: SAGE.
- Church, J.A. & N.J. White, 2006. A 20th century acceleration in global sea level rise, *Geophysical Research Letters* 33.
- Coles, S., 2001. *An introduction to statistical modeling of extreme values*. Springer, London. 208 pp.
- Cornford, D., 1998. An overview of interpolation. In M. Bindi & B. Gozzini (eds): *Seminar on Data Spatial Distribution in Meteorology and Climatology*. Volterra, European Union COST Action 79.
- De Gaetano, A.T. & K.L. Eggleston, 2004. Complex quality assurance of historical hourly surface airways meteorological data.
- De Gaetano, A.T., 1997. A quality control procedure for hourly wind data. *J. Atmos. Oceanic Technol.* 14:137-151. Graybeal, D.Y., A.T.
- Dunlap, R.L., M.S. Rugaber, V. Balaji, J. Chastang, L. Cinquini, C. DeLuca, D. Middleton & S. Murphy, 2008. Earth system curator: metadata infrastructure for climate modeling. *Earth Science Informatics* 1(3-4):131-149.
- Egger, A.E. & A. Carpi, 2009. *Data collection, analysis and interpretation: Visionlearning Vol. HID (5)*.
- Fowler, J.F., 1994. *Survey research methods*. Sage Publications. Beverly Hills, CA.
- Fredlund, D.G. & H. Rahardjo, 1993. *Soil Mechanics for Unsaturated Soils*. Wiley Interscience.
- Giannini, A., R. Saravanan & P. Chang, 2003. Oceanic forcing of Sahel rainfall on interannual to interdecadal timescales. *Science* 302:1027-1030.
- Goovaerts, P., 2000. Geostatistical approaches for incorporating elevation into the spatial interpolation of rainfall. *Journal of Hydrology* 228:113-129.
- Hammersley, M. & P. Atkinson, 1995. *Ethnography: Principles in practice*. 2nd ed. London: Routledge.
- Invention of the Meteorological Instruments*. W.E. Knowles Middleton, The Johns Hopkins Press, Baltimore.
- Hegerl, G.C., 1996. Detecting Greenhouse-Gas-Induced Climate Change with an Optimal Fingerprint Method. *Journal of Climate* 9:2281-2306.
- Hennemuth, B., S. Bender, K. Bülow, N. Dreier, P. Hoffmann, E. Keup-Thiel & C. Mudersbach, 2015. Collecting Statistical Methods for the Analysis of Climate Data as Service for Adaptation Projects. *American Journal of Climate Change* 4:8-21

IPCC, 2007. Climate change 2007: The physical science basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of IPCC. New York: Cambridge University Press.

IPCC, 2013. Climate Change 2013. The Physical Science Basis. Working Group1, Annex III: Glossary. Fifth Assessment Report. Geneva: IPCC.

Jacobson, M.Z., 2005. Fundamentals of Atmospheric Modeling. 2nd ed. New York: Cambridge University Press. p. 828.

Jarvis, C.H. & N. Stuart, 2001. A comparison among strategies for interpolating maximum and minimum daily air temperatures. Part II: the interaction between number of guiding variables and the type of interpolation method. *Journal of Applied Meteorology* 40:1075-1084.

Jones, P.D., T.M.L. Wigley & P.B. Wright, 1986. Global temperature variations between 1861 and 1984. *Nature* 322(6078):430-434.

Kresse, W. & K. Fadaie, 2004. ISO Standards for Geographic Information. Berlin, Springer.

Lee, M.J., D.M. Hollis & E. Spackman, 2000. From raw data to the internet – producing quality climatological services. Proceedings of the 3rd European Conference on Applied Climatology, Pisa National Center for Atmospheric Research.

Legard, R., J. Keegan & K. Ward, 2003. In-depth interviews. In Ritchie J. & J. Lewis (eds): *Qualitative research practice: a guide for social science students and researchers*. pp 139–169. London: Sage Publications.

Lindzen, R.S., 1990. Some coolness concerning global warming. *Bulletin of the American Meteorological Society* 71(3):288-299.

Mann, M.E., R.S. Bradley & M.K. Hughes, 1998. Global-scale temperature patterns and climate forcing over the past six centuries. *Nature* 392(6678):779-787.

Mason, S., A. Kruczkiewicz, P. Ceccato & A. Crawford, 2015. Promoting climate-resilient peacebuilding in fragile states. International Institute for Sustainable Development.

May, K.M., 1991. Interview techniques in qualitative research: concerns and challenges. In Morse, J.M. (ed): *Qualitative nursing research*. pp 187–201. Newbury Park: Sage Publications.

Met Office, 2012. Rebuilding the Sierra Leone weather service. Exeter: Met Office. Morgan, D.L., 1998. *The focus group guide book*. London: Sage Publications.

National Research Council (NRC), 2006. *Surface Temperature Reconstructions for the Last 2,000 Years*. National Academy Press, Washington, DC.

Ninyerola, M., X. Pons & J.M. Roure, 2000. A methodological approach of climatological modelling of air temperature and precipitation through GIS techniques. *International Journal of Climatology* 20:1823-1841.

Peebles, P., 1998. *Radar Principles*. John Wiley & Sons, Inc.

Roth, W-M., 2006. Textbooks on qualitative research and method/methodology: Toward a praxis of method. In *Forum for Qualitative Social Research* 7(1).

Schwartz, M.D., 1995. Detecting Structural Climate Change: An Air Mass-Based Approach in the North Central United States, 1958–1992. *Annals of the Association of American Geographers* 85(3):553–568.

Stake, R.E., 1995. *The Art of Case Study Research*. Thousand Oaks, CA: SAGE.

Stake, R.E., 2005. Qualitative case studies. In N.K. Denzin & Y.S. Lincoln (eds.): *The sage handbook of qualitative research*. 3rd ed. Thousand Oaks, CA: SAGE. pgs. 443-466.

Taylor, K.E., 2001. Summarizing multiple aspects of model performance in a single diagram, *J. Geophys. Res.* 106(D7):7183–7192,

Taylor-Powell, E.S.S., 1996. *Collecting Evaluation Data: Direct Observation*. University of Wisconsin Cooperative Extension. Available at: <http://learningstore.uwex.edu/pdf/G3658-5.PDF>.

Thornthwaite, C.W., 1948. An Approach Toward a Rational Classification of Climate. *Geographical Review* 38(1):55–94.

Vicente-Serrano, S.M., M.A. Saz-Sanchez & J.M. Cuadrat, 2003. Comparative analysis of interpolation methods in the middle Ebro Valley (Spain): application to annual precipitation and temperature. *Climate Research* 24:161-180.

von Storch, H. & F.W. Zwiers, 2002. *Statistical Analysis in Climate Research*. Cambridge University Press, Cambridge, UK. 494 pp.

Wilks, D.S., 2005. *Statistical Methods in the Atmospheric Sciences*. 2nd edition, Academic Press Inc. 627pp. Willig, C., 2008. *Introducing qualitative research in psychology: Adventures in theory and method*. London: Open University Press.

WMO, 2010. *Why investing in the rebuilding of the National Meteorological Service of Haiti?* Geneva: World Meteorological Office.

WMO (n.d.). *WMO Disaster Risk Reduction Programme*. Available at: <http://www.wmo.int/pages/prog/drr/>. WMO, 1988. *WMO Region III/IV Training Seminar on Climate Data Management and User Service*. Barbados, 22–26 September 1986; Panama, 29 September–3 October 1986. (WMO/TD No. 227, WCDP No. 1). Geneva.

WMO, 1997. *Meeting of the CCI Working Group on Climate Data: Summary Report*, Geneva, 30 January–3 February 1995 (WMO/TD No.841, WCDMP No. 33), Geneva.

WMO, 2002. *Report of the Climate Database Management Systems Evaluation Workshop*. Geneva, 27 May– 1 June 2002 (WMO/TD No.1130, WCDMP No. 50), Geneva.

WMO, 2004. *Fourth Seminar for Homogenization and Quality Control in Climatological Databases-Budapest*, 6–10 October 2003 (WMO/TD No.1236, WCDMP No. 56), Geneva.

WMO, 2007. *Guidelines on Climate Data Management* (WMO/TD No. 1376, WCDMP No. 56), Geneva. Yin, R.K., 2009. *Case study research: Design and methods*. SAGE Publications: Thousand Oaks, CA.

Principaux auteurs

Prof. Adjima Thiombiano

Université de Ouagadougou, Laboratoire de
Biologie et Ecologie Végétales,
03 BP 7021 Ouagadougou 03, Burkina Faso,
Tél: +226 70 23 82 61; Email: adjima_thiombiano@yahoo.fr

Dr. Emmanuel Acheampong

Maître de conférences ; Département de
sylviculture et de gestion forestière ; Faculté des
ressources naturelles renouvelables ; Université
des sciences et technologies Kwame Nkrumah
(KNUST); Private Mail Bag, KNUST, Kumasi, Ghana
Tel: 0243412179; Email: ekachie@yahoo.com;
eacheampong.irnr@knust.edu.gh

Liste des autres contributeurs

Nom et institution d'affiliation

Dr. Abasse Tougiani

Senior Research Scientist; National Institute for
Agricultural Research of Niger (INRAN)
BP 429, Niamey, Niger;
Tel: +227 96970886;
Email: abasse.tougiani@gmail.com

Dr. Bayen Philippe

Lecturer; University of Dédougou;
Private Bag Burkina Faso;
Cel: 226-705-73-601; Email: phbayen@yahoo.fr

Prof. Busuyi Olasina Agbeja
University of Ibadan, Nigeria; Department of
Social and Environmental Forestry
Faculty of Renewable Natural Resources;
13, Ijoma Street, University of Ibadan, Nigeria;
Email: olasinagbeja@yahoo.com;
bo.agbeja@mail.ui.edu.ng

Prof. Alfred Opere

Chairman of Department of Meteorology,
University
of Nairobi, College of Biological and Physical
Sciences, Department of Meteorology;
P.O. Box 30197-00100, GPO, Nairobi, Kenya;
Email: aopere@uonbi.ac.ke

Dr. Bamba Sylla

Head of Research Cluster: Climate Change and
Climate Variability, West African Science Service
Center on Climate Change and Adapted
Landuse (WASCAL);
WASCAL Competence Center, Ouagadougou,

Burkina Faso;

Tel: Office: (+226) 25 37 54 23/29/39; Cell:
(+226); 76 76 53 85 (+226) 76 89 66 70,
E-mail: sylla.b@wascal.org; syllabamba@yahoo.fr

Mrs. Beatrice Kolie

Assistant Lecturer ; Centre d'Etudes et de
Recherche en Environnement; Université de
Conakry;
Private Bag; Conakry, République de Guinée

Dr. Daud Kachamba;

Lecturer; Lilongwe University of Agriculture and
Natural Resources (LUANAR);
Private Bag, Lilongwe; Tel: +265 993 605154;
Email: dkachamba@gmail.com

Dr. Dan Guimbo Iro

Senior Lecturer; Faculté d'Agronomie, Université
Abdou Moumouni (Niger);
Tel: (+227)96461038/90525602;
Email: danguimbo@yahoo.fr

Prof. Dan Lansana Kourouma Centre d'Etudes et de Recherche en

Environnement, Université de Conakry,
République de Guinée;
Email: dan_lansana@yahoo.fr
Dr. Darlington Chima Uzoma
Senior Lecturer; University of Port Harcourt;
Department of Forestry and Wildlife;
Choba, P. M. B 5323; Nigeria;
Email: uzoma.chima@uniport.edu.ng

Dr. Dickson Makanji

Lecturer, Egerton University, Njoro Campus,
Department of Natural Resources;
P.O Box 536 Egerton 20115 , Kenya;
Mobile: +254. 0702115860;
Email: lmakanji@hotmail.com;
makanji@yahoo.co.uk

Dr. Doris Mutta

Senior Programme Officer; African Forest Forum
(AFF);
C/o World Agroforestry Center (ICRAF), United
Nations Avenue; P.O. Box 30677-00100, Nairobi,
Kenya;
Tel: +254 020 7224485; Fax: +254 020 7224001;
Email: D.mutta@cgiar.org

Dr. Godfrey Hampwaye

Senior Lecturer, The University of Zambia, Dept of
Geography and Environmental Studies;
Great East road, P.O Box 32379, Lusaka, Zambia;
Tel: +260 211 290 603,
Mobile: +260-977 806 063;
Email: ghampwaye@unza.zm; hampwaye@yahoo.co.uk

Prof. Godwin Kowero

Executive Secretary; African Forest Forum (AFF);
C/o World Agroforestry Center (ICRAF), United
Nations Avenue; P. O. Box 30677 – 00100,
Nairobi, Kenya;
Phone: +254207224203;
/Email: G.kowero@cgiar.org

Prof. Eliakimu Zahabu

Department of Mensuration and Management ;
Sokoine University and Agriculture, Faculty of
Forestry and Nature Conservation;
P.O. Box 3013 Chuo, Kikuu, Morogoro, Tanzania;
/Email: zahabue@yahoo.com;
zahabue@suanet.ac.tz

Mr. Emmanuel Seck

Programme Manager; ENDA - Energy
Environment Development ;
Complexe SICAP Point E Bâtiment B; 1er étage
Avenue Cheikh Anta Diop X Canal IV; Dakar,
Senegal;
Tél : (221) 33 869 99 48/49;
Fax : (221) 33 860 51 33;
Email : se@endatiersmonde.org;/ssombel@yahoo.fr

Mr. Eric Christophe Bayala

Chef de service Ecovillages ; Direction Generale
de l'economie; Vorte et du changement climatique
BP 7044, Ouagadougou, Burkina Faso;
Tel: 78914757 / 70650252;
/Email: bayalaeric2@gmail.com

Dr. Eyob Tesfamariam

Lecturer; University of Pretoria; RM 5-15, Plant
Sciences Complex;
Corner of Lynwood Rd & Roper St.; Hatfield 0028;
South Africa;
Mobile: +27-724597140;
Email: eyob.tesfamariam@up.ac.za

Dr. Franklin Joseph Opijah

Senior Lecturer; University of Nairobi; Chiromo
Campus; Department of Meteorology;
P.O Box 30197-00100 ; Nairobi, Kenya;
Email: fopija@uonbi.ac.ke; fopijah@gmail.com;
fopijah@yahoo.com

Prof. Jacob Mwitwa

University of Copper belt, School of Natural
Resources, Zambia;
Cell: +260 977 848 462;
Email: Jacob.mwitwa@gmail.com

Prof. John Nzioka Muthama

Deputy Director; Wangari Maathai Institute for
Peace and Environmental Studies; University
of Nairobi, College of Biological and Physical
Sciences; Head of Climate Change; Department
of Meteorology;
P.O. Box 15160-00100, GPO, Nairobi Kenya;
Email: jmuthama@uonbi.ac.ke;
jnmuthama@gmail.com

Dr. Joshua Ngaina

Chairman, Meteorology Department,
South Eastern Kenya University (SEKU),
Department of Meteorology;
P.O. Box 170-90200, Kitui, Kenya;
Email: jngaina@gmail.com

Dr. Joyce Lepetu

Senior Lecture (Forest Sciences); Director, Centre
of In Service and Continuing Education (CICE),
Botswana University of Agriculture and Natural
Resources (BUAN);PB 0027; Gaborone, Botswana;
Tel: +267 3650396; +267 3650100; Cell: (00267)
75168163;
Email: jlepetu@bca.bw; jlepetu@yahoo.com

Dr. Jules Bayala

Principal Scientist - Sahel Ecosystems; World Agroforestry Centre (ICRAF) ; West and Central Africa Regional Office - Sahel Node; BP E5118, Bamako, Mali; Tel: +223 20 70 92 20; Mobile: +223 77 71 41 90; Email: J.Bayala@cgjar.org

Prof. Kokou Kouami

Director of the Master of Climate and Human Security, West African Science Service Centre on Climate Change and Adapted Land Use (WASCAL), University of Lome, Faculté des Sciences; BP 1515, Lomé, Domicile BP 80825 Lomé, Togo; Tel (00) 228 90 02 04 11/ Dom. (00) 228 22 71 33 44; Email: kokoukouami@hotmail.com

Prof. Kokutse Adzo Dzifa, Epse Kokou University of Lomé; Department of Botany; BP 80825; Lomé Togo;

Tel: 0022890865207; Email: mimidam@hotmail.com

Dr. Kossi Adjonou

Université de Ouagadougou, Laboratoire de Biologie et Ecologie Végétales ; 03 BP 7021, Ouagadougou 03, Burkina Faso; Tél: +226 70 23 82 61; Email: adjima_thiombiano@yahoo.fr

Prof. Larwanou Mahamane

Senior Programme Officer and Head of Programmes Management Unit; African Forest Forum (AFF); C/o World Agroforestry Center (ICRAF); United Nations Avenue; P.O. Box 30677-00100, Nairobi, Kenya; Phone: +254207224624; Email: M.larwanou@cgjar.org

Dr. Lizzie Mujuru

Senior Lecturer; Department of Environmental Science, Bindura University; Private Bag 1020, Bindura, Zimbabwe ; Tel/Fax: +263 271-6505, cell:+263 712 220 651/263 730 352279/+263 735302279 Email: mujuru2004@yahoo.co.uk

Dr. Louis Sawadogo

Directeur de Recherche en Biologie et Ecologie Vegetales; CNRST/INERA; 03 BP 7047, Ouagadougou 03, Burkina Faso; Tel: 70255877; Email: sawadogo_ls@hotmail.com

Prof. Louis Zapfack

University of Yaounde 1, Faculty of Science, Department of Plant Biology; P.O. Box 812, Yaounde, Cameroon; Tel: +237-99-3396; Email: lzapfack@yahoo.fr

Mr. Macarthy Afolabi Oyebo

Chair, Governing Council, African Forest Forum; No. 3 Daniel Arap Moi Close; Off Maitama Sule Street, Asokoro; Abuja, Nigeria; Email: fofa31@gmail.com

Dr. Massaoudou Moussa

Research Scientist, National Institute for Agricultural Research of Niger; BP 240, Maradi, Niger; Email : massaoudmoussa@yahoo.fr Pr. Nacro H. Bismark University Nazi Boni of Bobo Dioulasso; Tel: 70247825; Email: nacrohb@yahoo.fr

Prof. Paxie Chirwa

University of Pretoria; SAFCOL Forest Chair & Director, Postgraduate Forest Programme; RM 5-15, Plant Sciences Complex; Corner of Lynwood Rd & Roper St; Hatfield 0028; South Africa; Tel +27(0)12 420 3213/3177; Cell +27(0)82 852 3386; Email: paxie.chirwa@up.ac.za Alt Email: forestscience@up.ac.za; Extraordinary Prof of Forest Science, Stellenbosch University

Dr. Paul Donfack

Programme Officer; African Forest Forum (AFF); C/o World Agroforestry Center (ICRAF), United Nations Avenue; P.O. Box 30677-00100, Nairobi, Kenya; Tel: +254 020 7224485; Email: p.donfack@cgjar.org

Dr. Ouédraogo Issaka

Lecturer; Université de Ouagadougou; Laboratoire de Biologie et Ecologie Végétales; 03 BP 7021, Ouagadougou 03, Burkina; Email: sonrenoma@yahoo.fr

Dr. Ouédraogo Amadé

Lecturer, Université de Ouagadougou;
Laboratoire de Biologie et Ecologie Végétales;
3 BP 7021, Ouagadougou 03, Burkina Faso;
Email: o_amade@yahoo.fr

**Prof. Rajoelison Lalanirina Gabrielle Head
Department of Water and Forestry;**

School of Agronomy; University of Antananarivo;
BP 175, Antananarivo, Madagascar;
Tel. +261 32 46 060 16;
Email: g.rajoelison@yahoo.fr

Mr. Richard Banda

Principal, Zambia Forestry College;
Ministry of Lands, Natural Resources and
Environmental Protection
Private Bag 1, Mwekera; Kitwe, Zambia;
Tel. +260-212-252459; +260-212-251 460;
Mobile: +260-966 845 945;
Email: rbinda4@yahoo.com

Dr. Rodrigue Castro Gredomon

Head of Unit; Forest and People Livelihood
Research Unit; Laboratoire de Bio-mathéma-
tiques et d'Estimations Forestières; University of
Abomey-4 Calavi; Faculty of Agronomic Sciences;
P.O. Box 1525, Cotonou, Benin;
Email: castro.gbedomon@fsa.uac.bj;
gbedomon@gmail.com

Dr. Shem Kuyah

Lecturer, Botany Department; Jomo Kenyatta
University of Agriculture and Technology,
P.O. Box 62000-00200 Nairobi, Kenya;
Mob. +254-721-590-198;
Email: kshem@jkuat.ac.ke,
kuyashem@gmail.com

Dr. Salamatou I. Abdourahamane,

Senior Lecturer; University of Diffa; BP 78 Diffa,
Niger;
Tel: (00227) 90316959/ 96978635;
Email: assalamat2@yahoo.com

Dr. Tajudeen Okekunle Amusa

Lecturer; University of Ilorin; Fac., of Agriculture;
Dept.of Forest Resources Management;
P.M.B 1515, Ilorin; Kwara State, Nigeria;
Tel: 08051750289; 07033831616;
Email: amusa.to@unilorin.edu.ng;
teejayui@gmail.com

Dr. Vincent Onguso Oeba

Programme Officer; African Forest Forum (AFF);
c/o World Agroforestry Center (ICRAF), United
Nations Avenue; P.O. Box 30677-00100;
Nairobi, Kenya;
Phone: +254207224000 Ext 4048;
Email: v.oeba@cgiar.org;
vongusoeba@gmail.com

Dr. Wilson Kasolo

Executive Secretary; ANAFE; c/o World
Agroforestry Centre (ICRAF);
P.O. Box 30677-00100, Nairobi, Kenya;
Email: W.Kasolo@cgiar.org

Prof. Winston J. Akala

Dean School of Education, College of Education
and External Studies, University of Nairobi;
P.O Box 30197-00100, Nairobi, Kenya,
Tel: 066-32117/32020/29,
Cell: +254723432546,
Email: akala@uonbi.ac.ke;
akalajumba@yahoo.com

Prof. Zac Tchoundjeu

Higher Institute of Environmental Sciences;
P.O Box 35460; Yaounde, Cameroon;
Phone: +237-677 707582;
Email: z.tchoundjeu@cgiar.org



Forum forestier africain

Une plateforme pour les acteurs du secteur forestier africain



Forum forestier africain

United Nations Avenue, Gigiri
B. P. 30677-00100
Nairobi, Kenya

Tél : +254 20 722 4203
Fax : +254 20 722 4001
Site Web : www.afforum.org

ISBN 978-9966-7465-2-8



9 789966 746528

