

Le climat et la dégradation des sols



**Organisation
météorologique
mondiale**

Temps • Climat • Eau

OMM-N° 989

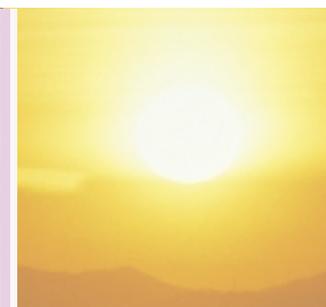
2005

informations climatologiques – conservation des ressources – gestion viable des terres

Le climat et la dégradation des sols



Organisation
météorologique
mondiale
Temps • Climat • Eau
OMM-N° 989



informations climatologiques – conservation des ressources – gestion viable des terres

OMM-N° 989

© 2005, Organisation météorologique mondiale

ISBN 92-63-20989-8

NOTE:

Les appellations employées dans cette publication et la présentation des données qui y figurent n'impliquent de la part du Secrétariat de l'Organisation météorologique mondiale aucune prise de position quant au statut juridique des pays, territoires, villes ou zones, ou de leurs autorités, ni quant au tracé de leurs frontières ou limites.



TABLE DES MATIÈRES

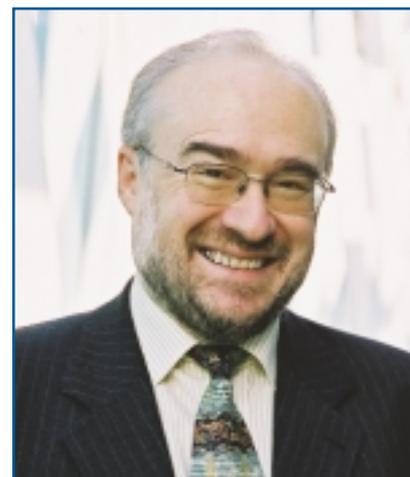
Avant-propos	4
Introduction	6
Étendue et taux de dégradation des sols	6
La dégradation des sols – Ses causes	8
Les conséquences climatiques de la dégradation des sols	9
Le rôle des facteurs climatiques dans la dégradation des sols	10
Les précipitations	12
Les crues	15
La sécheresse	15
Rayonnement solaire, température et évaporation	19
Le vent	20
Les causes de l'érosion éolienne	21
Les conséquences climatiques des tempêtes de poussière	23
Feux de friches, dégradation des sols et émissions dans l'atmosphère	25
Changement climatique et dégradation des sols	25
Fixation du carbone pour atténuer le changement climatique et combattre la dégradation des sols	27
Comprendre les interactions entre le climat et la dégradation des sols – Le rôle de l'OMM	27
Perspectives d'avenir	32

AVANT-PROPOS

La Convention des Nations Unies sur la lutte contre la désertification (CCD) est entrée en vigueur le 26 décembre 1996; plus de 179 pays en étaient parties en mars 2002. Dans la Convention, la désertification est définie comme étant «la dégradation des terres dans les zones arides, semi-arides et subhumides sèches par suite de divers facteurs, parmi lesquels les variations climatiques et les activités humaines».

La désertification touche directement plus de 250 millions de personnes et en menace environ un milliard dans plus de 100 pays. Ces personnes comptent parmi les citoyens les plus pauvres, les plus marginalisés et les plus fragiles sur le plan politique. La lutte contre la désertification est donc une priorité absolue dans le cadre des efforts collectifs visant à assurer la sécurité alimentaire et les moyens de subsistance des millions d'habitants des terres arides du monde.

Le développement durable des pays frappés par la sécheresse et la désertification ne deviendra une réalité qu'à la suite d'efforts concertés s'appuyant sur une bonne compréhension des différents facteurs qui contribuent à la dégradation des terres. On sait que les variations climatiques sont l'un des éléments essentiels qui concourent à la dégradation des sols, telle qu'elle est définie dans la Convention. Il est plus important de s'interroger sur le climat, une des causes profondes de la dégradation des sols, que de s'occuper uniquement des conséquences de cette dégradation. Par exemple, la mise au point et l'adoption de pratiques viables de gestion des terres est une des principales mesures pour s'attaquer au problème dans les vastes étendues arides du globe. Or, pour pouvoir évaluer avec précision ces pratiques, il faut connaître les ressources climatiques d'une région et le risque de catastrophes naturelles liées au climat ou induites par celui-ci.



À ce jour, la Conférence des Parties (COP) a tenu six sessions au cours desquelles plusieurs questions importantes liées aux problèmes de la sécheresse et de la désertification ont été abordées. L'article 5 de la Convention enjoint les pays touchés Parties de s'attaquer aux causes profondes de la désertification; il est temps de consacrer plus d'efforts à mieux comprendre le rôle des facteurs climatiques dans la dégradation des sols. Il est également nécessaire de noter que l'article 16 relatif à la collecte, à l'analyse et à l'échange d'informations souligne l'importance d'intégrer et de coordonner la collecte, l'analyse et l'échange de données et d'informations pertinentes portant sur des périodes de courte et de longue durée pour assurer l'observation systématique de la dégradation des terres dans les zones touchées et mieux comprendre et évaluer les phénomènes et les effets de la sécheresse et de la désertification. Les recherches sur les causes et les effets des variations climatiques et sur les prévisions climatiques à long terme en vue de déclencher des alertes précoces sont essentielles. Ces questions appellent l'attention du Comité de la science et de la technologie de la COP.

En tant qu'institution spécialisée des Nations Unies, l'Organisation météorologique mondiale (OMM) étend les applications de la météorologie et de l'hydrologie à différents secteurs, dont l'agriculture et d'autres activités humaines. À cet égard, l'OMM encourage l'observation systématique, la collecte, l'analyse et l'échange de données et d'informations météorologiques, climatologiques et hydrologiques; la planification, la prévention et la gestion des situations de sécheresse; les recherches sur les variations et les prévisions climatiques; et le renforcement des capacités et le transfert de connaissances et de technologie. Les programmes de l'OMM, en particulier ceux qui concernent la météorologie agricole ou l'hydrologie et la mise en valeur des ressources en eau, viendront appuyer ces activités.

Compte tenu de l'importance des interactions du climat et de la désertification, l'OMM a accordé un degré élevé de priorité à ces questions. Elle a d'ailleurs adopté dès 1978, à l'occasion de la trentième session de son Comité exécutif, un plan d'action contre la désertification qui, depuis lors, a fait l'objet de plusieurs révisions.

L'OMM continuera d'encourager les Services météorologiques et hydrologiques nationaux et les centres météorologiques et hydrologiques régionaux ou sous-régionaux à prendre une part de plus en plus active à l'étude des questions qui ont un lien avec la Convention sur la lutte contre la désertification, et notamment celles qui sont mentionnées aux articles 10, 16 et 19.

À l'occasion de la septième session de la COP, l'OMM a rédigé cette brochure qui explique le rôle des différents facteurs climatiques dans la dégradation des sols, ainsi que la contribution de l'Organisation à l'étude de cet important sujet. Nous espérons que ce document aidera les Parties à mieux comprendre certains des enjeux posés, de façon à les aborder en toute connaissance de cause.

(M. Jarraud)
Secrétaire général

Introduction

La désertification est aujourd'hui définie par la CCD comme un «état de dégradation des terres dans les zones arides, semi-arides et sub-humides sèches par suite de divers facteurs, parmi lesquels les variations climatiques et les activités humaines» (cette définition exclut les terres hyperarides). Par ailleurs, la CCD définit la dégradation des terres comme étant «la diminution ou la disparition, dans les zones arides, semi-arides et subhumides sèches, de la productivité biologique ou économique et de la complexité des terres cultivées non irriguées, des terres cultivées irriguées, des parcours, des pâturages, des forêts ou des surfaces boisées du fait de l'utilisation des terres ou de plusieurs phénomènes, notamment de phénomènes dus à l'activité de l'homme et à ses modes de peuplement, tels que: i) l'érosion des sols causée par le vent et/ou l'eau, ii) la détérioration des propriétés physiques, chimiques et biologiques ou économiques des sols, et iii) la disparition à long terme de la végétation naturelle».

Selon la CCD, la dégradation des sols touche directement plus de 250 millions de personnes et en menace environ un milliard dans plus de 100 pays. Ces personnes comptent parmi les citoyens les plus pauvres, les plus marginalisés et les plus fragiles sur le plan politique.

Au regard de la sécurité alimentaire mondiale et de la qualité de l'environnement, le problème de la dégradation des terres revêt une importance capitale si l'on considère que seulement 11 % environ de la surface du sol peuvent être considérés comme des terres de premier choix ou de catégorie I et que ces terres doivent nourrir 6,3 milliards d'êtres humains aujourd'hui et les 8,2 milliards prévus à l'horizon 2020. La dégradation des sols restera donc une préoccupation majeure pour la communauté internationale au XXI^e siècle.

Pour éviter cette dégradation, il faut recourir à des pratiques viables de gestion des terres. La dégradation est généralement la conséquence de pratiques de gestion ou d'un aménagement par l'homme qui ne sont pas viables à terme. Pour pouvoir évaluer avec précision les pratiques

viables, il faut connaître les ressources climatiques d'une région et le risque de catastrophes naturelles liées au climat ou induites par celui-ci. C'est seulement en associant les ressources climatiques aux pratiques de gestion et de développement possibles que l'on peut apprécier le potentiel de dégradation des terres et envisager les techniques d'atténuation appropriées. Il est indispensable d'intégrer les informations climatologiques dans l'élaboration des pratiques viables puisque le changement climatique est l'un des principaux facteurs qui favorisent, et même qui déclenchent la dégradation des terres; il est donc nécessaire d'étudier avec soin la façon dont le climat induit et influence la dégradation.

Étendue et taux de dégradation des sols

L'évaluation globale de la dégradation des terres n'est pas chose aisée: on utilise en effet un large éventail de méthodes, notamment les avis d'experts, la télédétection et la modélisation. En raison des différences de définition et de terminologie, on constate de grands écarts dans les statistiques disponibles sur l'étendue et le taux de dégradation. Qui plus est, la plupart des statistiques indiquent les risques de dégradation ou de désertification (en se fondant sur les facteurs climatiques et l'utilisation des terres) et non l'état actuel des sols.

La diversité des phénomènes de dégradation des terres complique encore la lisibilité des statistiques disponibles sur la dégradation des terres et/ou des sols. Les principaux phénomènes de dégradation sont l'érosion hydraulique et éolienne, la dégradation chimique (acidification, salinisation, perte de fertilité et affaiblissement de la capacité de rétention des cations), la dégradation physique (encroûtement, tassement, durcissement, etc.) et la dégradation biologique (réduction du carbone total et du carbone issu de la biomasse et diminution de la biodiversité des sols). Ce dernier phénomène suscite de vives préoccupations liées à l'eutrophisation des eaux de surface, à la contamination des eaux souterraines et aux émissions de gaz à l'état de traces (CO₂, CH₄, N₂O, NO_x) depuis les écosystèmes terrestres ou



aquatiques vers l'atmosphère. Tous les phénomènes de dégradation sont liés à une propriété importante: la structure du sol. Les facteurs qui déterminent la nature de la dégradation comprennent la qualité de la terre, qui elle est fonction des propriétés intrinsèques du climat, de l'orientation du terrain et du paysage, de la végétation climacique et de la biodiversité, en particulier la biodiversité des sols.

Dans une estimation de la population des terres arides de la planète, le Bureau de la lutte contre la désertification et la sécheresse (UNSO) du Programme des Nations Unies pour le développement (PNUD) révèle que les terres arides représentent 54 millions de km², ou 40 % de la surface émergée du globe. Environ 29,7 % de cette superficie se trouve dans les régions arides, 44,3 % dans les régions semi-arides et 26 % dans les régions subhumides sèches. La plus grande partie de ces terres arides sont situées en Asie (34,4 %) et en Afrique (24,1 %), suivies par les Amériques (24 %), l'Australie (15 %) et l'Europe (2,5 %).

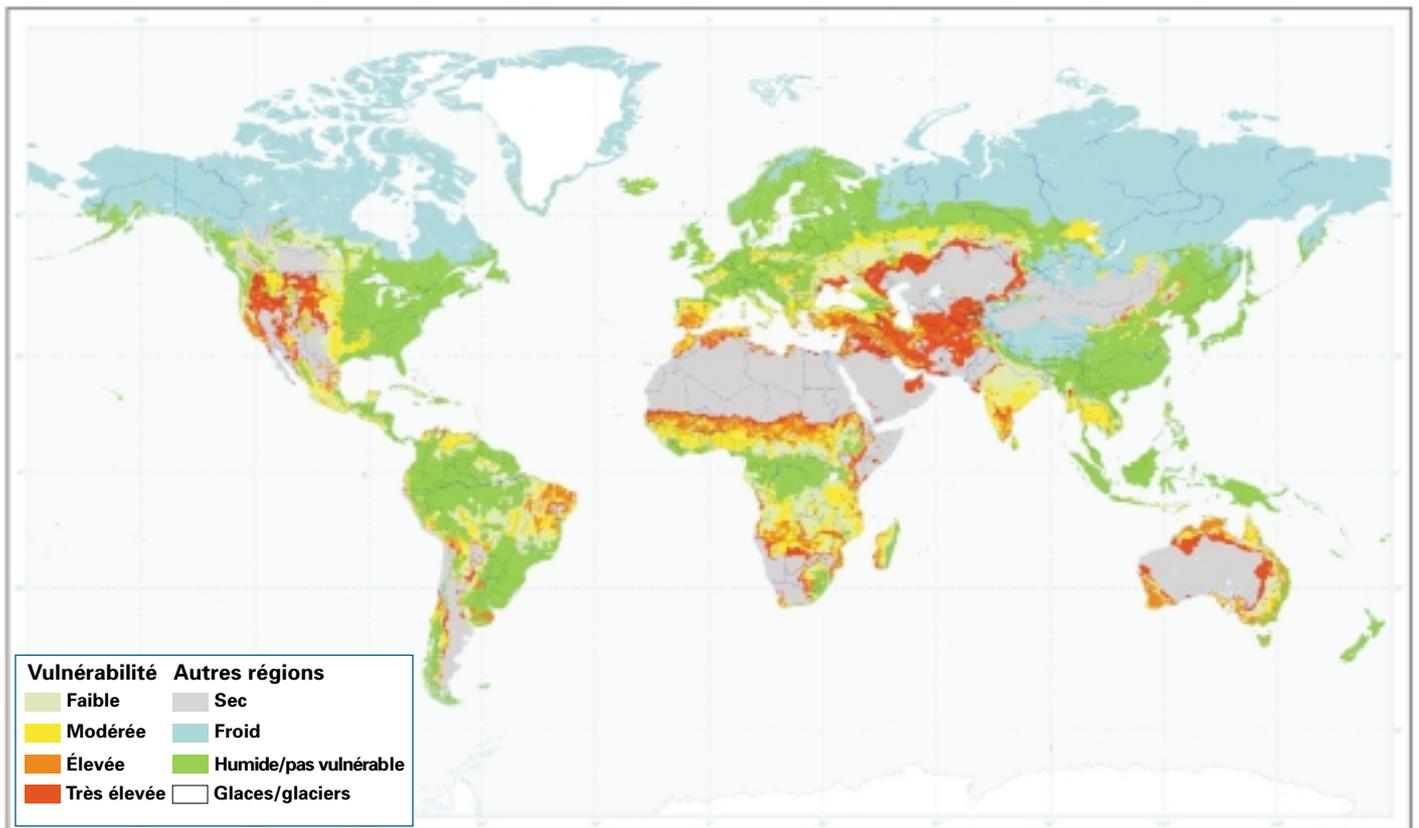
La figure 1 montre que les zones du globe vulnérables à la dégradation des terres couvrent

environ 33 % des terres émergées de la planète. Au niveau mondial, on évalue à environ 42 milliards de dollars des États-Unis les revenus perdus chaque année dans les zones directement touchées par la désertification.

Les terres situées dans les zones semi-arides à faiblement arides d'Afrique sont particulièrement vulnérables: en effet, leurs sols sont fragiles, les densités de population sont très élevées localement et l'agriculture est généralement peu productive. Environ 25 % des terres des pays asiatiques sont vulnérables.

La productivité alimentaire à long terme est menacée par la dégradation des sols, qui est aujourd'hui suffisamment grave pour que les rendements soient en baisse sur environ 16 % des terres agricoles, en particulier sur les terres cultivées d'Afrique et d'Amérique centrale et sur les pâturages en Afrique. C'est en Afrique subsaharienne que l'on trouve le plus fort taux de dégradation: on estime que les pertes de productivité des terres cultivées sont de l'ordre de 0,5 à 1 % par an, soit une perte de productivité d'au moins 20 % ces 40 dernières années.

Figure 1 — Zones exposées à la désertification dans différentes régions du monde (Source: Natural Resources Conservation Service, Ministère de l'agriculture des États-Unis).



L'Afrique est particulièrement menacée car les phénomènes de dégradation concernent environ 46 % du continent. L'importance de cette superficie devient évidente quand on sait qu'environ 43 % de l'Afrique sont considérés comme des déserts extrêmes (les confins des déserts représentent des zones de très haute vulnérabilité). Seulement 11 % environ de la masse continentale est humide et, par définition, n'est donc pas touchée par la désertification. Environ 2,5 millions de km² courent un faible risque, 3,6 millions de km² un risque modéré, 4,6 millions de km² un risque élevé et 2,9 millions de km² un risque très élevé. Les régions les plus exposées sont situées le long des confins des déserts et occupent environ 5 % de la masse continentale. On estime qu'à peu près 22 millions de personnes (2,9 % de la population totale) vivent dans ces régions. Les catégories de vulnérabilité faible, modérée et élevée représentent respectivement 14, 16 et 11 %; ensemble, elles concernent quelque 485 millions de personnes.

La dégradation des sols est également un problème de taille en Australie: on estime en effet que plus de 68 % des terres sont concernées (tableau 1).

Selon la CCD, la dégradation des terres peut avoir les conséquences suivantes: affaiblissement de la production alimentaire, famines, augmentation des coûts sociaux, diminution de la quantité et de la qualité de l'approvisionnement en eau douce, aggravation de la pauvreté et de l'instabilité politique, réduction de la résistance des terres face à la variabilité naturelle du climat, et perte de productivité des sols.

La dégradation des sols – Ses causes

La dégradation des terres fait intervenir deux systèmes solidaires et complexes: l'écosystème naturel et le système social humain. Les forces naturelles, par l'intermédiaire des contraintes périodiques induites par des phénomènes climatiques extrêmes et persistants, ainsi que l'exploitation normale et abusive par l'homme des écosystèmes fragiles et vulnérables des terres arides, agissent souvent de concert pour engendrer des processus de rétroaction que l'on ne comprend pas encore très bien. Les interactions entre les deux systèmes déterminent le succès ou l'échec des programmes de gestion des ressources. Les causes de la dégradation des terres ne sont pas uniquement de nature biophysique; elles ont aussi une origine socioéconomique (par exemple, le régime foncier, la commercialisation, l'appui institutionnel, les revenus, la santé de l'homme) et politique (par exemple, les programmes d'incitation, la stabilité politique).

Une forte densité de population ne s'accompagne pas nécessairement d'une dégradation des sols. C'est plutôt ce que la population fait de la terre qui dicte l'ampleur de la dégradation. Les hommes peuvent jouer un rôle décisif et renverser la tendance. En fait, l'atténuation de la dégradation ne peut être un succès que si les utilisateurs des terres ont la possibilité et la volonté de préserver la qualité des ressources. Mais il faut qu'ils soient en bonne santé et motivés tant politiquement qu'économiquement pour se soucier de la terre, l'agriculture de subsistance, la pauvreté et l'analphabétisme pouvant être des causes majeures de la dégradation des sols et de l'environnement.

Type	Superficie (en milliers de km ²)
Total	443
Non dégradés	142
Dégradés	301
i) Érosion hydraulique	206
ii) Érosion éolienne	52
iii) Érosion hydraulique et éolienne combinées	42
iv) Salinité et érosion hydraulique	0,9
v) Autres	0,5

Tableau 1 — Dégradation des sols des terres cultivées en Australie (Source: Woods, 1983; Mabbutt, 1992).



Les raisons pour lesquelles les utilisateurs des terres laissent ces dernières se dégrader sont tout aussi nombreuses que déconcertantes. Nombre d'entre elles sont liées aux perceptions sociétales de la terre et des valeurs qu'on lui attribue. L'absence de régime foncier et de gestion avisée qui en découle est un obstacle majeur à une protection adéquate des terres dans certains pays. La dégradation est aussi un processus lent et imperceptible: beaucoup d'utilisateurs ne se rendent pas compte que leurs terres se dégradent.

Le dépérissement de la végétation peut aggraver la dégradation des terres par un phénomène de rétroaction entre la surface du sol et l'atmosphère. Cela se produit lorsqu'une diminution de la végétation réduit l'évaporation et augmente le rayonnement renvoyé vers l'atmosphère (albédo), réduisant par conséquent la formation nuageuse. Des expériences à grande échelle, au cours desquelles des modèles numériques de la circulation générale ont été appliqués à un albédo artificiellement élevé au-dessus de terres arides, semblent indiquer qu'une importante augmentation de l'albédo dans les zones subtropicales pourrait réduire les précipitations.

Les conséquences climatiques de la dégradation des sols

La surface du sol est une composante importante du système climatique (figure 2). L'interaction entre la surface du sol et l'atmosphère fait intervenir de multiples processus et rétroactions qui peuvent tous varier simultanément. Il est souvent souligné que les changements de type de végétation peuvent modifier les caractéristiques de la circulation atmosphérique régionale et les flux externes d'humidité à grande échelle. Les modifications du bilan énergétique de surface résultant d'une modification de la surface du sol peuvent avoir une influence profonde sur le climat de la Terre.

Après une déforestation, l'évapotranspiration superficielle et les flux de chaleur sensible sont liés à la structure dynamique de la basse atmosphère. Ces modifications des flux à l'intérieur de la colonne atmosphérique pourraient influencer la circulation atmosphérique régionale,



et éventuellement la circulation à l'échelle du globe. À titre d'exemple, les modifications du couvert forestier du bassin amazonien pourraient avoir une incidence sur le flux d'humidité vers l'atmosphère, sur la convection régionale et, par conséquent, sur les précipitations régionales. Des études plus récentes révèlent que ces modifications du couvert forestier ont des conséquences qui vont bien au-delà du bassin amazonien.

La fragmentation du paysage peut avoir une incidence sur les régimes de flux de convection et les régimes pluviométriques, tant localement que mondialement. Les simulations d'épisodes *El Niño* et de modifications de la surface du sol avec des modèles climatologiques semblent indiquer que, dans les régions équatoriales, les orages à grande extension verticale qui y sont fréquents et qui perturbent des zones de plusieurs centaines de kilomètres de large, pourraient avoir des effets à l'échelle du globe.

Un modèle de simulation numérique utilisé pour étudier les interactions entre les nuages de convection, la couche limite de convection et une surface boisée a montré que les paramètres de surface, tels que l'humidité du sol, le couvert forestier, la transpiration et les inégalités du terrain, pouvaient avoir une incidence sur la formation de nuages de convection et les précipitations à cause de leurs effets sur le développement de la couche limite.

Figure 2 — La superficie des terres est une partie importante du système climatique et ses paramètres peuvent avoir une incidence sur les précipitations.



Figure 3 — L'utilisation des terres est un facteur important de détermination de la vulnérabilité des écosystèmes.



Un modèle de circulation atmosphérique générale fondé sur des propriétés de surface du sol réalistes a été employé pour étudier les effets climatiques d'un doublement de la superficie des déserts de la Terre. Il a révélé une corrélation notable entre la réduction de l'évapotranspiration et des précipitations en résultant. Il a été montré que l'Afrique du Nord souffrait d'une forte sécheresse toute l'année, alors qu'en Afrique australe la sécheresse était plus atténuée toute l'année. Dans certaines régions, en particulier au Sahel, on a constaté une augmentation de la température de surface provoquée par une diminution de l'humidité du sol et des flux de chaleur latente.

Les modifications de l'utilisation des terres et de leur couvert influencent les émissions de flux de carbone et de gaz à effet de serre (GES), qui altèrent directement la composition de l'atmosphère et les propriétés du forçage radiatif. Elles transforment aussi les caractéristiques de la surface du sol et, indirectement, les phénomènes climatiques. Des observations effectuées dans le cadre du projet HAPEX-Sahel semblent indiquer que la transformation à grande échelle de savanes en friche en champs de mil peut conduire à une diminution de l'évaporation. Les modifications de l'utilisation des terres et de leur couvert sont un facteur important de détermination de la vulnérabilité des écosystèmes (figure 3) et des paysages aux changements apportés à l'environnement.

On estime que, depuis la révolution industrielle, les émissions de carbone (C) dues à la combustion de combustibles fossiles s'élèvent à 270 ± 30 gigatonnes (Gt) et celles qui sont dues à la modification de l'utilisation des terres et à la culture des sols s'élèvent à 136 ± 5 Gt. Les émissions dues à la modification de l'utilisation des terres comprennent celles qui sont provoquées par la déforestation, la combustion de la biomasse, la conversion des écosystèmes naturels en écosystèmes agricoles, l'assèchement des terrains marécageux et la culture des sols. L'épuisement des carbonés organiques des sols a rejeté 78 ± 12 Gt de carbone dans l'atmosphère, dont environ un tiers est attribué à la dégradation des terres et à l'accélération de l'érosion et deux tiers à la minéralisation.

La dégradation des terres aggrave le changement climatique dû au CO_2 en raison du rejet de CO_2 à partir de la végétation arrachée ou morte et par la diminution de la capacité de fixation du carbone des sols dégradés.

Le rôle des facteurs climatiques dans la dégradation des sols

Le climat exerce une forte influence sur le type de végétation, la biomasse et la diversité des terres arides. Les précipitations et la température déterminent la distribution possible de la végétation terrestre et constituent les facteurs premiers de la genèse et de l'évolution des sols. Les précipitations influencent aussi la production de végétation qui, à son tour, contrôle l'apparition spatiale et temporelle de pâturages et favorise le nomadisme. Avec la raréfaction des précipitations annuelles, le couvert végétal devient progressivement plus mince et plus clairsemé. Les plantes et les animaux des terres arides répondent par différentes adaptations physiologiques, anatomiques et comportementales aux contraintes d'humidité et de température exercées par les forts écarts diurnes et saisonniers de la température, des précipitations et de la teneur en eau du sol.

Les températures généralement élevées et les faibles précipitations sur les terres arides conduisent à une production médiocre de matières organiques et à une oxydation rapide. La rareté des matières organiques entraîne à son tour une faible agrégation et une stabilité médiocre des agrégats, d'où une forte probabilité d'érosion éolienne et hydraulique. Dans de nombreuses régions d'Afrique, par exemple, l'érosion éolienne et hydraulique est très importante: en excluant les déserts actuels, qui couvrent environ 46 % de la masse continentale, environ 25 % des terres sont menacées par l'érosion hydraulique et 22 % par l'érosion éolienne.

Les croûtes structurales, formées par l'impact des gouttes de pluie et susceptibles de diminuer les infiltrations, augmentent le ruissellement et génèrent des écoulements superficiels et l'érosion. La gravité, la fréquence et l'étendue de l'érosion

Catégorie de contrainte	Contraintes sur le terrain		Qualité inhérente du sol		
	Type de contrainte	Superficie (en milliers de km ²)	Catégorie	Superficie (en milliers de km ²)	Superficie (%)
1	Peu de contraintes	118,1	I	118,1	0,4
2	Retrait et gonflement importants	107,6	II		
3	Peu de matières organiques	310,9	II		
4	Températures élevées du sol	901,0	II	1 319,6	4,5
5	Excès d'eau saisonniers	198,9	III		
6	Restrictions mineures touchant les racines	566,5	III		
7	Faibles températures momentanées	,014	III	765,4	2,6
8	Faible stabilité structurelle	333,7	IV		
9	Forte capacité d'échange des anions	43,8	IV		
10	Difficulté de drainage	520,5	IV	898,0	3,1
11	Contrainte d'humidité saisonnière	3 814,9	V		
12	Forte teneur en aluminium	1 573,2	V		
13	Calcaire, gypse	434,2	V		
14	Lessivage des nutriments	109,9	V	5 932,3	20,2
15	Faible capacité de conservation des nutriments	2 141,0	VI		
16	Forte rétention de P et N	932,2	VI		
17	Bisulfite	16,6	VI		
18	Faible équilibre nutritif et en humidité	0	VI		
19	Faible capacité de conservation de l'eau	2 219,5	VI	5 309,3	18,1
20	Beaucoup de matières organiques	17,0	VII		
21	Salinité/alcalinité	360,7	VII		
22	Sols peu profonds	1 016,9	VII	1 394,7	4,8
23	Terrains escarpés	20,3	VIII		
24	Faibles températures prolongées	0	VIII	20,3	0,1
25	Contrainte d'humidité prolongée	13 551,4	IX	13 551,4	46,2
Terres émergées		29 309,1			
Plans d'eau		216,7			
Superficie totale		29 525,8			

Tableau 2 — Évaluation des principales contraintes relatives aux ressources du sol et de la qualité des terres en Afrique (Source: Reich, P.F., S.T. Numben, R.A. Almaraz et H. Eswaran, 2001. Land resource stresses and desertification in Africa. In Bridges, E.M., I.D. Hannam, F.W.T. Penning de Vries, S.J. Scherr et S. Sombatpanit. 2001. Response to Land Degradation. Sci. Publishers, Enfield, États-Unis. 101-114).

peuvent être influencées par les changements dans la hauteur et l'intensité des précipitations et par la modification des vents.

La gestion des terres restera le principal déterminant de la teneur en matières organiques du sol et de la sensibilité à l'érosion au cours des

prochaines décennies, mais les modifications du couvert végétal résultant de changements du temps à court terme et de changements du climat à moyen terme auront vraisemblablement une incidence sur la dynamique des matières organiques du sol et sur l'érosion, en particulier dans les régions semi-arides.



D'après l'étude conduite par le *Natural Resources Conservation Service* du Ministère de l'agriculture des États-Unis sur les contraintes relatives aux ressources du sol et la désertification en Afrique, à partir de données sur les ressources climatiques et le sol en Afrique, on peut conclure (tableau 2) que les contraintes climatiques comptent pour 62,5 % de toutes les contraintes conduisant à la dégradation des sols du continent. Ces contraintes qui pèsent sur 18,5 millions de km² de terres comprennent: une température élevée du sol, des excès d'eau saisonniers, des basses températures momentanées, des contraintes d'humidité saisonnières et des contraintes d'humidité prolongées. Cette étude établit clairement la nécessité d'accorder une plus grande importance aux facteurs climatiques dans la dégradation des sols.

Selon les données du Centre belge de recherche sur l'épidémiologie des désastres (CRED), les catastrophes provoquées par le temps, le climat et l'eau entre 1993 et 2002 sont responsables de 63 % des 654 milliards de dollars des États-Unis de dommages causés par toutes les catastrophes naturelles. Ces catastrophes sont donc celles qui sont les plus fréquemment et largement observées (figure 4) et elles ont une incidence considérable sur la dégradation des sols.

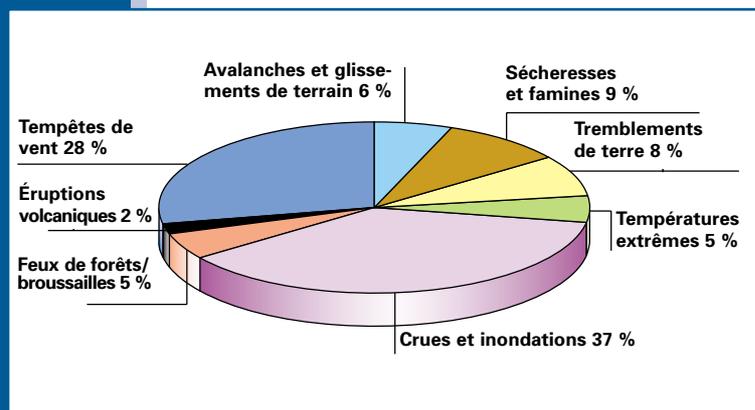
Les précipitations

Les précipitations sont le principal facteur climatique qui détermine les régions menacées par la dégradation des sols et par une éventuelle désertification. Elles jouent un rôle crucial dans le

développement et la répartition de la vie végétale, mais la variabilité et les épisodes de précipitations extrêmes peuvent conduire à une érosion et une dégradation des sols (figure 5). Si elle n'est pas maîtrisée pendant un certain temps, cette dégradation peut entraîner une désertification. L'interaction de l'activité humaine sur la distribution de la végétation, au moyen des pratiques de gestion des terres, avec des épisodes de précipitations apparemment bénins, peut accentuer la vulnérabilité des sols à la dégradation. Ces vulnérabilités deviennent plus aiguës lorsque la perspective d'un changement climatique est prise en considération.

Les précipitations et la température sont les principaux facteurs déterminants du climat de la planète et, par conséquent, de la répartition des types de végétation. Il existe une étroite corrélation entre les précipitations et la biomasse puisque l'eau est l'un des principaux intrants de la photosynthèse. Les climatologues utilisent un «indice d'aridité» (le rapport entre les précipitations annuelles et l'évaporation potentielle) pour faciliter la classification des zones désertes (arides) et semi-arides. Les terres arides existent parce que la perte d'eau annuelle (évaporation) est supérieure aux précipitations annuelles: ces régions connaissent donc un déficit en eau permanent. Les déserts sont l'exemple par excellence d'un climat où l'évaporation annuelle dépasse largement les précipitations annuelles. Lorsque les déficits annuels en eau ne sont pas trop importants, une certaine vie végétale peut se manifester, généralement sous la forme d'herbages ou de steppes. Toutefois, ce sont ces terres arides aux confins des déserts qui sont les plus exposées à la désertification et qui constituent l'exemple le plus extrême de dégradation des sols. Ces régions comprennent les pampas d'Amérique du Sud, les grandes steppes russes, les grandes plaines d'Amérique du Nord, les savanes de l'Afrique australe et du Sahel de l'Afrique de l'Ouest. Avec une variabilité normale du climat, les déficits en eau peuvent être plus ou moins prononcés selon les années, mais l'on peut parfois observer une période consécutive de plusieurs années de déficit en eau ou de sécheresse persistante. Lors de tels épisodes, on a pu constater une dégradation des sols dans les grandes plaines des États-Unis dans les années 30 (phénomène du «Dust Bowl») ou une sécheresse qui a duré près de

Figure 4 — Répartition globale des catastrophes naturelles (1993-2002).



deux décennies dans les années 70 et 80 au Sahel. C'est cette période de sécheresse au Sahel qui est à l'origine des inquiétudes actuelles à propos de la désertification.

Pendant plus d'un siècle, pédologues, agronomes, géologues, hydrologues et ingénieurs ont recueilli et analysé des données sur l'érosion des sols. Ces travaux ont permis d'établir une relation simple qui intègre les facteurs majeurs à l'origine de l'érosion des sols. L'équation universelle des pertes en terre (USLE) est un modèle qui a été élaboré au milieu des années 60 pour comprendre cette érosion dans le contexte des applications agricoles. En 1985, l'équation a été actualisée et rebaptisée équation universelle révisée des pertes en terre (RUSLE), afin d'intégrer les nombreux renseignements obtenus depuis l'élaboration de l'équation originale et de pouvoir prendre en considération d'autres applications que l'agriculture comme les pertes en terre des terrains minés, des chantiers de construction et des terrains régénérés. L'équation révisée est fondée sur la théorie de l'érosion des sols et sur plus de 10 000 années-parcelles de données provenant de parcelles naturelles non irriguées et de nombreuses simulations de précipitation.

**L'ÉQUATION RÉVISÉE S'ÉCRIT COMME SUIT:
A = R K L S C P**

où A représente l'érosion annuelle des sols (t/ha/an), R le facteur d'érosivité des précipitations et du ruissellement, K le facteur d'érodabilité du sol, L la longueur de la pente, S l'inclinaison de la pente, C la gestion du couvert et P le facteur des pratiques antiérosives. Ces facteurs illustrent l'interaction des divers agents climatiques, géologiques et humains et le fait que de judicieuses pratiques de gestion des terres peuvent réduire l'érosion des sols et même leur dégradation au minimum.

Des précipitations trop faibles ou trop abondantes peuvent provoquer une érosion des sols conduisant à la dégradation des terres (figure 6). Les pédologues considèrent toutefois que, parmi les nombreux facteurs qui provoquent l'érosion des sols, les précipitations en sont la cause principale.

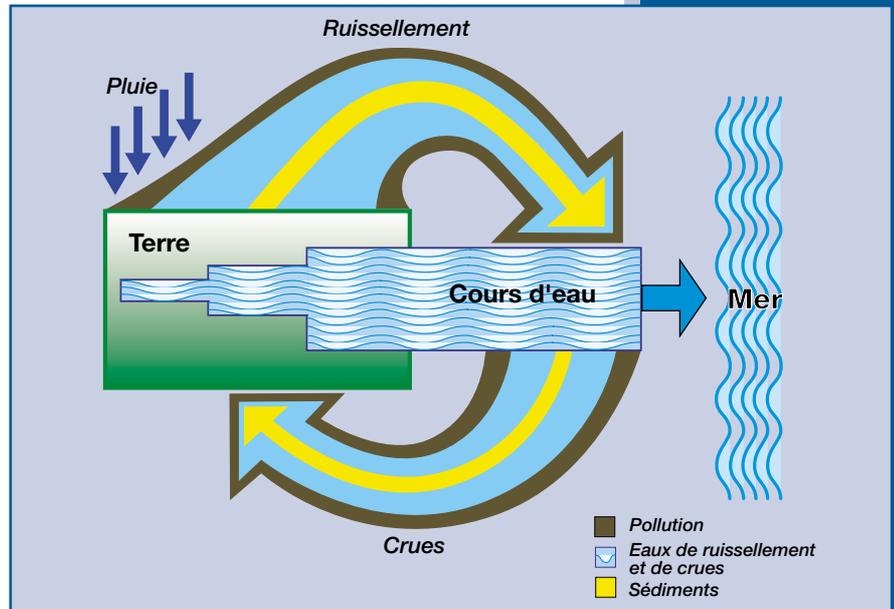


Figure 5 — Schéma des processus induits par la pluie qui sont impliqués dans la dégradation des sols.

Elles peuvent en effet éroder les sols par la force des gouttes d'eau, le ruissellement superficiel et souterrain, et les crues. La vitesse de la pluie frappant le sol produit une grande quantité d'énergie cinétique qui peut détacher des particules. À cette petite échelle, l'érosion peut également être causée par des matériaux facilement solubles, rendus hydrosolubles par les acides faibles de l'eau de pluie. Le déplacement et l'éclaboussement des particules de sol par les gouttes de pluie ne sont que la première étape du processus, qui se poursuit par l'enlèvement des particules et une érosion supplémentaire provoquée par l'écoulement des eaux. Toutefois, sans ruissellement, l'érosion provoquée par les précipitations reste relativement faible.

Une fois détachées, les particules du sol deviennent sensibles au ruissellement. En général, plus les précipitations sont fortes, plus il y a de particules dans les eaux de ruissellement. Dans le cas de faibles précipitations sur une longue durée, le phénomène de «détachement» se produit essentiellement dans l'environnement subaquatique et les particules de sol sont le plus souvent fines. Plus les précipitations et le ruissellement qui s'ensuit sont forts, plus les particules enlevées sont importantes. La perméabilité du sol, qui influence indirectement la quantité totale de sols érodés et la répartition de l'érosion sur les pentes, est l'un des facteurs critiques qui déterminent l'érosion des sols par les précipitations.

Figure 6 — Des précipitations trop faibles ou trop abondantes peuvent provoquer une érosion des sols conduisant à la dégradation des terres.



L'une des conséquences fâcheuses du ruissellement est le transport parallèle de produits chimiques utilisés dans l'agriculture et leur infiltration dans la nappe phréatique par lessivage.

Le premier facteur régissant l'érosion des sols due à la pluie est l'intensité des précipitations. L'importance et l'intensité des précipitations dans les zones arides sont naturellement variables, de même que le ruissellement qui les accompagne. L'écoulement de surface est souvent plus important dans les zones arides que dans les régions plus humides, notamment parce que les terres arides ont tendance à former des croûtes imperméables sous l'action de violents orages et ne sont pas protégées par une litière ou un couvert végétal suffisant. Le transport des sols peut alors être beaucoup plus important, par quantité unitaire de précipitation, que lorsque la surface du sol est bien recouverte de végétation. Plus la couverture végétale est clairsemée, plus la couche arable est vulnérable au «détachement» et à l'enlèvement sous l'action des gouttes et du ruissellement. De plus, le moment auquel se produisent les précipitations peut jouer un rôle crucial dans l'érosion des sols conduisant à leur

dégradation. Un commencement anormal de la saison des pluies, accompagné de fortes précipitations, aura plus d'impact puisqu'il n'y aura pas de végétation saisonnière pour intercepter les précipitations ou stabiliser le sol avec son système racinaire.

Les scientifiques travaillent à intégrer l'ensemble de ces facteurs dans des modèles permettant de prévoir l'érosion des sols. Le modèle du Projet de prévision de l'érosion hydrique (WEPP) est un modèle basé sur des processus, avec paramètres distribués et simulations permanentes qui est exploitable sur PC; il peut être utilisé en échelle réelle pour simuler l'érosion de terrains en pente douce ou des érosions plus complexes au niveau des bassins hydrographiques. Il simule les processus naturels qui interviennent dans l'érosion des terres. Il met à jour les conditions ordinaires du sol et des cultures qui ont une influence sur l'érosion. Quand la pluie tombe, les caractéristiques de la végétation et du sol sont utilisées pour déterminer si un ruissellement se produira. Le modèle WEPP intègre un certain nombre de composants techniques: climat et temps (précipitations, température, ensoleillement, vent, gel-dégel, accumulation de neige et fonte), irrigation (pulvérisateurs fixes, sillons), hydrologie (infiltration, accumulation dans les dépressions, ruissellement), bilan hydrique (évapotranspiration, percolation, drainage), sols (types et propriétés), croissance des cultures (terres cultivées, pacages, terres forestières), gestion et décomposition des déchets, impacts du labourage sur l'infiltration et l'érodabilité, érosion (griffes, rigoles, canaux), dépôts (rigoles, canaux et retenues), débits solides, triage et mise en valeur des particules.

Il convient de signaler l'effet d'autres formes de précipitation sur l'érosion des terres. La grêle a un effet redoutable sur la surface du sol car son énergie cinétique est bien plus importante que celle de la pluie, ce qui entraîne une destruction beaucoup plus forte des sols et l'enlèvement d'une plus grande quantité de matériaux. Et si elle est accompagnée de fortes pluies, comme c'est le cas avec certains orages, de grandes quantités de terre peuvent être érodées, en particulier dans les champs, avant que les cultures ne stabilisent la surface du sol. L'érosion causée par la fonte des

neiges se produit lorsque le sol gèle pendant la période froide et que le processus de gel disloque les particules de sol, de sorte que, lors du dégel printanier, de fines particules sont entraînées par le ruissellement. Ce type de phénomène peut souvent produire une érosion plus importante que la pluie. En outre, quand le sol gèle, le taux d'infiltration est fortement réduit, si bien que, au moment du dégel, une érosion des sols relativement intense peut se produire, même si la fonte des neiges est faible. Dans ce cas, le processus d'érosion peut être amplifié par la combinaison d'un épisode de fortes pluies avec un afflux soudain d'air chaud. C'est un phénomène auquel sont soumis les versants sous le vent des régions montagneuses car ils sont en général plus secs, moins bien protégés par la végétation et exposés aux vents catabatiques (l'air descendant rapidement d'une chaîne de montagnes se réchauffe très vite).

Les crues

Les rivières des terres arides ont des débits extrêmement variables et les quantités de matériaux en suspension sont particulièrement sensibles aux fluctuations des précipitations ainsi qu'à tout changement du couvert végétal des bassins. La raréfaction de la végétation dans le cours supérieur d'une rivière des terres arides peut augmenter la charge des sédiments en suspension et entraîner une modification radicale du cours d'eau qui deviendra une rivière moins stable et plus saisonnière, caractérisée par une série de bras soumis à

de brusques changements. Toutefois, les précipitations peuvent conduire à une dégradation des sols dans d'autres climats, y compris les climats subhumides. Des épisodes de précipitations excessives provoquées par des orages, des ouragans ou des typhons, ou par les systèmes à basse pression des latitudes moyennes, peuvent produire de grandes quantités d'eau sur une courte période dans des zones localisées. Cet excès d'eau submerge le bassin hydrographique local et provoque des inondations (figure 7). Il s'agit bien entendu d'un phénomène naturel qui se répète depuis des millions d'années et qui modèle la Terre en permanence. Tous les climats connaissent des inondations fluviales, mais c'est dans les zones arides que le problème est le plus grave.

La sécheresse

La sécheresse est un phénomène naturel dû à un déficit pluviométrique qui conduit à une pénurie d'eau pour certaines activités ou certains groupes. Elle est la conséquence d'une baisse des précipitations pendant une période prolongée, habituellement une saison ou plus, souvent associée à d'autres facteurs climatiques, comme une température élevée, des vents forts et une faible humidité relative, qui peuvent en aggraver les conséquences. Par exemple, la sécheresse liée au phénomène *El Niño* qu'a connue l'Australie entre mars 2002 et janvier 2003 aura sans conteste été l'une des pires — si ce n'est *la* pire — sécheresses de courte durée enregistrées dans les annales



Figure 7 — Il est courant de voir dans les régions semi-arides des champs cultivés inondés en raison de fortes précipitations.



La prévision des crues et des inondations

Crues et inondations se produisent quand les eaux de pluie ou de fonte des neiges s'accumulent plus vite que les sols ne peuvent les absorber ou les cours d'eau les évacuer. Elles peuvent prendre toutes sortes de formes, allant des crues soudaines d'ampleur limitée aux nappes d'eau couvrant d'énormes surfaces; elles peuvent être provoquées par de gros orages, des cyclones tropicaux, les moussons, des embâcles ou la fonte des neiges. Dans les zones côtières, elles peuvent être provoquées par les ondes de tempête produites par des cyclones tropicaux, par des tsunamis ou par le gonflement de fleuves résultant de marées d'une hauteur exceptionnelle. Les grands lacs peuvent déborder quand les rivières qui les alimentent sont gorgées d'eaux de fonte. Les crues peuvent donc contribuer à la dégradation des sols sous à peu près tous les climats, mais ceux des terres arides sont particulièrement vulnérables à cause de la présence limitée de végétation dont les racines retiennent les sols.

Prévoir les crues et les inondations est un processus complexe qui doit tenir compte de nombreux facteurs différents en même temps, selon le type et la nature du phénomène qui les provoque. Par exemple, des inondations soudaines très étendues sont souvent provoquées par de fortes pluies tombant dans une région située à l'intérieur d'une zone plus vaste soumise à des précipitations plus légères — une situation déroutante, rendant difficile la prévision du lieu où l'inondation sera la plus forte. La prévision des inondations liées à un cyclone tropical, causées par des fortes pluies ou par des ondes de tempêtes risquant de déferler à l'intérieur des terres, peut aussi être une tâche complexe, car il faut préciser le lieu d'impact, le stade d'évolution du phénomène responsable et les caractéristiques physiques de la côte.

Pour faire des prévisions aussi précises que possible, les Services météorologiques nationaux (SMN) et les Services hydrologiques nationaux (SHN), sous les auspices de l'OMM, établissent des prévisions de crue fondées sur les prévisions quantitatives des précipitations (PQP) qui ont gagné en précision ces dernières années, surtout pour des quantités de précipitations faibles et modérées; mais les grandes quantités et les événements rares restent difficiles à prévoir. La création de systèmes capables d'intégrer les prévisions météorologiques à celles qui concernent les événements liés à l'eau devient chaque jour plus probable, ouvrant ainsi la voie à une démarche véritablement intégrée.

La prévision doit aussi être un effort de coopération multidisciplinaire. Compte tenu des nombreux problèmes inhérents aux crues et de la complexité des facteurs, les personnes chargées de gérer ces événements doivent unir leurs efforts à ceux des météorologistes, hydrologues, urbanistes et services de protection civile en utilisant les modèles intégrés disponibles. Déterminer les conséquences socioéconomiques des crues exige un examen attentif des travaux de construction et autres activités dans les lits des cours d'eau et aux alentours. Il est essentiel d'obtenir des renseignements à jour et précis par tous les moyens disponibles: observation en surface, télédétection, satellites et modèles informatiques.



météorologiques du pays. L'analyse des relevés pluviométriques sur ces 11 mois a révélé que 90 % du territoire était en déficit pluviométrique par rapport à la médiane à long terme, 56 % du pays enregistrant des précipitations dans la fourchette des 10 % inférieurs (c'est-à-dire le premier décile) des cumuls enregistrés (les premiers relevés pluviométriques pour l'ensemble de l'Australie datent de 1900). Pendant la sécheresse de 2002/03, l'Australie a connu d'importants feux de brousse et de violentes tempêtes de poussière; les conséquences sur l'agriculture ont entraîné une baisse du produit intérieur brut (PIB) de plus de 1 %. Les cinq premiers mois de 2005 ont été exceptionnellement secs sur la majorité du territoire australien (figure 8), tant et si bien que cette période a été qualifiée de véritable sécheresse exceptionnelle par certains.

Les sécheresses prolongées dans certaines terres arides ont amorcé ou aggravé la dégradation des sols. Les statistiques indiquent que l'Afrique a été frappée par des sécheresses prolongées, avec des épisodes particulièrement prononcés en 1965/66, 1972-1974, 1981-1984, 1986/87, 1991/92 et 1994/95. L'effet cumulé de la sécheresse sur les économies des pays africains peut être important: baisse de 8 à 9 % du PIB au Zimbabwe et en Zambie en 1992, et de 4 à 6 % au Nigéria et au Niger en 1984. Ces 25 dernières années, le Sahel a souffert de la plus forte et de la plus prolongée des baisses de précipitations observées dans le monde entier depuis le début des relevés effectués avec des instruments. Au Sahel, les sécheresses du début des années 70 ont été exceptionnelles par leur gravité et ont été décrites comme «la quintessence d'une crise environnementale majeure»; leurs conséquences à long terme apparaissent aujourd'hui plus clairement (figure 9).

Les anomalies de température de surface de la mer (SST), souvent liées au phénomène *El Niño*/Oscillation australe (ENSO) ou à celui de l'oscillation nord-atlantique (NAO), contribuent à la variabilité des précipitations dans le Sahel. Les sécheresses qui touchent l'Afrique de l'Ouest correspondent à des épisodes de SST chaude dans l'Atlantique Sud-Tropical. L'examen des données océanographiques et météorologiques entre 1901 et 1985 a montré que les périodes d'humidité et de sécheresse persistantes dans le

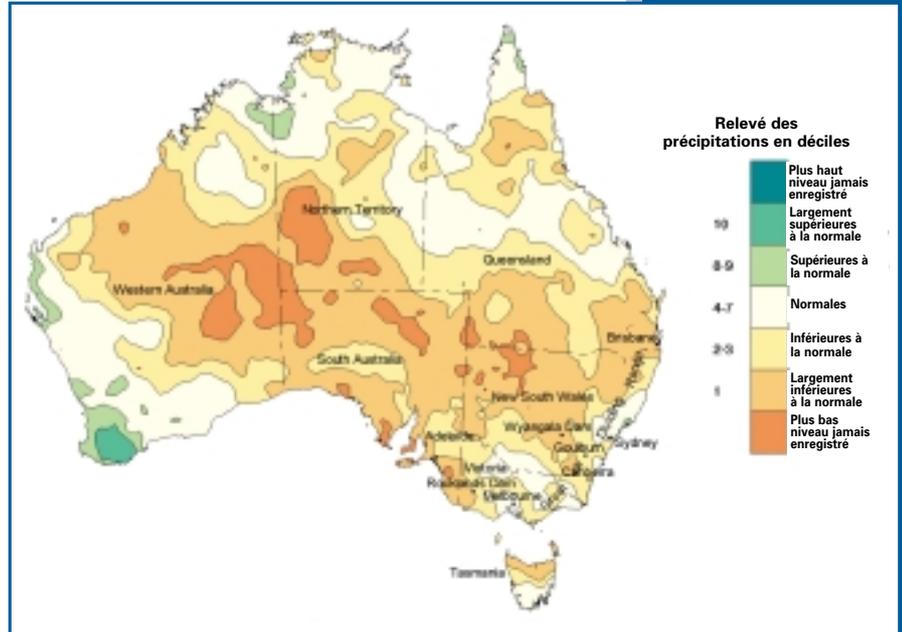


Figure 8 — Déciles des précipitations de janvier à mai 2005 en Australie.

Sahel étaient liées à des séquences opposées d'anomalies de la SST, à une échelle quasi planétaire. De 1982 à 1990, on a constaté une corrélation entre les anomalies de la SST des cycles ENSO et la production de végétation en Afrique. Les eaux plus chaudes du Pacifique Équatorial-Oriental durant les épisodes ENSO sont corrélées à des précipitations annuelles inférieures à 1 000 mm dans certaines régions d'Afrique.

Un modèle couplé surface-atmosphère indique que, indépendamment du fait que la sécheresse du Sahel entre 1968 et 1973 ait été amorcée par des

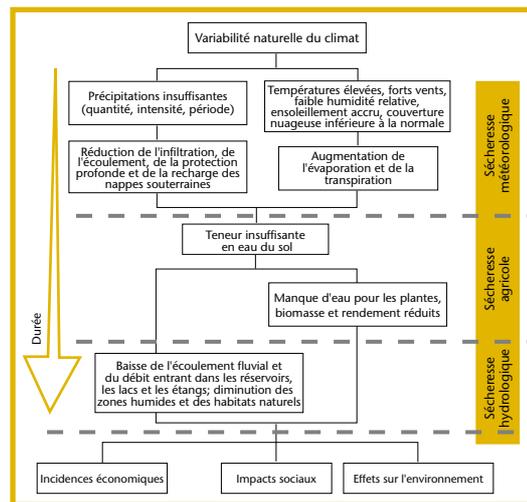


Figure 9 — Types et impacts des sécheresses.

La prévention et la gestion des situations de sécheresse

La sécheresse peut être définie comme une composante périodique normale de tout climat; elle se produit sous presque tous les régimes climatiques et dans des zones aux précipitations aussi bien faibles qu'élevées. C'est une anomalie temporaire, contrairement à l'aridité qui est une caractéristique permanente du climat circonscrite aux zones à faibles précipitations. La sécheresse est la conséquence d'une baisse naturelle de la pluviosité durant une longue période, généralement une saison ou plus. La sécheresse est également liée au synchronisme (c'est-à-dire la principale saison où elle se manifeste, le retard de la saison des pluies, l'apparition des pluies en concordance avec les principales étapes de la croissance des végétaux) et à l'intensité et au nombre d'épisodes pluvieux. Chaque sécheresse présente donc des caractéristiques et des répercussions uniques.

L'absence d'une définition précise et universellement acceptée de la sécheresse contribue à la confusion quant à savoir s'il existe ou non une sécheresse et, si elle existe, quant à son degré de gravité. En réalité, il faudrait définir la sécheresse région par région et selon la spécificité de ses effets (en particulier pour l'agriculture et sur les ressources en eau, etc.). Les répercussions de la sécheresse s'étendent sur des zones géographiques qui sont bien plus étendues que celles qui sont touchées par d'autres catastrophes naturelles comme les inondations et les ouragans. Ce qui explique pourquoi la quantification de ses répercussions et le déploiement des secours lors d'une sécheresse sont des tâches bien plus difficiles que pour les autres catastrophes naturelles.

Des systèmes d'alerte précoce peuvent réduire les conséquences d'une sécheresse en l'annonçant en temps opportun. Les stations classiques d'observation en surface des Services météorologiques

nationaux ne sont certes qu'un maillon de la chaîne, mais elles fournissent des données et des séries chronologiques de référence essentielles, nécessaires pour améliorer la surveillance du climat et du système hydrologique. Le suivi de certains indicateurs, tels que le débit fluvial ou l'humidité du sol, peut aider à établir des valeurs d'indices de sécheresse — généralement des nombres simples qui sont beaucoup plus pratiques pour prendre des décisions que les données brutes.

Les plans antisécheresse doivent comporter trois éléments fondamentaux: surveillance et alerte précoce, évaluation des risques, et atténuation et interventions. Étant donné que les sécheresses débutent lentement, les systèmes de surveillance et d'alerte précoce sont le fondement d'un plan efficace d'atténuation des effets de ces épisodes. Ce plan doit reposer sur des évaluations précises et opportunes pour pouvoir déclencher des programmes d'atténuation et d'interventions d'urgence.

La surveillance des événements extrêmes ayant une relation avec la sécheresse est assurée au titre de divers programmes de l'OMM, tandis que quatre entités de surveillance — deux centres en Afrique, un en Chine, ainsi que le Système mondial d'information et d'alerte précoce — diffusent des avis météorologiques et des résumés climatologiques mensuels et trimestriels. Il existe d'autres systèmes africains d'alerte précoce. Par exemple, la Communauté pour le développement de l'Afrique australe (SADC) surveille l'état des cultures et des ressources alimentaires dans cette région et émet des alertes lors des périodes de crise imminente. Ces réseaux peuvent être la clef de voûte de la mise sur pied de plans d'urgence coordonnés, à appliquer lorsque survient une situation de sécheresse.



facteurs anthropiques ou par des modifications de la SST, la perte définitive de végétation dans la savane sahélienne permettrait la persistance des conditions de sécheresse. En réduisant l'humidité du sol, et donc l'évaporation et la nébulosité, et en augmentant l'albédo à mesure que le couvert végétal est détruit, la sécheresse a en général pour effet d'accroître la température de l'air au sol et à proximité du sol, tout en réduisant le bilan radiatif en surface et en aggravant le déficit du bilan radiatif des systèmes surface-atmosphère locaux. Cela entraîne une augmentation de la subsidence atmosphérique et, partant, une diminution des précipitations.

Rayonnement solaire, température et évaporation

L'unique source d'énergie de la Terre est le Soleil, mais notre planète n'intercepte qu'une infime partie de cette énergie (moins d'un millième) nécessaire aux divers processus biologiques (photosynthèse) et géophysiques (temps et climat) dont la vie dépend. Le système terrestre, fondé sur des lois physiques fondamentales, doit émettre un rayonnement équivalent à celui qu'il reçoit. Par conséquent, le transfert complexe d'énergie qui répond à cette nécessité est à la base du temps et du climat que nous connaissons. Il existe une étroite corrélation entre le rayonnement solaire et la nébulosité et, dans la plupart des climats des terres arides caractérisés par une nébulosité faible, voire inexistante, le rayonnement solaire peut être relativement intense. En fait, c'est dans des régions comme le désert du Sahara que l'on enregistre certaines des plus fortes valeurs connues de rayonnement solaire. Le réchauffement de la surface du sol par le soleil est le principal facteur qui détermine la température de l'air.

Avec les précipitations, la température est le principal facteur déterminant du climat et, partant, de la répartition de la végétation et de la pédogenèse. Celle-ci est le produit de nombreux facteurs dont la roche-mère, la topographie, le climat, l'activité biologique et la durée. La température et les précipitations provoquent différents phénomènes d'altération et de lessivage. Les changements de température saisonniers et quotidiens peuvent influencer sur l'humidité du sol,



Figure 10 — Les fortes températures d'un terrain sablonneux peuvent augmenter l'évaporation du sol.

sur l'activité biologique, sur la vitesse des réactions chimiques et sur les types de végétation. Parmi les réactions chimiques notables dans le sol, citons les cycles de l'azote et du carbone.

Sous les tropiques, les températures du sol en surface peuvent dépasser 55 °C en été; cette chaleur intense contribue au fendillement des sols très argileux qui expose à l'action de l'eau ou du vent non seulement la surface du sol mais aussi sa couche inférieure. Évidemment, de telles températures accentuent également l'évaporation du sol (figure 10), réduisant encore l'humidité du sol nécessaire à la croissance des végétaux.

Dans les terres arides et tempérées, le cycle gel-fonte peut avoir un effet direct sur la composition des sols par le déplacement des roches et des pierres à différentes profondeurs vers la surface. À haute altitude, ce cycle est un facteur de dégradation de la structure des roches qui provoque des fendillements et des fissures susceptibles d'entraîner des glissements de terrain et des éboulis.

L'évaporation est la transformation de l'eau à l'état liquide ou solide en vapeur et sa diffusion dans l'atmosphère. Il faut un gradient de pression de vapeur entre la surface d'évaporation et l'atmosphère et une source d'énergie pour que l'évaporation se produise. Le rayonnement solaire est la principale source d'énergie et fixe les limites générales de l'évaporation. Sous les tropiques, le rayonnement solaire, modifié par la couverture nuageuse, est élevé, d'où un fort pouvoir évaporant de l'atmosphère. Dans les régions arides et



semi-arides, une quantité considérable d'énergie peut être transférée des zones sèches avoisinantes vers les zones irriguées. Le transfert d'énergie vers la surface d'évaporation est souvent appelé «effet d'oasis»; dans les zones de culture du coton de Gezira, au Soudan, on a remarqué que des effets d'oasis prononcés entraînaient des déperditions d'eau jusqu'à deux fois plus importantes que celles qui avaient été calculées en utilisant les formules météorologiques normalisées.

Les facteurs climatiques provoquent une demande évaporative de l'atmosphère, mais l'évaporation qui en résulte sera influencée par la nature des surfaces d'évaporation et par la disponibilité en eau. Sur des sols dégradés, la surface des sols elle-même influence le pouvoir évaporant lié à l'albédo et les inégalités du terrain, ces dernières ayant un effet sur les turbulences. Dans les régions arides et semi-arides, l'importante évaporation qui est bien supérieure aux précipitations conduit à l'accumulation de sels à la surface des sols. Les terres comportant un horizon sodique se dispersent facilement et leur faible coefficient d'humidité tend à limiter l'activité biologique.

Le vent

Les terres arides du monde subissent une dégradation des sols modérée à grave due à l'érosion éolienne; on sait aujourd'hui que la fréquence des tempêtes de sable et de poussière est en train de s'intensifier. On estime que dans les zones arides et semi-arides, 24 % des terres cultivées et 41 % des pâturages sont touchés par une dégradation modérée à grave due à l'action du vent.

La production annuelle totale de poussière dans le monde par déflation des sols et des sédiments est estimée entre 61 et 366 millions de tonnes. La perte des sols des déserts due à l'érosion éolienne est importante à l'échelle mondiale. La limite supérieure des estimations mondiales du transport à grande distance de poussières des déserts est d'environ 1×10^{16} g/an.

Pour l'Afrique, on estime à plus de 100 millions de tonnes par an les poussières entraînées vers l'ouest au-dessus de l'Atlantique. La quantité de



Figure 11 — La quantité de poussière venant de la zone sahé-lienne s'élèverait à environ 270 millions de tonnes par an.

poussière soustraite de la zone sahé-lienne serait d'environ 270 millions de tonnes ou plus par an (figure 11), ce qui correspond à une perte de 30 mm par m^2 par an ou une couche de 20 mm pour l'ensemble de la zone.

Chaque année, l'envahissement par le désert dû à l'érosion éolienne ensevelit 210 000 hectares de terres productives en Chine. Il a été observé que les modifications annuelles de la fréquence des tempêtes de sable fortes ou extrêmement fortes en Chine sont les suivantes: cinq fois dans les années 50, huit fois dans les années 60, 13 fois dans les années 70, 14 fois dans les années 80 et 20 fois dans les années 90.

Les tempêtes de sable et de poussière sont des phénomènes météorologiques dangereux qui posent de graves problèmes agricoles et environnementaux dans nombre de régions du monde. Elles engendrent des coûts élevés, tant au niveau local qu'à un échelon plus large. Elles peuvent avancer comme une marée irrésistible, les vents violents entraînant des nuages de sable qui ensevelissent les terres agricoles,

emportant la couche arable, dénudant la steppe, blessant les animaux, frappant les installations humaines, abaissant la température, comblant les canaux d'irrigation et les fossés avec des sédiments, recouvrant les voies ferrées et les routes, endommageant les habitations, nuisant à la qualité de l'eau des rivières et des cours d'eau, compromettant la qualité de l'air, polluant l'atmosphère et détruisant les installations minières et de télécommunications. Elles accélèrent le processus de dégradation des sols et provoquent une grave pollution du milieu et de gros dommages à l'environnement et au cadre de vie. La poussière qui est envoyée dans l'atmosphère par l'érosion éolienne nuit aussi à la santé de l'homme et à la qualité de l'air ambiant.

Les dommages induits par l'érosion comprennent les dégâts directs aux cultures à cause de la déperdition de tissu végétal et de la réduction de l'activité de photosynthèse découlant du décapage par le sable, de l'enfouissement des semis sous les dépôts de sable et de la perte de terres arables. Ce dernier phénomène est particulièrement inquiétant car il s'attaque à la base même des ressources des sols et, par conséquent, à la productivité agricole à long terme: il enlève en effet la couche qui est naturellement riche en nutriments et en matières organiques. L'érosion éolienne sur des sols de sable fin (figure 12 à gauche) peut provoquer une

grave dégradation des terres et les dépôts de sable sur les semis peuvent entraver le développement des plants (figure 12 à droite).

Des calculs, fondés sur des relevés de la visibilité et de la vitesse du vent pour des panaches de poussière de 100 kilomètres de large centrés sur huit stations météorologiques en Australie-Méridionale, ont montré que la masse de poussière transportée pouvait atteindre 10 millions de tonnes. L'entraînement de poussières pendant les épisodes poussiéreux conduit donc à une dégradation des sols à long terme, par essence irréversible. Le coût du point de vue de la productivité est difficile à mesurer, mais il est vraisemblablement assez important.

Les causes de l'érosion éolienne

Les cas d'érosion éolienne en n'importe quel lieu sont la conséquence d'événements météorologiques qui interagissent avec la gestion des sols et des terres, au travers de ses effets sur la structure du sol, sur la couche arable et sur le couvert végétal. Dans les régions qui connaissent régulièrement de longues périodes sèches associées à de violents vents saisonniers, l'érosion éolienne est en général un sérieux problème car le couvert végétal ne protège pas suffisamment le sol, et la



Figure 12 — L'érosion éolienne sur les sols de sable fin peut provoquer une grave dégradation des terres (à gauche) et les dépôts de sable sur les semis peuvent entraver le développement des plants (à droite).



surface du sol est instable à cause de pratiques de gestion inadaptées.

À la lisière sud du Sahara souffle un vent sec et chaud appelé harmattan: venant du nord-est ou de l'est, il survient normalement en hiver dans des conditions de hautes pressions atmosphériques. Quand la force de l'harmattan dépasse la valeur seuil, des particules de sable et de poussière sont enlevées de la surface du sol et transportées sur plusieurs centaines de kilomètres vers l'Atlantique.

Au nord-ouest de l'Inde, l'*andhi* est la tempête de sable et de poussière créée par un mouvement de convection qui se produit pendant la saison précédant la mousson. On l'appelle *haboob* en Afrique et dans les pays arabes; dans certaines régions, on la qualifie de «fantôme» ou de «démon».

On utilise en règle générale deux indicateurs — la vitesse du vent et la visibilité — pour classer le degré d'intensité des tempêtes de sable et de poussière. Par exemple, au nord-ouest de l'Inde, les tempêtes de sable et de poussière sont classées en trois catégories. En premier lieu, une faible tempête se développe quand le vent atteint la force 6 (Beaufort) et que la visibilité s'étend de 500 à 1 000 mètres. Ensuite, une tempête moyennement violente se produit quand le vent atteint la force 8 et que la visibilité varie entre 200 et 500 mètres. Enfin, une tempête de sable et de poussière violente se caractérise par un vent de force 9 et une visibilité inférieure à 200 mètres.

En Chine, les tempêtes de sable et de poussière sont classées de la même manière. La seule différence est que la catégorie des violentes tempêtes est subdivisée en deux groupes, à savoir les violentes tempêtes et les très violentes tempêtes. Quand la vitesse du vent atteint 50 mètres par seconde (m/s) et que la visibilité est inférieure à 200 mètres, la tempête est qualifiée de violente. Quand la vitesse du vent est de 25 m/s et que la visibilité est comprise entre 0 et 50 mètres, on a affaire à une très violente tempête (dans certaines régions on l'appelle «Tempête noire» ou «Diable noir»).

Le pouvoir érosif du vent est le principal facteur régissant le phénomène général de l'érosion éolienne. Il peut être défini comme cette

propriété du vent qui détermine sa capacité à entraîner et déplacer un sol dénudé et sec en bon état d'ameublissement. On peut l'estimer à partir des relevés quotidiens ou horaires de la vitesse du vent au-dessus d'un seuil lié à la plus petite vitesse du vent à laquelle les particules de sol peuvent être entraînées. L'indice Chepil-Woodruff du pouvoir érosif du vent (C) se calcule comme suit:

$$C = \frac{V_3}{2,9(P - E_p)}$$

où V = vitesse du vent aux niveaux d'observation normalisés (~ 10 m), $m\ s^{-1}$; P = précipitations (mm); et E_p est l'évapotranspiration potentielle (mm). Le tableau 3 indique le classement du pouvoir érosif du vent selon les différentes valeurs de l'indice du pouvoir érosif du vent.

Quand le déplacement des sols est soutenu, la quantité de sol que le vent peut transporter varie selon le cube de sa vitesse. Des modèles démontrent que l'érosion éolienne augmente nettement au-dessus d'une valeur seuil de la vitesse du vent. Dans la zone de culture du maïs aux États-Unis, une augmentation de 20 % de la vitesse moyenne du vent accroît considérablement la fréquence à laquelle le seuil est dépassé, et donc la fréquence des épisodes d'érosion.

On a cherché à plusieurs reprises à intégrer tous ces facteurs de l'érosion éolienne dans un modèle informatique. Citons par exemple le système de prévision de l'érosion éolienne (WEPS) qui est un modèle basé sur des processus, à pas de temps

Indice	Pouvoir érosif du vent
0-20	Insignifiant ou nul
20-50	Modéré
50-100	Élevé
> 150	Très élevé

Tableau 3 — Pouvoir érosif du vent (Source : W.S. Chepil et N.P. Woodruff, 1963. *Physics of wind erosion and its control. Advances in Agronomy*, 15).



Le Bureau météorologique australien utilise quatre définitions, conformes aux normes mondiales de l'OMM, pour caractériser les phénomènes engendrés par la poussière. Chacune intègre un code du temps présent SYNOP [WW]:

1. Les tempêtes de poussière (code SYNOP WW: 09) sont engendrées par des vents turbulents qui soulèvent de grandes quantités de poussière dans l'air et réduisent la visibilité à moins de 1 000 mètres.
2. La chasse-poussière élevée (code SYNOP WW: 07), provoqué par le vent, s'élève à une hauteur modérée en réduisant la visibilité à hauteur des yeux (1,8 m), mais pas à moins de 1 000 mètres.
3. La brume de poussière (code SYNOP WW: 06) est produite par des particules de poussière en suspension qui ont été soulevées du sol par une tempête de poussière avant le moment de l'observation.
4. Les tourbillons de poussière (ou les diables de poussière) (code SYNOP WW: 08) sont des colonnes de poussière tourbillonnantes poussées par le vent d'une hauteur inférieure à 30 mètres en général (mais elles peuvent atteindre 300 mètres ou plus); elles se dissipent d'habitude après avoir parcouru une courte distance.

quotidien, qui prédit l'érosion des sols en simulant les processus fondamentaux qui régissent l'érosion éolienne. Le WEPS peut calculer le déplacement des sols, estimer les dommages causés à la végétation et prédire les émissions de matières particulaires de dimension inférieure à 10 microns quand la vitesse du vent dépasse le seuil d'érosion. Il peut aussi fournir des informations spatiales sur les flux de sol, les dépôts et les pertes de sol dans certaines parties d'un champ en fonction du temps. La structure du WEPS est modulaire; elle comprend sept sous-modèles et quatre bases de données. La plupart des sous-modèles utilisent les variations quotidiennes des conditions météorologiques comme force motrice naturelle des processus physiques qui modifient les conditions en milieu réel. Les autres sous-modèles qui sont axés sur l'hydrologie donnent des renseignements sur les changements de

température et sur l'état hydrique du sol, sur les propriétés du sol, sur la croissance des plantes cultivées, sur la décomposition des plantes cultivées, sur les pratiques habituelles de faire-valoir comme le labourage, la plantation, la récolte et l'irrigation, et enfin sur la puissance du vent à une échelle inférieure à l'heure.

Les conséquences climatiques des tempêtes de poussière

La très fine fraction de poussière extraite des sols (figure 13) a d'importants effets de forçage sur le bilan radiatif. On pense que les particules exercent une influence radiative sur le climat, directement par la réflexion et l'absorption du rayonnement solaire et, indirectement, par la modification des propriétés optiques et de la longévité des nuages. Selon leurs propriétés et l'endroit où elles se trouvent dans l'atmosphère, les particules de poussière peuvent renvoyer la lumière du soleil dans l'espace et provoquer un refroidissement de deux façons. Directement, en renvoyant la lumière du soleil dans l'espace, en diminuant ainsi la quantité d'énergie qui atteint la surface. Indirectement, en agissant comme des noyaux de condensation amenant à la formation de nuages. Les nuages agissent comme une «couverture atmosphérique» qui retient dans l'atmosphère les rayonnements à ondes longues émises par la



Figure 13 — Les poussières provenant des sols peuvent avoir d'importants effets de forçage sur le bilan radiatif.

La mécanique des tempêtes de sable et de poussière

L'érosion éolienne est rendue possible quand la vitesse du vent au niveau du sol dépasse la vitesse limite nécessaire pour entraîner la moins stable des particules du sol. La particule enlevée peut se déplacer de quelques millimètres avant de trouver une zone de terrain mieux protégée. La vitesse du vent nécessaire pour entraîner la particule la moins stable s'appelle le «seuil statique». Si la vitesse du vent s'accroît, le déplacement des sols commence et, si la vitesse est suffisante, le déplacement des sols est continu. Cette vitesse s'appelle le «seuil dynamique».

Quand la force du vent atteint la vitesse limite, des particules commencent à vibrer. Avec un vent plus rapide, certaines particules seront éjectées du sol dans l'écoulement d'air. Lorsque ces particules retombent à la surface du sol, d'autres sont éjectées et une réaction en chaîne commence. Une fois éjectées, les particules se déplacent selon trois modes de transport, en fonction de leur taille, de leur forme et de leur densité. Ces trois modes sont la suspension, la saltation et la reptation.

La suspension concerne des particules de poussière d'un diamètre inférieur à 0,1 mm et des particules d'argile de moins de 0,002 mm de diamètre ; ces particules sont petites et elles ont une faible densité. Elles peuvent être transportées à une altitude pouvant atteindre 6 000 mètres et sur des distances allant jusqu'à 6 000 kilomètres.

La saltation touche les particules d'un diamètre compris entre 0,01 et 0,5 mm qui quittent la surface du sol, mais qui sont trop grosses pour rester en suspension. Les autres particules (d'un diamètre supérieur à 0,5 mm) glissent ou roulent par reptation; elles sont trop grosses pour être éjectées du sol et elles sont donc poussées par le vent et par les particules qui les percutent. Dans ce mode de transport, les hauteurs excèdent rarement 30 cm et les distances parcourues sont rarement supérieures à quelques mètres.

Pendant une tempête, les particules en reptation se déplacent sur des distances comprises entre quelques centimètres et quelques mètres; les particules en saltation bougent de quelques mètres à quelques centaines de mètres; celles qui sont en suspension parcourent des distances allant de plusieurs dizaines de mètres à des milliers de kilomètres. Dans le mur de sable-poussière, la force ascensionnelle produite par le courant d'air ascendant est puissante. Les particules de sable situées dans la strate inférieure du mur sont toutes grosses, celles de la strate intermédiaire sont plus petites et celles de la strate supérieure sont surtout des poussières en suspension.

Quand elles sont enlevées, calibrées et déplacées sur une certaine distance, les particules de sable transportées par saltation et par reptation s'accumulent pour former de nouvelles dunes.



Terre. Les tempêtes de poussière ont donc des incidences locales, nationales et internationales en termes de réchauffement planétaire. Les changements climatiques peuvent modifier, à leur tour, l'emplacement et l'importance des sources de poussières.

Feux de friches, dégradation des sols et émissions dans l'atmosphère

Les feux de friches non maîtrisés se produisent dans toutes les zones de végétation du monde. On estime que ces feux touchent chaque année 1 015 millions d'hectares de forêts boréales et tempérées et d'autres terres, 2 040 millions d'hectares de forêts tropicales ombrophiles, à cause des activités de conversion des forêts et de feux agricoles non maîtrisés, et jusqu'à 500 millions d'hectares de savanes tropicales et subtropicales, de terrains boisés et de forêts claires. La quantité de carbones organiques des sols est le double de celle qui est présente dans l'atmosphère et elle est deux à trois fois plus importante que celle qui est accumulée dans les organismes vivants de tous les écosystèmes terrestres de la planète. Dans un tel contexte, les feux représentent, parmi de nombreux autres impacts écologiques et environnementaux, une source notable de gaz à effet de serre responsables du réchauffement planétaire.

On estime que, à l'échelle de la planète, la combustion de la biomasse (figure 14) — comprenant les feux de friches — produit 40 % du gaz carbonique, 32 % du monoxyde de carbone, 20 % des particules en suspension dans l'air et 50 % des hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) hautement carcinogènes produits par toutes les sources. Les tentatives actuelles d'estimation des émissions produites dans le monde sont limitées par le manque de renseignements précis sur les zones brûlées et sur le combustible disponible pour le brûlage.

Les émissions dégagées par les feux sont considérables et contribuent sensiblement à l'ensemble des émissions dans l'atmosphère de gaz à l'état de traces et de particules en suspension. Les émissions naturelles sont responsables de la production d'une grande partie des composés, notamment des composés organiques volatiles



Figure 14 — Les feux sont une source importante de gaz à effet de serre.

insaturés, du monoxyde de carbone (CO) et de l'oxyde nitrique (NO) qui déterminent les concentrations d'oxydants de la troposphère. On estime le total des flux de composés organiques volatiles insaturés à environ 84×10^{12} g de carbone (Tg C) qui sont principalement composés d'isoprène (35 %), de 19 autres composés de terpène (25 %) et de 17 composés sans terpène (40 %).

L'influence des feux sur les caractéristiques des sols (humidité du sol, tassement du sol, température du sol, capacité d'infiltration, propriétés du sol, en particulier les matières organiques, pH, Ca, Mg, K, Na échangeables et P extractibles) d'un pacage semi-aride de l'Afrique australe a été quantifiée pendant deux saisons de croissance (2000/01 et 2001/02) après un feu accidentel. La diminution du couvert basal due au feu (foyers d'incendie) a surexposé le sol aux éléments naturels et, par conséquent, à des températures du sol plus élevées et à des tassements plus importants, ce qui a conduit à une diminution de l'humidité du sol et à une diminution de la capacité d'infiltration des sols.

Changement climatique et dégradation des sols

Les activités de l'homme — principalement la combustion de carburants fossiles et les modifications du couvert des terres — changent la concentration des constituants de l'atmosphère ou des propriétés de la surface de la Terre qui absorbent ou dissipent l'énergie du rayonnement solaire. En particulier, l'augmentation de la concentration des gaz à effet de serre (GES) et

des aérosols a fortement contribué aux changements climatiques observés pendant le XX^e siècle (figure 15) et sera vraisemblablement impliquée dans les changements climatiques du XXI^e siècle et au-delà. Ces variations de la composition de l'atmosphère modifieront probablement les températures, les régimes des précipitations, le niveau des mers, les événements extrêmes et d'autres aspects du climat dont dépendent l'environnement naturel et les systèmes humains.

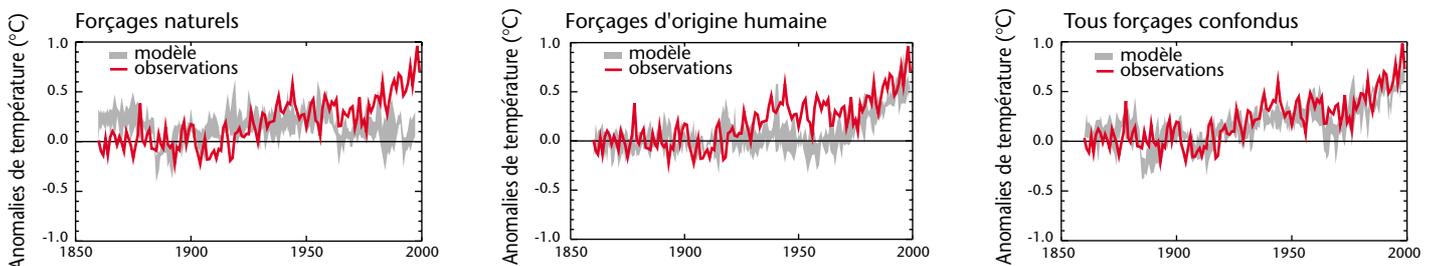
Selon le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC), formé par l'OMM et le PNUE, les écosystèmes sont soumis à de nombreuses contraintes (par exemple, la modification de l'utilisation des terres, les demandes en ressources, les changements démographiques); leur étendue et la structure de la répartition varient et les paysages sont de plus en plus fragmentés. Le changement climatique constitue une pression supplémentaire qui pourrait modifier, voire menacer les écosystèmes et les nombreux biens et services qu'ils fournissent. Les propriétés et les processus des sols — notamment la décomposition des matières organiques, les lessivages et les régimes hydriques du sol — seront influencés par l'élévation de la température. L'érosion et la dégradation des terres vont sans doute aggraver les effets néfastes de l'augmentation de la température de l'air sur le rendement des cultures. Le changement climatique pourrait amplifier l'érosion dans certaines régions, à cause des fortes précipitations et de la vitesse accrue des vents.

Le changement climatique induit par le CO₂ et la dégradation des sols sont inextricablement liés en raison des rétroactions entre la dégradation et

les précipitations. Le changement climatique pourrait exacerber la dégradation des sols par le biais de l'altération des configurations spatiales et temporelles des températures, des précipitations, du rayonnement solaire et des vents. Plusieurs modèles climatiques semblent indiquer que le futur réchauffement planétaire pourrait réduire l'humidité du sol sur de vastes zones de prairies semi-arides en Amérique du Nord et en Asie. Ce changement climatique va sans doute intensifier la dégradation des terres semi-arides provoquée par la croissance rapide des populations humaines au cours de la prochaine décennie. On prévoit que, en raison du changement climatique attendu, la superficie des terres désertiques du monde augmentera de 17 %, avec un doublement de la teneur en CO₂ dans l'atmosphère.

Les ressources en eau étant inextricablement liées au climat, la perspective d'un changement climatique global a de sérieuses répercussions sur les ressources hydriques et l'aménagement du territoire. Le changement climatique — en particulier au niveau de la variabilité des climats découlant des sécheresses et des inondations — rendra la gestion de ces problèmes encore plus complexe. Les populations pauvres, qui ont un accès très limité aux ressources en eau, seront les plus touchées. L'effet des changements de régime des précipitations et de l'augmentation de l'évaporation pourrait avoir de lourdes conséquences sur certains lacs et réservoirs. Des études montrent que, sous le paléoclimat de l'Afrique et dans les conditions climatiques actuelles, les lacs et les réservoirs réagissent à la variabilité des climats par de profonds changements au niveau du stockage, conduisant à un dessèchement total dans de nombreux cas.

Figure 15 — Comparer des simulations des températures superficielles annuelles moyennes de la Terre avec les relevés peut donner une idée des causes profondes des principaux changements; en ajoutant les effets calculés des forçages naturels et des forçages d'origine humaine, on retrouve les observations réelles (GIEC, 2001).



Ces études indiquent également qu'avec le régime climatique actuel, plusieurs grands lacs et terrains marécageux maintiennent un équilibre délicat entre les débits entrants et sortants, de sorte qu'une augmentation de l'évaporation de 40 %, par exemple, pourrait considérablement amoindrir le débit sortant.

La fréquence des épisodes de transport par le vent et l'eau à partir des terres arides devrait également s'intensifier en réaction aux changements du climat planétaire attendus. Une moindre humidité du sol et un couvert végétal plus clairsemé pourraient rendre les sols plus sensibles à l'érosion éolienne. La réduction des apports en matières organiques et l'augmentation de l'oxydation des matières organiques du sol pourraient amoindrir la capacité de rétention de l'eau des sols à long terme, ce qui amplifierait la désertification. En outre, la progression de l'érosion éolienne accroît la quantité de poussière minérale enlevée par le vent, ce qui pourrait renforcer l'absorption des rayonnements dans l'atmosphère.

Fixation du carbone pour atténuer le changement climatique et combattre la dégradation des sols

La quantité de carbones organiques des sols jusqu'à 1 mètre de profondeur varie de 30 tonnes/ha dans les climats arides, à 800 tonnes/ha dans les régions froides. La conversion des écosystèmes naturels en écosystèmes agricoles provoque une déperdition des carbones organiques pouvant atteindre jusqu'à 60 % dans les sols des régions tempérées et 75 % ou plus dans les sols cultivés des tropiques. Cette déperdition s'amplifie quand les apports de carbone dépassent les prélèvements et quand la dégradation des terres est importante.

La fixation du carbone consiste à transférer le CO₂ de l'atmosphère dans des réservoirs d'une grande longévité et à le stocker hermétiquement de façon qu'il ne soit pas immédiatement réémis. La fixation du carbone des sols implique donc une augmentation des stocks de carbones

organiques et inorganiques des sols grâce à une utilisation judicieuse des terres et des pratiques de gestion recommandées. Parmi ces pratiques, on citera la culture par paillis, le déchaumage, l'agroforesterie et divers systèmes de récolte, les cultures de protection et la gestion intégrée des nutriments, comprenant l'utilisation de fumier, de compost, de biosolides, de prairies améliorées et la gestion de la forêt.

La capacité potentielle du puits de carbone des écosystèmes gérés est à peu près égale au cumul des pertes historiques estimé de 55 à 78 gigatonnes. Compenser les émissions de carburants fossiles par le potentiel réalisable de carbones organiques du sol présente de nombreux avantages biophysiques et sociétaux. Une augmentation d'une tonne de carbone du sol des sols dégradés des terres cultivées peut augmenter le rendement des cultures de 20 à 40 kg/ha pour le blé, de 10 à 20 kg/ha pour le maïs et de 0,5 à 1 kg/ha pour le haricot à œil noir, et cela pourrait améliorer la sécurité alimentaire au niveau mondial.

Comprendre les interactions entre le climat et la dégradation des sols – Le rôle de l'OMM

L'OMM est l'institution spécialisée des Nations Unies chargée de la météorologie et de l'hydrologie opérationnelle. Elle apporte son soutien aux Services météorologiques et hydrologiques nationaux (SMHN) de ses 185 États et Territoires membres dans leurs missions d'observation et de compréhension du temps et du climat et de fourniture de services météorologiques et connexes pour répondre aux besoins nationaux. Ces besoins portent plus particulièrement sur la protection des personnes et des biens, la sauvegarde de l'environnement et l'aide au développement durable.

Les programmes scientifiques de l'OMM ont joué un rôle prépondérant dans la diffusion des connaissances sur le système climatique. Les observations systématiques (figure 16) effectuées au moyen de méthodes normalisées ont fourni des données mondiales pour l'analyse, la recherche et la modélisation de l'atmosphère et de l'évolution des schémas météorologiques. L'OMM coordonne un réseau mondial dédié à la



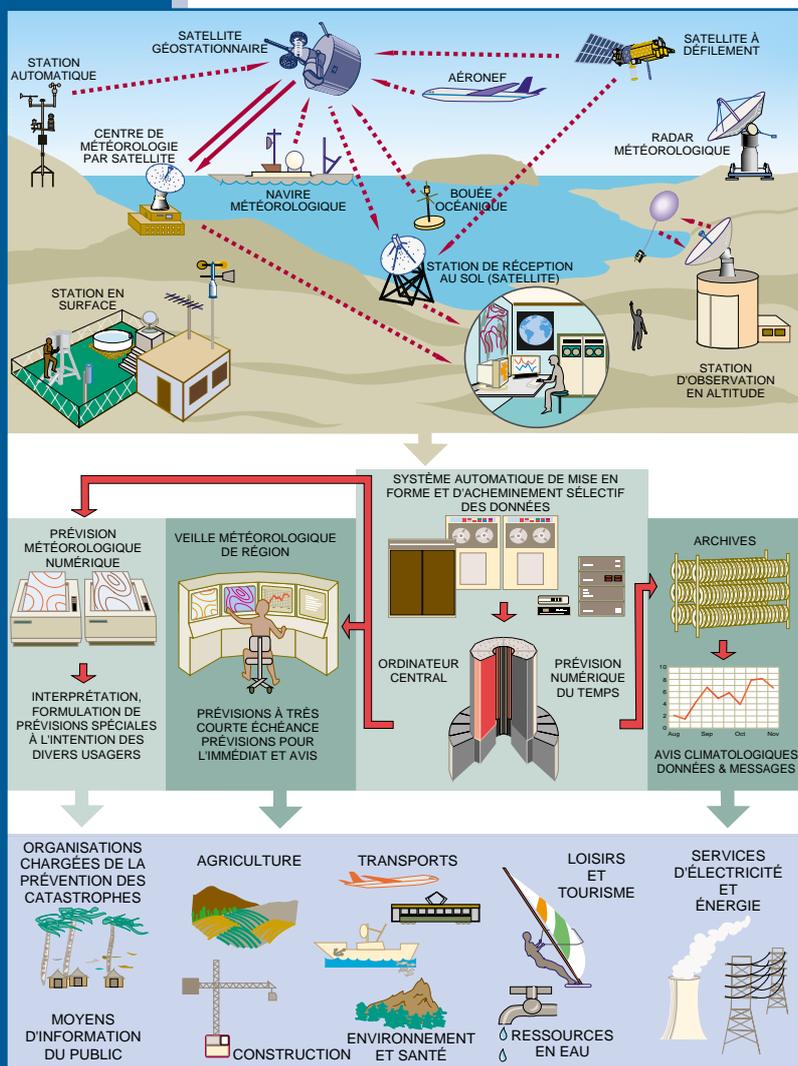


Figure 16 — Systèmes de base de l'OMM.

collecte et à l'échange de données d'observation dans le cadre du Système mondial d'observation du programme de Veille météorologique mondiale (figure 17). Ce système compte quelque 10 000 stations terrestres, 1 000 stations aérologiques, 7 000 navires, près de 3 000 avions fournissant plus de 150 000 observations par jour, et une constellation de 16 satellites météorologiques, environnementaux, opérationnels et de recherche (figure 18). L'OMM coordonne parallèlement un réseau de trois Centres météorologiques mondiaux, 35 Centres météorologiques régionaux spécialisés et 187 Centres météorologiques nationaux. Les programmes spécialisés d'observation, notamment ceux qui sont relatifs aux constituants chimiques de

l'atmosphère et aux caractéristiques des océans et de leur circulation, ont permis de mieux comprendre les interactions qui existent entre les domaines du système climatique (atmosphère, océans, surface du sol et cryosphère) et de la variabilité et du changement climatiques.

L'OMM contribue plus précisément à la compréhension des interactions entre le climat et la dégradation des sols, grâce à ses observations spécialisées sur le système climatique, à l'amélioration de l'application des méthodes agrométéorologiques et de l'évaluation et la gestion des ressources en eau, aux progrès de la science et de la prévision du climat, et à la promotion du renforcement des compétences pour l'application des données et informations météorologiques et hydrologiques à la prévention et la gestion des sécheresses. Dans ce cadre, l'OMM continuera de s'occuper de la dégradation des sols par le biais de son Programme de météorologie agricole, de son Programme d'hydrologie et de mise en valeur des ressources en eaux et d'autres programmes scientifiques et techniques. À cet effet, l'Organisation s'attache à :

- a) Préconiser l'amélioration des systèmes d'observation aux niveaux national, régional et international. L'OMM s'est engagée à travailler avec les Parties à la CCD pour améliorer les systèmes d'observation du temps, du climat et des ressources en eau afin de répondre aux besoins de la Convention, et pour aider les pays en développement à renforcer leur participation à la collecte et l'utilisation de ces observations afin de se conformer à leurs engagements vis-à-vis de la Convention. À cet égard, il est intéressant d'étudier les décisions de la Conférence des Parties à la Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques (CCNUCC) qui traitent de la question des systèmes d'observation du climat, ainsi que le programme d'ateliers régionaux qui a été élaboré et qui est exécuté dans différentes régions du monde par le secrétariat du Système mondial d'observation du climat (SMOC), en collaboration avec l'OMM.
- b) Promouvoir des systèmes d'alerte précoce efficaces, qui servent aussi de mécanisme

d'alerte, essentiel et précieux, pour lutter contre la dégradation des sols. Comme les risques météorologiques et hydrologiques sont liés à la variabilité climatique, les SMHN ont besoin d'évaluations régulières et d'avis autorisés sur l'interprétation et l'applicabilité des données d'observation pour l'étude de la variabilité climatique et la création d'un système d'alerte permettant de déclencher des alertes précoces en cas d'anomalies climatiques significatives. Il est possible d'émettre des avertissements à propos des catastrophes liées au climat des semaines et même des saisons à l'avance. Le Programme climatologique mondial de l'OMM continuera d'émettre des communiqués réguliers sur l'évolution des phénomènes *El Niño* ou *La Niña*, grâce auxquels les SMHN pourront alerter les pouvoirs publics afin qu'ils se préparent à prendre des mesures de protection contre l'impact des anomalies liées à *El Niño* qui peuvent déclencher de multiples catastrophes. L'OMM a joué un rôle actif dans les travaux du Groupe spécial sur les systèmes d'alerte précoce établi par le Comité de la Science et de la Technologie de la CCD. Au premier rang des recommandations du Groupe figurent la nécessité de procéder à une analyse critique des performances des systèmes d'alerte précoce, de veille et

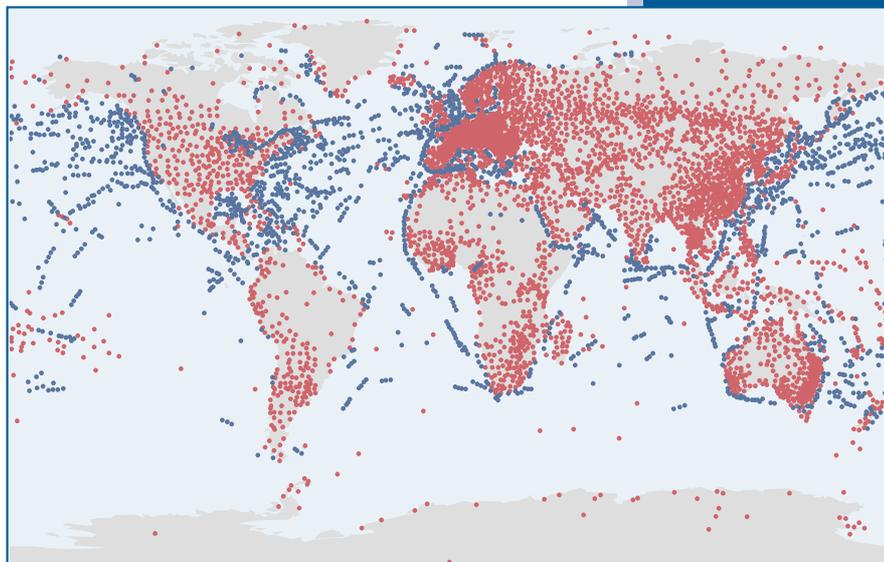


Figure 17 — Couverture typique des observations de la surface de la terre.

d'évaluation; l'amélioration des méthodes et approches utilisées pour la prédiction des sécheresses et la surveillance de la désertification; et l'élaboration de mécanismes pour faciliter l'échange d'informations, en se concentrant en particulier sur les réseaux nationaux et sous-régionaux. Le nouveau programme de l'OMM pour la prévention des catastrophes naturelles et l'atténuation de leurs effets sera un élément fédérateur, permettant de rapprocher les efforts consentis dans le domaine des alertes



Figure 18 — Système d'observation spatial.

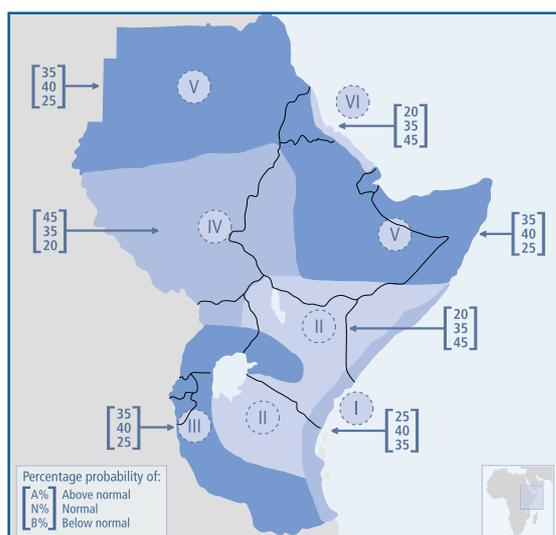
précoces et d'entreprendre de nouvelles initiatives, en collaboration avec d'autres organisations.

- c) Continuer de renforcer les capacités de prévisions climatiques via le projet CLIVAR sur la variabilité et la prévisibilité du climat relevant du Programme mondial de recherche sur le climat (PMRC). Il est aujourd'hui possible de prévoir, avec une précision suffisante, les phénomènes *El Niño* et leurs effets induits, plusieurs saisons à l'avance. Parallèlement, l'OMM étend l'exécution de son projet de services d'information et de prévision climatologiques (CLIPS), destiné à promouvoir l'utilisation des services d'information et de prévision du climat, le renforcement des capacités, la recherche pluridisciplinaire et le développement de nouvelles applications. Les prévisions consensuelles à longue échéance des sécheresses, qui ont été émises lors de plusieurs forums régionaux sur l'évolution probable du climat, organisés dans différentes régions du monde avec le soutien actif de l'OMM, fournissent aux autorités nationales des renseignements utiles sur les alertes précoces (figure 19).
- d) Évaluer la vulnérabilité et analyser les risques au moyen des connaissances sur la vulnérabilité aux niveaux, local, national et régional — facteur essentiel pour jauger la

pertinence de l'alerte précoce. Une bonne façon d'apprécier ces différentes vulnérabilités consiste à relier les différentes bases de données (temps, climat et catastrophes) aux divers types de catastrophes météorologiques ou hydrologiques. À cet égard, un projet pilote est en cours au Chili: il met en corrélation les bases de données sur les inondations et le climat, avec l'appui de l'OMM au travers du Programme climatologique mondial, dans le cadre des activités des Groupes de travail sur le climat et les catastrophes et sur l'évaluation des risques, de la vulnérabilité et des conséquences, relevant de l'Équipe spéciale interinstitutions pour la prévention des catastrophes. Il s'agit d'un outil important pour informer les décideurs et les communautés à propos des risques. L'OMM continuera d'appuyer la création et la gestion de bases de données pertinentes sur le climat, au moyen des projets de sauvetage des données et de gestion des bases de données climatologiques.

- e) Mettre en œuvre des applications de gestion des risques pour lutter contre la sécheresse et atténuer les inondations. Dans ce cadre, la cartographie des risques, le zonage agroclimatique et la création de partenariats sont des outils essentiels pour l'utilisation des terres et la planification de la prévention. Plusieurs équipes d'experts formées par la Commission de météorologie agricole (CMAg) de l'OMM examinent ces questions avec attention et publient des recommandations destinés aux utilisateurs. Dans le domaine de la prévision et de la gestion des crues, le Programme d'hydrologie et de mise en valeur des ressources en eau (PHRE) de l'OMM met en œuvre le Programme associé de gestion des crues (APFM) en collaboration avec le Partenariat mondial pour l'eau, dans le cadre de la gestion intégrée des ressources hydriques. Plusieurs projets connexes sont actuellement élaborés dans différentes régions du monde pour dispenser des conseils sur la mise en place de systèmes d'appui pour une gestion viable des terres et pour le zonage agroclimatique.

Figure 19 — Carte de l'évolution probable du climat établie par le Centre de prévision et d'applications climatologiques relevant de l'IGAD et bénéficiant de l'appui de l'OMM (IICPAC).

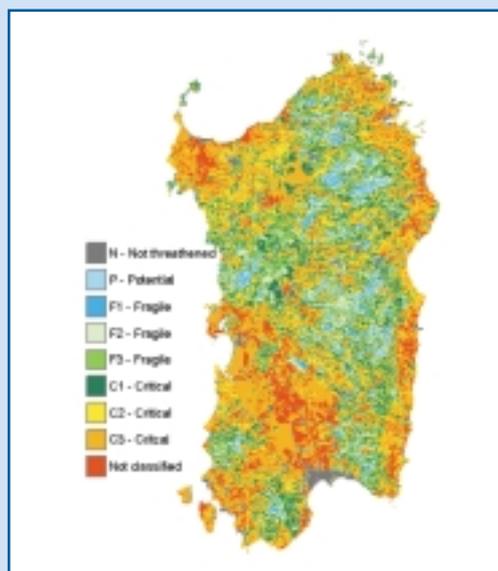


Les outils analytiques de la cartographie agroclimatique

Pour établir des évaluations fiables et prendre de bonnes décisions concernant les interactions entre le climat et des épisodes comme la sécheresse et la désertification, les catastrophes naturelles, la déforestation ou les événements extrêmes, et pour évaluer leurs conséquences socioéconomiques, les scientifiques doivent analyser et intégrer des ensembles de données spatiales et temporelles très différents provenant de nombreuses disciplines. Celles-ci vont de la phytotechnie et de la pédologie à la météorologie; elles ont chacune mis au point des techniques et accumulé de vastes connaissances ces dernières décennies. Les jeux de données exploités sont variés: cartes aériennes numérisées des types de sols et de l'utilisation des terres, différentes données de télédétection par satellite et ensembles de données ponctuelles sur les précipitations, la température et l'altitude

La cartographie agroclimatique et le zonage agroécologique font partie des méthodes que l'on peut utiliser pour analyser ces différents ensembles de données. Au cours de la dernière décennie, des systèmes d'information géographique (SIG) ont été élaborés pour faciliter ce type d'analyses. Un SIG est un système informatisé qui permet de collecter, organiser, archiver, analyser et manipuler de grandes quantités de données descriptives indexées dans l'espace et liées. Les données sont indexées d'après les coordonnées géographiques de leurs éléments (latitude et longitude). Il est utile de considérer un SIG comme un procédé plutôt que comme un objet. Les SIG sont fréquemment employés pour analyser les données de télédétection par satellite.

L'adoption d'outils et de technologies de pointe comme la télédétection, les SIG, les applications de mesure au sol et de modélisation pour produire des cartes agroclimatiques combinées contribue au développement de systèmes de production agricole viables et plus efficaces qui sont adaptés aux cultures locales et aux ressources humaines. Les prévisions concernant la vulnérabilité à la variabilité du climat et l'évaluation des risques sont intégrées dans ces analyses en tant qu'outils importants de la gestion des exploitations agricoles et de la prise de décisions. Des recherches sont en cours pour appliquer ces méthodes à un aménagement du territoire durable, à la conservation de la biodiversité et à l'évaluation des potentialités spécifiques des différentes réalités agricoles.



Zones écologiquement sensibles à la désertification en Sardaigne (Montroni et Canu, 2005).

f) Contribuer activement à la Stratégie internationale de prévention des catastrophes (SIPC) des Nations Unies. Il convient de noter que la capacité de la société à résister et à s'adapter au changement climatique dépendra largement de sa capacité à prévoir comment et où les régimes météorologiques et climatiques sont susceptibles de changer, à prévoir les fluctuations constantes des risques et des vulnérabilités qui menacent les communautés, et à concevoir des stratégies d'adaptation qui renforceront la détermination des collectivités quand la prochaine catastrophe envisagée frappera. C'est l'OMM qui dirige le Groupe de travail sur le climat et les catastrophes de la SIPC.

g) Soutenir le renforcement des capacités des Parties et des institutions régionales par le biais de programmes sur la sécheresse et promouvoir la collaboration avec d'autres institutions dans les régions exposées à la sécheresse et à la désertification, en particulier en Afrique, en Asie, en Amérique latine, dans les Caraïbes et le nord de la Méditerranée (toutes ces régions sont mentionnées dans les annexes régionales de la CDD). Parmi les institutions africaines concernées, on peut citer le Centre régional de formation, de recherche et d'application en agrométéorologie et en hydrologie opérationnelle (centre AGRHYMET) et le Centre africain pour les applications de la météorologie au développement (ACMAD), tous deux situés à Niamey (Niger), ainsi que le Centre de prévision et d'applications climatiques (ICPAC) relevant de l'IGAD et bénéficiant de l'appui de l'OMM et les centres de suivi de la sécheresse de la SADC pour l'Afrique de l'Est et l'Afrique australe, situés respectivement à Nairobi (Kenya) et à Harare (Zimbabwe). Pour renforcer les capacités d'élaboration des plans d'action nationaux dans le cadre de la Convention, l'OMM a organisé des séminaires itinérants sur l'application des données climatiques à la lutte contre la désertification, à la prévention des situations de sécheresse et à la gestion d'une

agriculture durable à Pékin en mai 2001 et à Antigua-et-Barbuda en avril 2004.

Perspectives d'avenir

La définition de la dégradation des terres adoptée par la CCD accorde une grande importance à la contribution des facteurs climatiques, mais il n'existe aucun effort concerté au niveau mondial visant à surveiller systématiquement les effets des différents facteurs climatiques sur la dégradation des sols dans les différentes régions et pour les différents types de dégradation. Il est donc urgent de surveiller les interactions entre le climat et la dégradation des sols. Pour mieux comprendre ces interactions, il importe aussi d'identifier les sources et les puits de carbone, d'aérosols et de gaz à l'état de traces des terres arides. Les réseaux régionaux de surveillance du climat peuvent parfaitement remplir cette mission; ils pourraient aussi contribuer à une meilleure application des prévisions climatiques saisonnières pour que la gestion des terres arides soit plus efficace.

Le réseau météorologique de base et les installations d'observation de nombre de régions, dont certaines connaissent de sérieux problèmes de dégradation des sols, présentent de graves lacunes; la plus flagrante et la plus répandue est l'absence de renseignements sur l'intensité des précipitations. L'OMM s'efforce de faciliter la création de systèmes d'alerte précoce en organisant la mise au point d'instruments appropriés et de méthodes de traitement des statistiques. En outre, l'OMM coordonne les initiatives de ses membres visant à étudier plus avant l'utilisation des données des satellites météorologiques pour compléter la connaissance des conditions météorologiques qui influencent la dégradation des terres, en particulier dans les zones qui ne sont pas suffisamment couvertes par des observations au sol. Par l'intermédiaire de ses 185 membres, l'OMM est heureuse d'apporter sa contribution aux recherches visant à mieux comprendre le rôle du climat dans la dégradation des sols et d'œuvrer avec les différentes organisations nationales, régionales et internationales et avec la société civile pour combattre et enrayer la dégradation des terres.

Organisation météorologique mondiale

Pour plus de renseignements sur l'OMM,
veuillez vous adresser au:

**Bureau de la communication et des relations publiques
Organisation météorologique mondiale**

7bis, avenue de la Paix - Case postale 2300 - CH-1211 Genève 2 - Suisse

Tél.: (+41-22) 730 83 14 - 730 83 15 - Fax: (+41-22) 730 80 27

Courriel: cpa@wmo.int - Site Web: www.wmo.int

Pour en savoir plus, veuillez vous adresser au:

**Département du Programme climatologique mondial
Organisation météorologique mondiale**

7bis, avenue de la Paix - Case postale 2300 - CH-1211 Genève 2 - Suisse

Tél.: (+41-22) 730 83 80 - Fax: (+41-22) 730 80 42

Courriel: agm@wmo.int - Site Web: <http://www.wmo.int/web/wcp/agm/agmp.html>



préservation des sols – gestion des terres – prévision des crues – sécurité alimentaire