



ORGANISATION DES NATIONS UNIES
POUR L'ALIMENTATION ET L'AGRICULTURE



PROGRAMME DES NATIONS UNIES
POUR L'ENVIRONNEMENT

**MÉTHODE PROVISOIRE
D'ÉVALUATION ET DE CARTOGRAPHIE
DE LA DÉSERTIFICATION**



ORGANISATION DES NATIONS UNIES POUR L'ALIMENTATION ET L'AGRICULTURE



ORGANISATION DES NATIONS UNIES
POUR L'ALIMENTATION ET L'AGRICULTURE



PROGRAMME DES NATIONS UNIES
POUR L'ENVIRONNEMENT

**MÉTHODE PROVISOIRE
D'ÉVALUATION ET DE CARTOGRAPHIE
DE LA DÉSERTIFICATION**



ORGANISATION DES NATIONS UNIES POUR L'ALIMENTATION ET L'AGRICULTURE
Rome, 1984

Les appellations employées dans cette publication et la présentation des données qui y figurent n'impliquent de la part de l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture et du Programme des Nations Unies pour l'environnement 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.

Ter
Ar/804

M-90

ISBN 92-5-201442-X

Reproduction interdite, en tout ou en partie, par quelque procédé que ce soit, sans l'autorisation écrite de l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture, détentrice des droits avec le Programme des Nations Unies pour l'environnement. Adresser une demande motivée au Directeur de la Division des publications, Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture, Via delle Terme di Caracalla, 00100 Rome, Italie, en indiquant les passages ou illustrations en cause.

© FAO et PNUE, 1984

PREFACE

Le présent rapport rend compte d'un projet entrepris conjointement par la FAO et le PNUE en vue de mettre au point une méthode d'évaluation et de cartographie de la désertification. Ce projet relève du Plan d'action conçu pour freiner et enrayer la désertification, en application de la recommandation émise en 1977 par la Conférence des Nations Unies sur la désertification, et dont le Conseil d'administration du Programme des Nations Unies pour l'environnement (PNUE) a fait, à sa cinquième session, l'un de ses objectifs pour 1982.

Le projet a pour but d'élaborer une méthodologie commune d'évaluation de la désertification, dont l'application permettra de mieux prendre conscience des problèmes qui se posent et de catalyser des mesures correctives.

L'établissement de la méthodologie a été confié à MM. H. Dregne et T.G. Boyadgiev, qui ont bénéficié de la collaboration des spécialistes chargés de l'expérimenter, et des experts compétents des organisations participant au projet, à savoir le PNUE, la FAO, l'Unesco, l'OMM et l'AISS.

Nous espérons que tous ceux qui jouent un rôle dans la lutte contre la désertification - décideurs, chercheurs, techniciens - tireront parti de la méthode provisoire décrite ici et des conclusions découlant des essais faits sur le terrain.

M. T.G. Boyadgiev, coordonnateur du projet, dont le siège se trouve auprès du Service de la gestion et de la conservation des ressources en sols, Division de la mise en valeur des terres et des eaux de la FAO (Rome), est à la disposition de tous ceux qui souhaiteraient recevoir un complément d'informations techniques.

TABLE DES MATIERES

	<u>Page</u>
1. INTRODUCTION	1
1.1 Ampleur du problème	1
1.2 Portée et exécution du projet	1
1.3 Principes de base	2
2. PRINCIPES ET CONCEPTS DE LA DESERTIFICATION	3
2.1 Désertification	3
2.2 Processus de désertification	3
2.2.1 Dégradation du couvert végétal	4
2.2.2 Erosion hydraulique	4
2.2.3 Erosion éolienne	4
2.2.4 Salinisation	4
2.2.5 Encroûtement et compactage du sol	5
2.2.6 Diminution de la teneur en matière organique du sol	5
2.2.7 Excès de substances toxiques	5
2.3 Aspects de la désertification	5
2.3.1 Degré de désertification	5
2.3.2 Vitesse de la désertification	6
2.3.3 Vulnérabilité inhérente à la désertification	6
2.3.4 Risque de désertification	6
2.4 Classes de désertification	6
2.4.1 En ce qui concerne le degré de désertification	6
2.4.2 En ce qui concerne la vitesse de désertification	6
2.4.3 En ce qui concerne la vulnérabilité inhérente à la désertification	7
2.4.4 En ce qui concerne le risque de désertification	7
3. ELABORATION ET EXPERIMENTATION DE LA METHODE	7
3.1 Elaboration de la méthode provisoire	7
3.2 Expérimentation sur le terrain	9
3.2.1 Mexique	10
3.2.2 Texas	10
3.2.3 Haute-Volta	11
3.2.4 Soudan	11
3.2.5 Tunisie	12
3.2.6 Syrie	12
3.2.7 Pakistan	13
3.2.8 R.S.S. du Turkménistan	14
3.2.9 Australie	15
3.2.10 Quelques problèmes rencontrés (données et cartographie)	16

4.	EVALUATION DE LA METHODE	17
4.1	Evaluation des processus déterminants	17
4.1.1	Dégradation du couvert végétal	18
4.1.2	Erosion hydraulique	18
4.1.3	Erosion éolienne	19
4.1.4	Salinisation	20
4.2	Critères d'évaluation du degré, de la vitesse et de la vulnérabilité inhérente	20
4.3	Evaluation des risques de désertification	29
4.3.1	Estimation de la pression du cheptel sur l'environnement	29
4.3.2	Estimation de la pression démographique sur l'environnement	31
5.	CARTOGRAPHIE DE LA DESERTIFICATION	34
5.1	Echelle cartographique	34
5.2	Type de résolution utilisé en cartographie	34
5.3	Compilation des cartes	41
5.3.1	Pour cartographier le degré de désertification	41
5.3.2	Pour cartographier la vitesse de désertification	42
5.3.3	Pour cartographier la vulnérabilité inhérente à la désertification	42
5.3.4	Pour cartographier le risque de désertification	43
5.4	Cartographie du degré, de la vitesse de désertification et de la vulnérabilité inhérente à la désertification	43
5.5	Cartographie du risque de désertification	44
5.5.1	Etablissement d'un indice du risque de désertification	44
5.6	Surveillance	46
ANNEXES		
I.A	Pays et institutions qui ont participé à l'expérimentation de la méthode concernant la désertification	47
I.B	Caractéristiques physiques et biochimiques des régions comprises dans l'expérimentation	52
I.C	Processus étudiés et cartes présentées	54
I.D	Critères retenus pour évaluer la désertification en Australie, en Syrie, Mexique et au Turkménistan	59
II	BIBLIOGRAPHIE	69

1. INTRODUCTION

1.1 AMPLEUR DU PROBLEME

Plus du tiers des terres de la planète sont des terres arides et, sur cette superficie, le processus de désertification s'est intensifié depuis quelques dizaines d'années. D'après les estimations disponibles ^{1/} la désertification menace l'existence de plus de 785 millions de personnes, soit les 17,7 pour cent de la population mondiale qui vivent sur ces terres arides. Sur ce nombre, 60 à 100 millions de personnes sont directement touchées par des baisses de productivité liées à des processus actifs de désertification. On estime aussi que, chaque année, 50 000 à 70 000 kilomètres carrés de terres cultivables sont perdus pour la production du fait de la désertification. La Carte mondiale de la désertification, établie au 1/25 000 000 en vue de la Conférence des Nations Unies sur la désertification qui s'est tenue en 1977, donne une idée de la situation actuelle.

Cette situation, dans les termes où nous venons de la décrire, n'a généralement été évaluée qu'à partir des données géographiques existantes. Pour pouvoir étudier les zones atteintes ou susceptibles de l'être un jour, ainsi que la vitesse des processus de désertification à l'échelle mondiale, régionale et nationale, il faut des données plus précises.

Il est urgent de réunir des données plus fiables, d'une part pour pouvoir chiffrer exactement le rythme de la désertification et le risque encouru, et d'autre part pour faciliter toute action future visant à planifier et à orienter, aux échelons national et régional, des interventions appropriées qui seront le point de départ d'une lutte internationale contre la désertification, d'une coordination des recherches et d'un transfert des technologies nécessaires. C'est dans ce but qu'a été entrepris le projet FAO/PNUÉ intitulé "Evaluation et cartographie de la désertification".

1.2 PORTEE ET EXECUTION DU PROJET

Il fallait avant tout mettre au point une méthode permettant d'évaluer et de cartographier la dynamique de la désertification, compte tenu des processus en cause et des risques les accompagnant.

Vu l'urgence avec laquelle il fallait intervenir, la Conférence des Nations Unies sur la désertification (CNUD) recommanda de préparer, à plus grande échelle, des cartes détaillées de la désertification au niveau national et régional, en privilégiant l'évaluation au niveau des pays et la production de cartes pouvant être utilisées immédiatement par les pays intéressés.

Les premières dispositions prises en ce sens consistèrent à mettre au point une méthode provisoire utilisable pour évaluer et cartographier la désertification, à l'expérimenter dans un certain nombre de pays qui avaient accepté de participer à l'entreprise, à passer en revue les résultats obtenus, puis à élaborer une méthodologie acceptable qui serait utilisée à l'avenir pour la lutte contre la désertification.

La mise au point de cette méthodologie s'est faite par étapes à travers plusieurs approximations successives, suivant les directives de consultations périodiques d'experts appartenant aux organisations qui patronnaient ce travail. La première de ces consultations a eu lieu en décembre 1980 (11), la seconde en juillet 1981.

La méthode provisoire a ensuite été communiquée aux organisations, aux pays et aux institutions nationales intéressés pour qu'ils l'expérimentent sur le terrain (voir chapitre 3) et préparent des cartes expérimentales aux échelles ci-après:

^{1/} Données provenant de la Conférence des Nations Unies sur la désertification (CNUD) (1977) compte tenu du taux d'accroissement (26).

1/10 000 - 1/50 000 pour les cartes établies à l'échelle des exploitations
1/100 000 - 1/250 000 pour les cartes établies à l'échelle des villes/
districts/provinces
1/1 000 000 - 1/2 500 000 pour les cartes établies à l'échelle des pays/régions.

Les essais envisagés ne prévoyaient pas la collecte de données nouvelles, mais devaient se faire à partir des cartes existantes - cartes des sols, de l'utilisation des terres, de la végétation, des paysages, cartes climatologiques, écologiques, hydrologiques, etc. - avec le cas échéant des vérifications in situ. Les rapports émanant des pays qui ont participé à ces essais sont résumés au chapitre 3.

La troisième consultation d'experts qui s'est tenue en octobre 1982 (12) a évalué les résultats de ces essais. Les chapitres 4 et 5 reprennent les conclusions et recommandations de cette consultation.

1.3 PRINCIPES DE BASE

Les principes de base sur lesquels repose l'élaboration de la méthodologie décrite dans le présent rapport s'inspirent du Plan d'action et des résolutions adoptés par la CNUD en août-septembre 1977 (25) et se ramènent principalement à ceci:

La désertification est un problème humain et social qui affecte le monde entier et qui ne se prête pas à des solutions rapides, même si dans certaines régions il revêt déjà une certaine urgence. C'est un processus qui trouve en lui-même ses causes et provoque sa propre accélération. Les coûts de réhabilitation croissent dans une mesure exponentielle à sa progression.

La désertification se présente normalement comme la dégradation des ressources végétales, animales, pédologiques et hydriques et, d'une manière générale, se manifeste par une perte de la productivité biologique des régions soumises à une contrainte écologique. Si l'écosystème est fragile, comme c'est le cas en bordure des déserts, cette dégradation prend aisément un caractère irréversible et limite à jamais la capacité des zones touchées de faire vivre une population.

Le Plan d'action porte sur les régions où la désertification est en cours, et sur d'autres où elle pourrait se produire dans l'avenir, notamment les zones arides, semi-arides et subhumides.

Le but visé, dans l'immédiat, est de prévenir et d'arrêter l'avance de la désertification et, dans la mesure du possible, de restaurer la productivité des terres endommagées.

On sait désormais qu'il faut agir sans délai, en nous servant des connaissances en notre possession, non seulement pour stopper les processus physiques qui sont à l'origine de la désertification, mais aussi pour apprendre aux gens à nuire le moins possible, par leurs activités économiques et sociales, aux fragiles écosystèmes des zones arides.

2. PRINCIPES ET CONCEPTS DE LA DESERTIFICATION

2.1 DESERTIFICATION

Dans le contexte du projet FAO/PNUE d'évaluation et de cartographie de la désertification, le mot "désertification" est pris dans son sens global, qui recouvre aussi bien des processus économiques et sociaux que des processus naturels, spontanés ou induits, aptes à détruire l'équilibre qui existe entre le sol, la végétation, l'air et l'eau dans les régions caractérisées par une aridité de type soit édaphique soit climatique. Une détérioration prolongée aboutit à la diminution ou à la disparition du potentiel biologique de la terre, à une dégradation des conditions de vie et à une extension des paysages désertiques.

La désertification est un processus continu, qui passe par plusieurs étapes avant d'atteindre le stade final qui est celui d'une transformation irréversible. Il existe des seuils naturels - liés à des événements historiques ou à des bouleversements géo-socio-économiques - qui soit déclenchent des phénomènes de désertification, soit en maintiennent constante l'intensité. La désertification résulte donc à la fois de phénomènes naturels et de mécanismes dus à la pression démographique (humaine et animale), mais ce n'est que par l'intervention de l'homme qu'elle peut être ralentie et stoppée.

Une différence importante sépare la dégradation du sol de la désertification, à savoir que la dégradation du sol n'est pas nécessairement un phénomène continu; elle se produit pendant des périodes de temps relativement courtes et peut être renversée. D'autre part, la désertification, ou le risque de désertification, concerne uniquement les régions arides, semi-arides et subhumides, tandis que la dégradation du sol peut se produire sous tous les climats. Une dégradation constante des propriétés du sol peut aboutir à la désertification (15). En outre, certains mécanismes jugés importants pour la compréhension de la dégradation des sols, comme l'engorgement, la ratification des éléments nutritifs des végétaux, l'acidification, n'entrent pas en ligne de compte dans la désertification.

Dans la méthode décrite ici, on a tenu compte uniquement des processus de détérioration et de dégradation suffisamment avancés et affectant des superficies suffisamment vastes pour influencer sur les conditions d'existence. Les modifications considérées concernent la dégradation du sol et de la végétation, la pollution de l'air et la minéralisation de l'eau, dont les causes principales sont d'ordre socio-économique, géophysique et géoclimatique. Elles se produisent dans les zones arides, semi-arides et subhumides, c'est-à-dire sur la partie du globe qui se caractérise par un rapport P/ETP inférieur à 0,75 (24) et par un indice d'aridité supérieur à 1,5 (5).

2.2 PROCESSUS DE DESERTIFICATION

Sur le plan pratique, les mécanismes naturels ou induits considérés comme conduisant à la désertification sont les suivants:

- i. la dégradation du couvert végétal
- ii. l'érosion hydraulique
- iii. l'érosion éolienne
- iv. la salinisation
- v. la diminution de la teneur en matière organique du sol
- vi. l'encroûtement et le compactage du sol
- vii. l'accumulation de substances toxiques pour les végétaux et pour les animaux.

Les quatre premiers de ces phénomènes sont des processus déterminants de première importance. Les trois autres leur sont subordonnés. On appelle les premiers des processus déterminants car leurs effets sont plus étendus et qu'ils influent fortement sur la productivité des terres.

2.2.1 Dégradation du couvert végétal

Par dégradation du couvert végétal on entend, dans le contexte de la présente étude, l'enlèvement ou la destruction du manteau végétal par des agents divers, dont l'action est généralement catalysée par des interventions humaines interférant avec l'équilibre naturel du milieu. Les manifestations les plus courantes de ces interférences sont le défrichage, c'est-à-dire l'abattage des arbres, ou les pratiques culturales, les feux de brousse ou le surpâturage. Dans les régions arides, ces facteurs jouent un rôle fondamental en ce sens qu'ils ne tolèrent guère de possibilités de remise en état, qu'ils laissent le sol dénudé et entièrement exposé aux autres mécanismes de la désertification.

La disparition progressive des pâturages constitués d'espèces appréciées des animaux fait également partie des phénomènes de dégradation même si, à première vue, le couvert végétal paraît encore suffisant pour protéger le sol contre l'érosion.

2.2.2 Erosion hydraulique

L'érosion hydraulique s'applique à l'enlèvement du sol sur des terrains en pente. Si l'on ne réagit pas pour arrêter le phénomène, la roche sous-jacente finit par être mise à nu. Les effets observables de ce type d'érosion se manifestent de trois façons: enlèvement général du sol superficiel sous l'effet de la pluie (érosion en nappe), formation de rigoles et de ravines et mouvements de masse.

C'est le martellement des gouttes de pluie qui déclenche l'érosion mais c'est à l'occasion d'orages intenses que l'eau accumulée rapidement commence à s'écouler en empruntant de petites voies naturelles de drainage et entraîne le sol superficiel prêt à l'érosion; c'est ainsi que se forment les rigoles. L'eau continuant de se concentrer dans les rigoles creuse des ravines qui entaillent profondément le sol superficiel, puis les couches profondes.

Les mouvements de masse se rapportent aux glissements de terrain, coulées de boue et solifluxions. Le mouvement de masse du sol ne se produit généralement que sur les terrains en pente, constitués de sols instables et en présence d'une forte pluviométrie.

2.2.3 Erosion éolienne

L'érosion éolienne se rapporte à l'enlèvement ou à l'accumulation de grains de sable ou de matériaux constitutifs du sol. C'est un problème qui se pose plus souvent dans les régions arides que dans les régions humides, mais qui peut aussi revêtir une certaine importance dans des régions à précipitations saisonnières quand la végétation est clairsemée ou inexistante pendant la saison sèche. Le vent peut emporter et transporter le sol aussi bien de terrains horizontaux que de terrains en pente.

Parmi les conditions qui favorisent l'érosion éolienne citons: un sol sec, meuble et finement divisé, peu ou pas recouvert de végétation, présentant une surface relativement lisse, un vent atteignant une vitesse suffisante, et une étendue relativement importante de terres sans obstacles (9).

Le vent peut transporter des particules de sols à travers l'atmosphère et les déposer à des milliers de kilomètres de leur lieu d'origine. Certains de ces dépôts ont pris une allure bénéfique et sont devenus des terres agricoles. Toutefois, dans le présent contexte, on se préoccupera principalement des dommages que provoquent le passage et l'accumulation du sol emporté par le vent à travers et sur le couvert végétal, et la perte de sol au point d'origine. La formation de dunes de sable dans des endroits jadis occupés par des terres fertiles est l'exemple même d'un stade de désertification avancée résultant de ce phénomène.

2.2.4 Salinisation

Le mécanisme de salinisation englobe l'accumulation de sels solubles sur ou dans le sol, à des profondeurs variables, l'augmentation de la minéralisation de l'eau (ruissellement provenant d'oueds ou de lacs, emploi d'eau salée superficielle ou souterraine pour l'irrigation, crues, etc.), ainsi que la mise à nu de roches salines. La salinisation diminue la capacité productive de la terre, favorise l'apparition d'une végétation halophile, avant disparition complète de la végétation. La concentration du sodium échangeable ainsi que du bore dans la couche supérieure du sol entre dans cette catégorie de phénomènes.

2.2.5 Encroûtement et compactage du sol

Cette catégorie de phénomènes résulte de mécanismes et de conditions du sol qui ont déclenché la constitution de sols de type induré, l'encroûtement du sol, le compactage du sol subsuperficiel ou le colmatage de la surface. L'ensemble de ces conditions entraîne une augmentation du ruissellement, une diminution de l'eau disponible dans le sol, empêche la levée des semences et la pénétration des racines.

La cimentation du sol peut être due à des accumulations de calcaire, de gypse, de fer ou de silice. Le compactage du sol subsuperficiel et le colmatage de la surface peuvent être dus au passage des tracteurs ou autres véhicules et outils de culture.

2.2.6 Diminution de la teneur en matière organique du sol

Il s'agit ici des processus qui contribuent à accélérer la minéralisation de l'humus contenu dans le sol, par exemple la réduction du couvert végétal, une culture trop intense et l'enlèvement des particules fines du sol superficiel.

2.2.7 Excès de substances toxiques

On range dans cette catégorie les différents types de toxicité autres que la salinisation.

La pollution industrielle imputable à l'évacuation des déchets a généralement des effets localisés sur les personnes, la végétation, le sol et l'eau, mais certains polluants aéroportés peuvent se disperser sur des vastes étendues. Les métaux lourds, les aérosols acides, les pesticides et les résidus du pétrole figurent parmi les substances toxiques susceptibles de diminuer ou de détruire la productivité des terres.

Les toxicités de ce type se font généralement sentir sur des superficies limitées, comparées aux dimensions de la planète; elles peuvent toutefois prendre localement une très grande importance car la dégradation qu'elles entraînent peut être à la fois rapide et durable. La productivité peut tomber rapidement à zéro dès que les concentrations d'éléments toxiques dépassent certains seuils (15).

2.3 ASPECTS DE LA DESERTIFICATION

Pour évaluer et cartographier la désertification, il faut d'abord étudier, décrire, quantifier et codifier les différents aspects que prend la désertification en présence de chacun des processus qui ont été décrits à la section 2.2. Les aspects dont il faut tenir compte sont les suivants:

- le degré de désertification (la situation telle qu'elle se présente actuellement, comparée à ce qu'elle était précédemment)
- la vitesse avec laquelle la désertification progresse
- la vulnérabilité inhérente à la désertification (par exemple, dans le cas d'un sol très vulnérable à l'érosion)
- Les risques de désertification (classification établie à des fins cartographiques en conjuguant le degré, la vitesse des processus et la vulnérabilité inhérente des sols).

2.3.1 Degré de désertification

Le degré de désertification correspond aux conditions régnant sur une pièce de terre déterminée au moment où ont été effectuées les observations, comparées aux conditions qui existaient dans le passé.

Dans la pratique, il est souvent difficile de dire en combien de temps les conditions actuelles se sont formées et ce qu'était l'état initial de la terre. Cet état doit donc être évalué par rapport à un état initial estimatif de la terre. Par exemple, dans le cas d'une pièce de terre subissant une désertification due à la salinisation, on peut supposer qu'à l'origine la terre n'était pas saline et que le degré de désertification est faible ou fort selon le degré actuel de salinisation.

2.3.2 Vitesse de la désertification

Pour évaluer le rythme auquel progresse la désertification, il faut savoir depuis combien de temps des phénomènes de désertification sont en cours, ou quels sont les changements qui se sont produits au cours d'une période déterminée. La vitesse de désertification représente une évolution continue dans une même direction. On peut la déterminer de plusieurs façons. Pour certains phénomènes dynamiques, comme la salinité, les changements à court terme sont si rapides et si divers que la vitesse de désertification doit être établie en se basant sur la tendance générale de l'évolution.

2.3.3 Vulnérabilité inhérente à la désertification

La vulnérabilité inhérente des sols à la désertification dépend d'une part de la vulnérabilité du paysage aux mécanismes de la désertification, et d'autre part des conditions naturelles (climat, physiographie, vulnérabilité du sol à l'érosion, qualité de l'eau et profondeur de la nappe phréatique).

Elle peut être établie en fonction du processus déterminant; par exemple, un sol ayant une texture sableuse meuble est fortement exposé au risque d'érosion éolienne, mais ne présentera qu'un risque léger en ce qui concerne la salinisation.

2.3.4 Risque de désertification

Pour évaluer le risque de désertification, il faut tenir compte du degré et de la vitesse des processus et de la vulnérabilité inhérente à la désertification sous l'effet des principaux mécanismes déterminants, y compris de la pression démographique (humaine et animale) sur l'environnement. Dans ce but, des valeurs d'étalonnage ont été fixées qui permettent d'évaluer les risques de désertification (voir chapitres 4 et 5).

2.4 CLASSES DE DESERTIFICATION

Les effets des processus de désertification, une fois évalués, doivent être combinés et codifiés en classes qui correspondent à la gravité des effets exercés par les facteurs considérés pour chaque processus et chaque aspect c'est-à-dire à une dégradation légère, modérée, grave, très grave. Le stade final de la désertification, c'est le désert. Le désert est le point de référence auquel tout se ramène.

La classe de désertification doit être établie pour chaque processus et pour chaque aspect séparément, comme suit:

2.4.1 En ce qui concerne le degré de désertification

Les paramètres utilisés pour classer le degré de désertification des différents processus sont les suivants: superficie endommagée par des sels solubles; apparition de nappes sableuses, de bosses, de nebkas ou de dunes; effet en surface du martellement des gouttes de pluie (érosion en nappe), des rigoles ou ravines; diminution de la voûte foliacée constituée de végétaux pérennes; exposition à l'encroûtement et au compactage; et pourcentage de matière organique par rapport au niveau naturel optimal. La comparaison du stade atteint par deux zones différentes au même moment peut servir à déterminer les classes de désertification.

2.4.2 En ce qui concerne la vitesse de désertification

Le principe utilisé consiste à comparer l'état de la même zone à deux moments différents. Les paramètres pris en considération pour évaluer les différents processus sont les suivants: extension de la superficie endommagée par le sel; volume de sable transporté, en m³/an; perte de sol en tonnes/hectare/an; vitesse d'extension des zones endommagées par l'érosion éolienne, en pourcentage de la superficie totale des terres productives; extension des superficies sur lesquelles le sous-sol est mis à nu ou de la superficie endommagée par le ravinement; accumulation de sédiments dans les barrages; baisse de pourcentage de la biomasse; recul des superficies boisées; couvert des terrains de parcours; et tendances générales de l'état des parcours.

2.4.3 En ce qui concerne la vulnérabilité inhérente à la désertification

Les paramètres pris en considération pour établir les classes relatives à la vulnérabilité inhérente à la désertification pour chaque processus sont les suivants: nombre de jours secs dans le mois; profondeur moyenne de la nappe phréatique; teneur en sel de l'eau d'irrigation; physiographie; drainage; pratiques d'aménagement des sols et perte potentielle de sol.

2.4.4 En ce qui concerne le risque de désertification

Le risque de désertification résulte de l'effet conjugué et des interactions du degré de la vitesse des processus et de la vulnérabilité inhérente à la désertification et de la pression démographique (humaine et animale). On évalue le danger de désertification en faisant la somme des valeurs d'étalonnage attribuées à chaque classe (légère, modérée, grave ou très grave) qualifiant chaque processus déterminant caractérisant l'aspect considéré. En ce qui concerne la pression démographique humaine et animale, une classification spéciale a été mise au point, qui vient s'ajouter à l'étalonnage précédent de façon à obtenir une évaluation globale de la vulnérabilité de la terre.

3. ELABORATION ET EXPERIMENTATION DE LA METHODE

3.1 ELABORATION DE LA METHODE PROVISOIRE

La réunion d'experts organisée par le PNUE à Genève en mai 1979 (28) constata la nécessité de trouver des indicateurs spécifiques pouvant être utilisés pour dresser des cartes à différentes échelles pour différents pays. Ces indicateurs devaient, théoriquement, être quantitatifs, sensibles à de minimes variations du paramètre mesuré, facilement mesurables et peu nombreux.

Lors de la deuxième réunion d'experts, en juillet 1981, une méthode provisoire applicable à l'évaluation et à la cartographie de la désertification avait été établie et la mise en route des essais de terrain fut approuvée. La réunion estima que, parmi les éléments de la méthode qui devaient être expérimentés, les plus importants concernaient les critères proposés pour évaluer les classes de désertification, par processus et par aspect.

La méthode proposée fut envoyée à un certain nombre de pays qui avaient accepté de participer aux essais et qui avaient été choisis de façon à représenter des régions géographiques aussi diverses que possible (voir 3.2).

Les critères spécifiques (paramètres) suggérés pour évaluer les différents phénomènes de désertification sont les suivants:

1. Dégradation du couvert végétal

Pour évaluer le degré de dégradation, il faut tenir compte des éléments suivants: voûte foliacée constituée de végétaux pérennes (pourcentage); biomasse, en kilogrammes de Ms/ha/an; production de fourrage en unités/ha/an; pourcentage de productivité potentielle; biomasse en kg de Ms/mm de pluie.

Pour évaluer la vitesse, il faut tenir compte des éléments suivants: progression de la dégradation (pourcentage annuel); tendance des terrains de parcours pendant les dix dernières années (sans sécheresse); tendances de la forêt claire/an; tendances des rendements céréaliers/an.

Pour évaluer le risque, il faut tenir compte des éléments suivants: extension des terres d'aridoculture (régime pluvial); accroissement de la production animale (pourcentage annuel); surpâturage (UA/an); unités animales (UA) (taux de croissance annuel); démographie humaine (taux de croissance annuel); capacité de charge en unités animales/ha; capacités de charge démographique (la densité de population de 1975 étant considérée comme la pollution actuelle); longueur de la période végétative (inférieure à 180 jours); indice climatique applicable à la dégradation biologique; indice d'humidité (Iz); feux de brousse (dommages causés); potentiel de remise en état.

ii. Erosion hydraulique

Pour évaluer son degré actuel, il faut tenir compte des éléments suivants: densité du réseau de rigoles et ravines au km (transversale); état de la surface; type d'érosion; perte de sol superficiel et de sol profond (pourcentages); superficie endommagée par le ravinement (pourcentage); dépôts de sol, en centimètres; séquence des horizons; épaisseur du sol (A + B), en pourcentage de l'épaisseur initiale; perte de rendement en pourcentage de la production obtenue sur des sols non dégradés; diminution de la teneur en matière organique, proportionnellement à la teneur dans des sols non érodés (pourcentage).

Pour évaluer la vitesse de dégradation, il faut tenir compte des éléments suivants: quantité de sol enlevé ou déposé au-delà de la normale, en MT/ha/an ou en mm/an; dépôts de sédiments dans les retenues, pourcentage de rétention annuelle.

Pour évaluer le risque, il faut tenir compte des éléments suivants: pente, précipitations en mm; poids de sol perdu, en tonnes/ha/an; indice pluviométrique; vulnérabilité du sol à l'érosion; facteur topographique; facteur biotique; indice d'érosivité des précipitations, par type de climat: sécheresse estivale (deux saisons des pluies et précipitations hivernales); sécheresse hivernale (deux saisons des pluies et précipitations estivales); régimes de transition.

iii. Erosion éolienne

Pour évaluer son degré actuel, il faut tenir compte des éléments suivants: perte de sol superficiel (pourcentage); aspect des modelés éoliens (pourcentage); superficie totale occupée par des modelés éoliens (pourcentage); superficie occupée par un placage de dépôts éoliens; superficie occupée par des bosses (pourcentage) au-delà de la normale; superficie occupée par des dunes mobiles (pourcentage); concentration relative de graviers ou de pierres à la surface du sol (pourcentage).

Pour évaluer la vitesse, il faut tenir compte des éléments suivants: quantité de sol prélevé au-delà du rythme géologique normal, en Mt/ha/an; quantité de sol déposé au-delà du rythme géologique normal, en Mt/ha/an; matériaux fins sableux soufflés; épaisseur de sol enlevé chaque année (cm); extension de la superficie envahie par le sable, en pourcentage de la superficie endommagée; profondeur (épaisseur) de sol transporté par le vent (cm/an).

Pour évaluer le risque, il faut tenir compte des éléments suivants: indice d'érosivité éolienne; fréquence des tempêtes de sable (nombre de fois dans l'année pendant une période de dix ans); nombre de jours de tempête de vent dans l'année; nombre d'heures de tempête de vent dans l'année; nombre de jours de tempête de vent au printemps (mars-avril) (période particulièrement dangereuse dans les zones subtropicales); vitesse maximale du vent à deux mètres de hauteur (m/s).

iv. Salinisation

Pour évaluer son degré actuel, il faut tenir compte des éléments suivants: ECe maximum $\times 10^3$ en mmhos/cm dans les 75 premiers centimètres du sol; ESP maximum dans les 75 premiers centimètres du sol; rendements végétaux (en pourcentage des rendements obtenus sur des sols similaires non désertisés); formations nouvelles; observations morphologiques; sels, en tonnes/ha/1,5 m; tonnes/ha/0,75 m.

Pour évaluer la vitesse, il faut tenir compte des éléments suivants: augmentation de EC en mmhos/cm/an dans les 75 premiers centimètres du sol; augmentation de ESP dans les 75 premiers centimètres du sol, en pourcentage annuel; pourcentages annuels de rendements; superficie endommagée par des sels solubles, en pourcentage.

Pour évaluer le risque, il faut tenir compte des éléments suivants: indice climatique applicable à la salinisation; nombre de mois secs (en l'absence d'un plan phréatique à une profondeur critique); profondeur moyenne de la nappe souterraine (cm); concentration saline de l'eau d'irrigation; résidu sec en g/l et EC en mmhos/cm.

v. Encroûtement et compactage du sol

Ces paramètres ne sont à étudier que du point de vue du degré actuel: accumulation calcaire et forme de cimentation (profondeur en cm); accumulation de gypse et forme de cimentation (profondeur en cm); accumulation de fer et forme de cimentation (profondeur en cm).

vi. Réduction de la teneur en matière organique du sol

Pour évaluer le degré actuel, il faut tenir compte des éléments suivants: situation actuelle en pourcentage du niveau naturel optimal.

Pour évaluer la vitesse, il faut tenir compte des éléments suivants: réduction de la matière organique dans la couche superficielle, pourcentages annuels des trois dernières années.

vii. Substances toxiques en excédent dans le sol (pH 6,5)

Ce paramètre n'est à étudier que du point de vue du degré actuel: plomb, zinc et cuivre.

3.2 EXPERIMENTATION SUR LE TERRAIN

La méthode provisoire a été expérimentée au Mexique, au Texas, en Haute-Volta, au Soudan, en Tunisie, en Syrie, au Pakistan, au Turkménistan (URSS) et en Australie. Quelque 35 spécialistes ont participé aux essais sur le terrain et à la rédaction des rapports. Des contacts avaient également été établis avec quinze experts du Pérou, du Chili, du Kenya et de la Chine, mais aucun rapport n'a été reçu de ces quatre derniers pays.

A l'Annexe 1, le tableau 1 donne la liste des pays, experts et institutions qui ont participé aux expériences; le tableau 2 présente les caractéristiques physiques et bioclimatiques des zones où ont eu lieu les essais; le tableau 3 répertorie les processus étudiés et les cartes présentées; les critères choisis pour évaluer la désertification en Australie, en Syrie et au Mexique sont énumérés dans le tableau 4; et le tableau 5 indique ceux qui ont été choisis pour étudier la désertification au Turkménistan.

En outre, une étude pilote restreinte a été entreprise concernant l'utilisation automatisée de la télédétection par satellite dans la région du Hodna, dans le centre-nord de l'Algérie. Cette étude avait pour but d'analyser les données digitales multitemporelles Landsat correspondant à une zone connue et d'établir des paramètres spectraux appropriés ayant une relation avec les processus de désertification et susceptibles d'être obtenus économiquement à partir des données fournies par les satellites.

La troisième consultation d'experts (12) a examiné les rapports succincts présentés par les pays participants. On trouvera dans les sections 3.2.1 à 3.2.9 un bref rappel des principaux points abordés dans ces rapports et des conclusions fournies. Les rapports succincts des pays seront reproduits séparément et en un petit nombre d'exemplaires, sous la forme de documents de travail.

3.2.1 Mexique

Le Mexique a une superficie de près de 2 millions de kilomètres carrés. La partie centrale du pays compte de très fortes densités humaines et animales - 22 pour cent de la population totale occupent 1,7 pour cent seulement du territoire.

Pour expérimenter la méthode provisoire, trois zones ont été choisies au centre du pays, ainsi que trois échelles cartographiques:

- | | | |
|------|---|---------------------------------------|
| i. | La <u>zone néovolcanique</u>
échelle cartographique | - 3/300 000 hectares
- 1/2 000 000 |
| ii. | La <u>zone de Texcoco-Tizaynica</u>
échelle cartographique | - 180 000 hectares
- 1/250 000 |
| iii. | La <u>zone de Chapingo</u>
échelle cartographique | - 40 000 hectares
- 1/40 000 |

Pour les besoins de l'étude, on a choisi, en fonction des données disponibles, de leur précision et de leur utilité, trois processus déterminants - dégradation du couvert végétal, érosion hydraulique et salinisation - dont les effets sont bien visibles dans la partie centrale du Mexique (voir Annexe 1.D., tableau 4 pour les critères choisis).

Le groupe mexicain considère que les paramètres particulièrement utiles et ne nécessitant pas de modifications sont les suivants: 1) voûte végétale pérenne; 2) population humaine; 3) unités animales; 4) superficie entamée par le ravinement; 5) profondeur du sol (A + B); 6) masse de sol (A); 7) $EC \times 10^3$; 8) ESP; 9) profondeur moyenne de la nappe phréatique et 10) augmentation de EC.

D'autres paramètres sont très utiles mais nécessitent certaines modifications, à savoir: 1) tendance annuelle des rendements céréaliers; 2) pertes de sol; 3) indice climatique relatif à la salinisation; et 4) type de cimentation.

Huit paramètres apparaissent moins utiles: 1) indice climatique relatif à la dégradation biologique; 2) tendance générale des terrains de parcours; 3) précipitations; 4) indice d'érosivité des précipitations; 5) type d'érosion; 6) topographie; 7) densité du réseau de rigoles et ravines et 8) nombre de mois sans pluie.

En ce qui concerne la cartographie, le groupe mexicain considère que l'échelle cartographique est un des problèmes de la classification des terres et de l'évaluation de la désertification, car des cartes à petite échelle ne peuvent donner des détails très précis. Il estime qu'il faut partir d'une "unité cartographique minimale", qui est la superficie la plus petite que l'on peut représenter utilement sur une carte. Elle correspondrait à 0,25 centimètre carré de carte.

Si l'on applique ce principe à la carte de la zone néovolcanique (échelle 1/2 000 000), on remarque qu'il n'est pas possible de représenter les processus de désertification pour des superficies inférieures à 10 000 hectares.

3.2.2 Texas

Les régions du Texas qui ont été choisies pour expérimenter la méthode provisoire sont le comté de Gaines et une partie du Texas occidental.

L'érosion éolienne est le processus de désertification qui prédomine dans le comté de Gaines, suivie par la dégradation de la végétation. Dans le Texas occidental, les principaux problèmes ont trait à la dégradation de la végétation, à l'érosion hydraulique et à l'érosion éolienne sur les terres cultivées, et à la salinisation sur les terres irriguées. Le compactage du sol (formation d'une semelle de labour) est très répandu sur les terres cultivées qui ont été labourées année après année à la même profondeur. L'encroûtement du sol superficiel sous l'effet du martellement de la pluie est un phénomène courant sur les sols sableux et limoneux.

La méthode proposée a été expérimentée du point de vue de l'érosion éolienne à l'échelle 1/20 000, à l'échelle 1/200 000 pour l'érosion éolienne et la dégradation de la végétation, enfin à l'échelle 1/2 000 000 pour l'érosion éolienne, la dégradation de la végétation, l'érosion hydraulique et la salinisation. Les critères relatifs à l'encroûtement et à la cimentation du sol n'ont pas été évalués car on ne disposait pas de renseignements à ce sujet, même sous forme d'estimations.

Les divers processus de désertification étudiés ont été évalués en fonction des données disponibles et de la possibilité d'estimer les paramètres correspondants.

Compte tenu des conditions qui caractérisent le Texas, on peut préciser ce qui suit:

- i. On ne dispose pratiquement pas de bonnes données, si ce n'est les résultats de prospections pédologiques.
- ii. Il n'existe aucune carte d'aucune sorte montrant l'état actuel du couvert végétal. Il existe des cartes du couvert végétal natif (climax) mais elles sont inutilisables aux fins d'évaluation de la dégradation. Il n'existe, pour la zone témoin, aucune parcelle expérimentale permettant d'évaluer la productivité potentielle ou réelle.
- iii. Il n'existe pas de cartes montrant la gravité de l'érosion par le ravinement. Les cartes représentant l'étendue de l'érosion (hydraulique) en nappe et le ravinement sont à l'échelle 1/30 000 000 (c'est-à-dire trop petites pour être d'aucune utilité).
- iv. Il n'existe aucune carte montrant les endroits où l'érosion éolienne constitue un problème.
- v. Les données concernant la population et le cheptel sont réunies par comtés (unités administratives couvrant plusieurs milliers de kilomètres carrés). Il est impossible donc de séparer les données concernant les régions arides, semi-arides et humides. La même observation vaut pour les données relatives à l'Etat. Les données socio-économiques n'ont donc que peu ou pas de valeur aux Etats-Unis, où la population agricole représente moins de 5 pour cent de la population nationale. Les modifications de l'utilisation des terres ne sont pas significatives car elles sont fonction des politiques gouvernementales, des cours des produits agricoles et du bétail, etc. et non de la productivité des terres.
- vi. Pour évaluer la désertification il est surtout important de connaître l'opinion de gens qui connaissent à fond leur région, son économie, son histoire.

3.2.3 Haute-Volta

On a choisi aux fins de l'étude la région de Dori-Oursi car c'est la seule pour laquelle des photographies aériennes recouvrant une période de temps suffisamment longue (couverture IGN de 1956 et de 1981) sont aisément disponibles et permettent donc de faire une comparaison objective de la végétation, de l'hydrographie et des cultures.

Les spécialistes de Haute-Volta estiment que la meilleure façon d'obtenir des résultats valables concernant la désertification est de procéder à des études comparatives de photographies aériennes. La couverture aérienne mondiale de Trimetageon, réalisée en 1942-45 par l'U.S. Air Force pourrait servir de base photographique.

3.2.4 Soudan

Dans la République du Soudan, une zone de 650 000 kilomètres carrés est directement touchée par la désertification. Plus de la moitié de la population soudanaise réside dans cette zone qui est et a toujours été la région économiquement la plus active du pays et celle dans laquelle se trouvent les villes les plus importantes.

Les deux processus de désertification importants au Soudan sont l'érosion éolienne et la dégradation de la végétation. Ils sont néanmoins interdépendants, notamment dans la partie sableuse (Qoz) du pays, c'est-à-dire dans le nord et l'ouest du Soudan.

Des rapports reçus concernant la méthode, on peut extraire les points suivants:

- Les vents de vitesse critique qui peuvent entraîner une déflexion des gammes d'humidité des sables vont de 10,5 en décembre à 17,5 en février avec une moyenne de 14,0 m/s;
- La surexploitation en régime pluvial est une des principales causes de désertification dans la zone semi-aride;
- Il y a dix mille ans, il n'y avait pas de déserts au Soudan; en 1958, le désert s'étendait entre 16° et 18° de latitude nord et occupait 22 pour cent de la superficie du pays;
- La baisse de productivité des principales cultures dans la province du Kordofan est imputable à la désertification.

3.2.5 Tunisie

Les spécialistes tunisiens estiment que la méthode provisoire leur permet d'identifier les zones atteintes par la désertification, et les dommages qui en résultent. Les critères proposés sont aptes à être utilisés partout, dans les zones arides comme dans les zones peu et moyennement semi-arides. Toutefois, si l'on prend les limites de classes définies dans la méthode, on se rend compte que, dans les zones se trouvant à la limite supérieure de la zone semi-aride et dans les zones subhumides, leur application ne fournit pas de résultats satisfaisants.

Parmi les propositions faites par les spécialistes tunisiens, on relève ceci:

- On pourrait employer le rapport $\frac{\text{superficies labourées}}{\text{superficie non labourée}}$, à la place du rapport $\frac{\text{superficies ensablées}}{\text{superficie totale}}$ suggéré dans la méthodologie;
- On pourrait introduire le rapport $\frac{\text{profondeur érodée}}{\text{profondeur totale}}$.
- On pourrait évaluer le degré de risque d'après l'interaction existant entre le taux de perte de sol superficiel et le ravinement, la densité de population et le type des affleurements; ou encore en se servant de l'interaction qui existe entre la vitesse des processus éoliens (déflexion, accumulation, ensablement) et la fréquence de vents violents.

3.2.6 Syrie

En Syrie, les travaux ont été conduits par des spécialistes de l'ACSAD ^{1/}.

Le degré, la vitesse et le risque de désertification ont été étudiés dans le cadre d'une évaluation comportant l'observation et l'analyse de quatre critères principaux (Annexe I. Tableau 4). Les spécialistes de l'ACSAD estiment que le degré de désertification est d'ores et déjà facile à établir et à décrire. Il a été beaucoup plus difficile d'évaluer la vitesse du phénomène à travers les variations et les modifications observées dans le temps. Les conséquences socio-économiques seraient l'aspect le plus important du processus de désertification.

^{1/} Centre arabe d'études des terres arides et non irriguées.

Concernant la méthode, l'ACSAD s'est exprimé comme suit:

Cette étude présente un grand intérêt pour les spécialistes de l'ACSAD s'occupant des sols, du climat, de la végétation et d'autres questions. Elle met en évidence le danger de désertification ainsi que la nécessité de recourir à la méthodologie pour évaluer et cartographier la désertification.

L'étude des deux zones choisies en Syrie a permis de soulever plusieurs points. Tout d'abord, elle a confirmé que la désertification est le résultat des activités humaines. Le processus peut être stoppé si l'on prend des mesures sages et judicieuses pour aménager les terres et si l'on respecte le couvert végétal.

Pour pouvoir appliquer la méthode, il faut disposer de techniciens bien préparés dans plusieurs disciplines - pédologie, géologie, géomorphologie, climatologie, chimie, production végétale et animale.

Concernant les critères employés dans la méthode provisoire, les observations ci-après ont été formulées:

- Critères fondés sur des mesures de terrain: ce groupe de critères exige beaucoup de temps. Il ne nécessite qu'un matériel simple et limité, mais aussi l'intervention de plusieurs types de spécialistes.
- Critères fondés sur des mesures de laboratoire: ce groupe de critères nécessite de considérables analyses de laboratoire. Une partie de ces analyses requiert un matériel hautement perfectionné que l'on ne trouve pas couramment dans les pays en développement (éléments toxiques, oligoéléments).
- Critères fondés sur des calculs statistiques: ces critères peuvent être obtenus mathématiquement. Certains peuvent être obtenus au moyen de modèles simples et par traitement sur ordinateur.

3.2.7 Pakistan

Pour vérifier l'applicabilité des critères suggérés dans la méthode provisoire, on a utilisé la littérature disponible, des photographies aériennes, les données Landsat, des observations au sol et des entretiens avec les cultivateurs et pasteurs locaux.

Des images fournies par satellites à neuf ans de distance ont été étudiées avec l'aide d'une visionneuse combinant des images en couleur; des couleurs composites ont été formées pour accentuer les effets de la végétation et des sables mobiles. Des photogrammes diazo des bandes 4, 5 et 7 en fausse couleur ont été préparés et analysés pour dresser les cartes de désertification présentées dans le rapport.

Les informations disponibles concernant les sols, la géomorphologie et les zones climatiques ont formé la base de l'étude de terrain. Néanmoins, les observations de terrain ont été renforcées au moyen des données recueillies au cours d'entretiens avec les cultivateurs et les pasteurs locaux.

Des données sur l'état des sols, les formations de sables mobiles et la végétation ont été recueillies le long de sept transversales de 1,5 kilomètre de longueur, dans quatre différentes zones géomorphologiques, pédologiques et climatiques.

Dans la partie de la zone expérimentale atteinte par la salinité/sodicité, on a tracé des transversales, étudié des profils de sols, enregistré la profondeur de la zone saturée d'eau et échantillonné les sols pour analyser la conductivité électrique et le pourcentage de sodium échangeable. Des estimations du pH ont été enregistrées sur le terrain et quelques échantillons ont été examinés pour déterminer E_{Ce} dans le champ au moyen d'un appareillage portatif. On s'est efforcé de relever les changements intervenus

par rapport à des relevés précédents. Les données de terrain ont été traitées et comparées avec les normes fournies dans la méthodologie provisoire. Dans les cas où des discordances sont apparues, une explication a été proposée. Par endroits, de nouvelles limites ont été suggérées pour tenir compte des conditions caractérisant la zone expérimentale en particulier, et le pays en général.

Les spécialistes pakistanais estiment que la méthode provisoire s'est révélée un instrument très utile.

Le seul obstacle à son utilisation vient du fait que les données nécessaires ne sont pas toujours disponibles. Mais, dans l'ensemble, elle constitue un apport très utile à la préparation des projets relatifs à la désertification.

3.2.8 R.S.S. du Turkménistan

La superficie totale du territoire de la R.S.S. du Turkménistan est de 48 800 000 hectares, dont 92 pour cent sont désertiques.

Après évaluation critique de la méthode provisoire proposée pour évaluer la désertification, les critères ci-après ont été retenus:

- Dégradation du couvert végétal: présence de végétaux indicateurs; composition spécifique de la flore (nombre d'espèces végétales); baisse de productivité des associations végétales; nombre d'unités fourragères à l'hectare.
- Erosion éolienne: creux de déflation; pourcentage de la superficie engazonnée comparée à la superficie occupée par la broussaille.
- Erosion hydraulique: nombre de rigoles, ravines et entailles au kilomètre; structure du sol superficiel; types d'érosion hydraulique; profondeur des rigoles; type de relief; pourcentage de la superficie occupée par des rigoles et entailles; profondeur de l'érosion à travers les horizons du sol; baisse des rendements agricoles sur les sols érodés (pourcentages); densité du réseau hydrographique; quantité de sol érodé par unité de superficie; pente du terrain; nombre d'averses torrentielles; vitesse de ruissellement.
- Salinisation: résidu salin sec; teneur totale en sels; profondeur de la salinisation dans le profil du sol; type de salinité; degré de salinité de l'eau souterraine; baisse des rendements en coton; composition spécifique de la flore sauvage (pour les zones non irriguées); accumulation saisonnière de sels; hauteur et densité des plantations de cotonniers; réseau de drainage existant; système agronomique actuel (comparé au système prévu par le plan).

Certains des critères suggérés dans la méthode provisoire n'ont pas été utilisés, soit parce qu'ils n'étaient pas applicables aux conditions de la R.S.S. du Turkménistan, soit parce que les informations pertinentes n'étaient pas disponibles.

Une petite carte de la désertification (échelle 1/1 500 000) a été préparée en utilisant des photographies prises depuis le vaisseau spatial "Salyut 4", agrandie à l'échelle 1/1 000 000. Des images "Météor" échelle superfine et des photographies aériennes prises à différentes échelles ont également été utilisées.

La méthode utilisée pour cartographier l'état actuel de la désertification comprenait les opérations ci-après:

- i. Etude des données tirées de la littérature spécialisée et expérimentation des critères proposés dans la méthodologie provisoire;
- ii. Traitement des images spatiales, au moyen du matériel disponible;
- iii. Essais de cartographie de la désertification sur le terrain;
- iv. Etablissement de la version finale de la carte; rédaction de la légende; rédaction du rapport.

Au cours des deux dernières années, les experts de la FAO et des différents pays participant au projet ont beaucoup fait pour améliorer la méthode d'évaluation de la désertification. L'Institut des déserts de l'Académie des sciences de la R.S.S. de Turkménistan a également contribué à ce travail. Cela a permis d'évaluer plus en détail les critères de désertification et la méthode cartographique.

Un point en faveur des critères récemment proposés concerne leur versatilité. Presque tous les critères peuvent être exprimés en pourcentages. Il est indubitable que cela permettra de regrouper les matériaux hétérogènes que les différents pays possèdent à ce sujet.

3.2.9 Australie

Les cartes des ensembles (land-system) de l'Australie aride sont le fruit d'un investissement important consenti par plusieurs organisations et constituent un vaste inventaire des caractéristiques des terres. On a considéré qu'il était important de vérifier si cette ressource pouvait être exploitée pour évaluer et cartographier la désertification suivant les directives proposées dans la méthode provisoire.

Les critères appliqués dans les zones expérimentales sont indiqués séparément (voir Annexe I.D.). D'autres critères, qui se sont révélés n'être pas applicables dans le cas des zones considérées mais ont été jugés pertinents pour d'autres régions de la Nouvelle-Galles du Sud sont aussi brièvement traités.

Les observations ci-après se fondent sur les impressions personnelles des auteurs du rapport qui ont appliqué la méthode dans la zone expérimentale. Certaines des modifications qu'ils suggèrent pourraient, si l'on en juge d'après l'expérience des autres spécialistes qui ont appliqué la méthode dans d'autres continents, ne s'appliquer qu'à l'Australie, tandis que d'autres ont peut-être un intérêt plus général.

A la réunion à laquelle participait le personnel australien invité à appliquer la méthode, plusieurs points importants ont été soulevés, à savoir:

- Il faut supposer que nombre de régions du globe, comme certaines parties des zones expérimentales choisies en Australie, ne connaissent aucun phénomène de désertification; il faut donc établir une classe correspondant à une désertification nulle ou inexistante, du moins en ce qui concerne le degré et la vitesse de désertification;
- On reconnaît d'une manière générale que les explications concernant la manière de calculer les différents critères sont trop brèves et qu'il faudrait davantage de détails. Faute d'explications beaucoup de ces critères sont considérés ambigus;
- L'applicabilité d'une bonne partie des premiers matériaux figurant dans la méthode provisoire aux critères retenus pour évaluer et cartographier la désertification n'est pas évidente;
- Plusieurs critères climatiques se réfèrent manifestement aux conditions climatiques du Sahara et de ses environs; pour que les critères climatiques soient plus généralement applicables, il conviendrait d'utiliser un cadre climatique universel.

En ce qui concerne la possibilité d'utiliser les ensembles (land-systems) pour évaluer et cartographier la désertification en Australie, il faut noter ce qui suit:

- i. Les ensembles offrent un cadre utile à l'évaluation de la désertification en Australie;
- ii. Les résultats de l'étude expérimentale montrent que les prospections consacrées aux ensembles peuvent surtout être utilisées avec profit pour évaluer la désertification si l'on peut bénéficier par ailleurs d'apports des cartographes et du personnel de terrain des organismes chargés de l'aménagement et de la conservation des terres;
- iii. On estime d'une manière générale que les ensembles seront particulièrement utiles pour évaluer et cartographier la désertification dans les zones pastorales.

3.2.10 Quelques problèmes rencontrés (données et cartographie)

Etats-Unis

Données: très peu de données disponibles, sauf pour les sols.

Echelles cartographiques utilisées: 1/20 000; 1/200 000; 1/2 000 000. Certains problèmes (comme la salinisation) ne peuvent être représentés sur des cartes à petite échelle car les zones endommagées ont une superficie trop petite. Il n'empêche que dans beaucoup d'endroits, la salinisation a des répercussions économiques considérables.

Haute-Volta

Données: Pas ou très peu de données statistiques détaillées concernant les densités de populations humaines et animales dans la zone étudiée.

Echelle cartographique utilisée: 1/200 000; pour travailler à cette échelle, il faut soit agrandir soit réduire certains documents, cartographiquement ou photographiquement.

Syrie

Données: L'application de la méthode implique un gros travail mathématique et exige des informations précises concernant l'environnement et les paramètres influant sur la désertification. C'est là une condition fondamentale à son application. Ce problème est très important dans les pays en développement où l'on ne dispose que de données très limitées sur la désertification.

Echelles cartographiques utilisées: Il a été constaté que, dans les zones de Syrie qui ont été étudiées, il était possible d'utiliser des échelles de 1/20 000 et de 1/45 000, car il existe des photographies aériennes prises à différents intervalles de temps. Pour d'autres régions, ces photographies n'existent pas et l'étude y a été conduite à une échelle plus petite. Il serait plus facile de travailler à l'échelle 1/200 000 ou 1/2 000 000.

Pakistan

Données: La disponibilité de données reste le principal obstacle à surmonter. Il n'existe pas de données quantitatives sur les rendements végétaux susceptibles de servir de fondement à la classification des différents degrés de salinité en classes de désertification. Cela est encore plus vrai quand il faut tenir compte du niveau d'aménagement. L'indice climatique n'a pas pu être correctement étudié faute de données; d'autre part, les limites fournies sont trop rigides pour la région.

Echelles cartographiques utilisées: région de Faisalabad: 1/250 000. A cette échelle, il a fallu omettre quelques petites unités. La carte originale a été dressée sur des photographies aériennes prises au 1/40 000. L'échelle 1/250 000 serait préférable pour mettre en évidence un rythme d'extension, tandis que l'échelle plus petite serait utile pour indiquer les zones à problèmes. En ce qui concerne la région de Thal (1/500 000), l'échelle a été ramenée au 1/100 000.

Avec les images de satellites, les cartes ont été produites à l'échelle 1/1 000 000. Pour fournir des informations générales au niveau régional et pour indiquer les zones à problèmes, ces échelles cartographiques sont tout à fait satisfaisantes compte tenu des critères retenus. Par contre, s'il faut cartographier le déplacement du sable ou de dunes mobiles, elles ne servent pas à grand-chose et il faudrait utiliser des échelles allant de 1/10 000 à 1/50 000.

4. EVALUATION DE LA METHODE

Sur la base des résultats tirés des essais de terrain (chapitre 3), la troisième consultation d'experts de 1982 (12) a effectué une évaluation de la méthode provisoire. Les chapitres qui suivent rendent compte des conclusions et recommandations qui découlent de cette évaluation.

4.1 EVALUATION DES PROCESSUS DETERMINANTS

S'il est difficile d'évaluer les effets de la désertification, c'est essentiellement parce qu'on ne dispose pas de données suffisantes pour apprécier la mesure dans laquelle la terre s'est dégradée. On doit pour beaucoup s'en remettre aux observations et aux évaluations de personnes expérimentées, ou extrapoler à de vastes étendues des données recueillies sur des superficies restreintes. Les modèles mathématiques et conceptuels, comme l'Equation universelle de la perte de sol due à l'érosion hydraulique, peuvent constituer des outils extrêmement utiles pour établir des estimations de la désertification. Ils doivent, toutefois, être corroborés par des données expérimentales. Le fait que l'on ne possède pas un ensemble suffisant de données fiables limite sérieusement la possibilité de contrôler la validité des modèles de dégradation des terres. Il faut donc s'en servir avec prudence.

Des critères d'évaluation et des limites de classes ont été établis pour six processus de désertification: dégradation de la végétation, érosion hydraulique, érosion éolienne, salinisation, encroûtement du sol et compactage, réduction de la teneur du sol en matière organique (tableaux 1 à 6). Il n'a pas été établi de critères d'évaluation de la désertification imputable à l'accumulation de très grandes quantités de substances toxiques, telles que minéraux lourds, pesticides et contaminants biologiques. Les données dans ce domaine sont rares et les avis ne concordent pas toujours quant à la façon d'évaluer les effets d'une accumulation de ces matériaux à la surface des terres. Ce n'est que pour l'encroûtement du sol que des critères ont été définis. Là encore, les avis divergent quant à la façon dont ces conditions indésirables peuvent être évaluées objectivement. Le seul point sur lequel les spécialistes sont d'accord c'est que le problème est important dans certaines régions.

Les limites numériques dont on s'est servi pour ranger les terres dans l'une des classes de désertification caractérisées d'après le processus agissant ont pour objet de fixer des normes rendant possible l'évaluation. Que les normes soient absolument justes ou non, cela a moins d'importance que leur utilité, du moment qu'elles confèrent une certaine homogénéité aux évaluations de la désertification. Par exemple, si l'on prend systématiquement comme norme, pour définir la classe de désertification "légère", un niveau correspondant à 85-100 pour cent de la productivité potentielle, l'utilisateur de la carte d'évaluation saura ce que signifie la qualification "légère".

Pour tout ce qui touche aux processus et aux aspects de la désertification, il est recommandé d'utiliser la productivité des terres comme critère principal pour établir la classe de désertification attribuée à une unité de terre quelconque. Comme il est probable qu'on ne connaît pas la productivité maximale de l'unité de terre (en l'absence de toute dégradation), il faut l'estimer au plus près. Malgré les erreurs propres à ce genre d'estimations, il semble qu'il vaille la peine de faire cet effort afin de pouvoir exprimer la désertification en catégories aisément compréhensibles (rendements, pertes).

Pour estimer la vitesse de la désertification en cours, il est recommandé d'utiliser une période de dix ans. Une période plus brève peut suffire quand il s'agit de terres irriguées, pour lesquelles les fluctuations climatiques sont beaucoup moins importantes qu'elles ne le sont pour les terrains de parcours et les terres cultivées en sec. Pour les terrains de parcours et les terres d'aridoculture, même une période de dix ans risque d'être encore trop courte pour permettre de tirer des conclusions valables concernant la vitesse de désertification.

4.1.1 Dégradation du couvert végétal

La dégradation de la végétation, telle qu'on l'entend dans la méthode décrite ici, se rapporte à l'évolution du couvert végétal des terrains de parcours des zones arides, semi-arides et subhumides, y compris la forêt claire et la savane. L'évaluation de l'état des terrains de parcours est une méthode relativement courante pour évaluer la mesure dans laquelle la flore se modifie par rapport à ce qu'elle était avant que des influences anthropogènes ne viennent perturber le couvert végétal. Dans les régions tempérées, les comparaisons se font généralement entre l'état actuel des associations végétales et l'état qu'elles devaient présenter à l'époque où prédominait la flore climacique. Dans les régions tropicales, le concept de "communauté climacique" est soit rejeté, soit modifié. Par contre, on utilise le concept de "meilleure productivité possible" pour estimer la marge de productivité potentielle perdue à la suite de modifications des associations végétales. Bien entendu, seuls des spécialistes expérimentés des parcours peuvent faire des estimations raisonnablement fiables de la productivité végétale actuelle et de celle qu'il serait possible d'obtenir en utilisant les meilleures pratiques d'aménagement.

Les évaluations analytiques de l'état des parcours dans les conditions du terrain ne portent jamais sur de vastes superficies. Les transects et les carrés sont plutôt utilisés pour échantillonner des emplacements représentatifs. On extrapole ensuite les résultats à la superficie plus étendue. Il n'est pas rare que l'évaluation des conditions des parcours donnent lieu à des divergences, car il y entre une grande part d'appréciation personnelle. Les photographies aériennes prises à basse altitude (à deux moments différents ou répétées à plusieurs reprises) combinées à des études au sol peuvent utilement contribuer à l'évaluation du degré et de la vitesse de désertification. Les images fournies par les satellites sont, pour le moment, beaucoup moins satisfaisantes.

Les évaluations des tendances (vitesse) de l'état des parcours sont rendues compliquées par les fluctuations à court terme des conditions climatiques. En période de pluies, l'état des parcours peut s'améliorer même si les troupeaux qui les utilisent dépassent la capacité de charge à long terme. En revanche, il est probable que les parcours se détérioreront à l'occasion d'une sécheresse prolongée, même s'ils ne sont pas pâturés. Les comparaisons portant sur une période de quelques années seulement peuvent donc induire en erreur. Selon que les conditions d'humidité se seront réparties de façon favorable ou non à la production fourragère, la tendance de l'état des parcours traduira une amélioration ou une dégradation, quelle que soit la pression du cheptel. Il est illusoire de fonder l'évaluation de la désertification sur des changements transitoires. Il est particulièrement difficile d'évaluer les terrains de parcours parce que le climat suffit à masquer des modifications fondamentales sous-jacentes de la productivité biologique. Il faut donc compter un minimum de dix ans pour pouvoir évaluer avec une relative certitude la vitesse de la désertification.

L'évaluation du risque de dégradation des terrains de parcours consiste, essentiellement, à évaluer l'aridité du climat. Plus le climat est sec, plus la végétation est exposée à la dégradation. Une fois désertisées, les zones à climat hyperaride sont plus difficiles à ramener à une pleine productivité que les zones subhumides.

4.1.2 Erosion hydraulique

Les méthodes couramment utilisées pour évaluer sur le terrain une érosion hydraulique accélérée n'ont pas été conçues pour de vastes superficies. Les parcelles échantillonnées n'ont pas non plus livré un grand volume de données. Il s'ensuit que nombre des estimations faites concernant l'ampleur de l'érosion hydraulique se fondent sur des modèles mathématiques tels que l'Equation universelle de la perte de sol, ou sur les avis exprimés par des observateurs. Dans la pratique, la façon la plus précise d'obtenir des estimations de l'érosion hydraulique consiste à combiner des photographies aériennes prises à basse altitude avec des mesures au sol. L'interprétation des photos aériennes permet de calculer avec une précision raisonnablement satisfaisante la dimension des rigoles et des ravines. Il est plus difficile d'évaluer l'érosion en nappe, à moins que les couches du sous-sol n'aient des coefficients de réflectance différents, observables sur les photographies.

L'érosion en nappe peut être évaluée au sol, en observant dans certains sols les différences de couleur dues à une perte de sol superficiel. Parfois, il est possible d'établir la quantité de sol qui a été enlevée en examinant la trace de niveaux précédents du sol sur les arbres ou sur les roches. Mais si le relief est peu accentué, il est rare que l'on puisse en tirer une indication sérieuse de la quantité de sol enlevée par l'érosion en nappe.

Du point de vue économique, l'importance de l'érosion du sol se juge d'après la perte de productivité quantitative imputable à cette érosion. Si le sol recouvrant la roche sous-jacente est peu épais, une perte de sol même minime aura un effet disproportionné sur la productivité, par comparaison avec une perte de sol équivalente sur un sol perméable profond. Les critères suggérés pour évaluer la perte de sol diffèrent donc selon l'épaisseur effective du sol par rapport à une couche sous-jacente susceptible d'empêcher ou de gêner sérieusement le développement des racines. On prend comme hypothèse qu'un sol ayant une épaisseur effective supérieure à 1 mètre est optimal pour la croissance des végétaux, et qu'un sol ayant une épaisseur effective inférieure à 1 mètre est un sol sub-optimal du point de vue de la croissance végétale. Les limites de classes indiquées pour établir la gravité de l'érosion sur des sols ayant plus ou moins un mètre d'épaisseur ne constituent que des indications approximatives. Il est évident qu'il n'y aura pas grande différence entre deux sols dont l'un a une profondeur de 1,1 mètre et l'autre une profondeur de 0,9, alors que la différence de productivité potentielle entre des sols ayant 2 mètres ou 20 cm d'épaisseur sera considérable.

Le risque de désertification, dans le cas de l'érosion hydraulique, dépend de la pente, de l'intensité et de l'abondance des pluies, de l'érodibilité du sol, ainsi que du type de couvert végétal, du type de structures et de mesures de conservation employées. La pente, la pluviosité et la vulnérabilité du sol à l'érosion sont des facteurs intrinsèques qui conditionnent la fragilité du sol. La végétation et les conditions de conservation peuvent être manipulées par l'homme.

4.1.3 Erosion éolienne

Il est beaucoup plus difficile de mesurer l'érosion éolienne que l'érosion hydraulique. On n'a pas encore trouvé de méthode pour évaluer de façon sûre la quantité de sol érodée au cours d'une tempête de vent. Les estimations de l'érosion éolienne peuvent aussi être rendues plus compliquées par le fait que la direction du vent change de minute en minute, ou d'une saison à l'autre. L'eau ne peut s'écouler que vers le bas tandis que le vent souffle dans toutes les directions et que sa vitesse change rapidement pendant une même tempête.

Il n'est pas difficile, cependant, d'obtenir les preuves qu'une érosion éolienne s'est produite ou est en cours. Elle est visible à la présence de monticules, de dunes, de nebkas, de rides, de stries ou de roches, et de plantes arrachées ou frappées par le sable. Il est moins aisé de dire quelle est l'intensité de cette érosion, d'une part parce que les points de repère sont peu nombreux, d'autre part parce que les vents balayent le sable dans un sens comme dans l'autre; enfin, parce qu'il est pratiquement impossible de déceler, à l'oeil nu, la disparition d'une trentaine de tonnes de sol à l'hectare.

Le caractère épisodique des tempêtes de poussière ne facilite pas l'estimation des pertes de productivité dues à l'érosion éolienne. Si une tempête frappe des végétaux adultes, les dégâts peuvent être peu importants. Le problème se complique encore parce que les sécheresses, saisons humides, infestations de ravageurs, changements des pratiques culturales et autres facteurs influent sur les rendements. Les données concernant les rendements portant sur de brèves périodes sont pratiquement sans utilité.

Il est généralement plus facile de distinguer entre l'érosion géologique et l'érosion accélérée dans le cas de l'érosion éolienne que dans le cas de l'érosion hydraulique. Sauf dans les régions hyperarides, la plupart des sols sableux préservés du surpâturage ou des coupes de bois se sont stabilisés naturellement. Les dunes mobiles devraient donc être considérées comme des signes de désertification dans les zones à climats arides, semi-arides et subhumides.

4.1.4 Salinisation

Par salinisation on entend l'augmentation de la teneur du sol en sels solubles, en sodium échangeable et en bore. L'accumulation de sels solubles s'accompagne généralement d'engorgement par l'eau sur les terres irriguées et d'infiltration latérale des eaux de pluies dans les zones pluviales. Dans les régions arides, les bassins endoréïques sont souvent salins. Ils portent des appellations diverses: salines, salares, chotts, sebkhras, cuvettes et plaines salées, pour n'en citer que quelques-uns. Les sols naturellement salés excèdent de loin, en superficie et en concentrations, les sols qui se sont salinisés sous l'effet d'activités humaines. Dans le cas de la désertification, seule la salure due à l'homme entre en ligne de compte.

Il est généralement plus facile d'évaluer la salinisation que les autres processus de désertification car ce phénomène et ses effets sur les terres irriguées ont été étudiés à fond dans les pays des régions arides. C'est un problème dont on connaît assez bien l'étendue et la gravité. Des méthodes normalisées ont été mises au point et sont amplement utilisées pour mesurer la salinité du sol, le pourcentage de sodium échangeable et de bore soluble. Les symptômes de toxicité de la salinité et du bore sur les végétaux sont aisément reconnaissables, de même que les accumulations excessives de sels dans les sols.

Si l'identification au sol est facile, la télédétection de la salinisation est difficile, sauf dans le cas extrême de croûtes de sel en surface.

Concernant la cartographie de la salinisation, le problème principal vient de la localisation des sols irrigués touchés par la salinité. Les sols naturellement salins sont en général très étendus; la salinisation artificielle ne touche normalement que des superficies inférieures à un hectare. En quelques endroits seulement, comme dans les oasis et les plaines alluviales, on peut observer de vastes superficies plus ou moins uniformément atteintes par une salinité due aux pratiques d'irrigation.

Les rendements agricoles constituent un indicateur extrêmement utile de la salinisation des terres irriguées. Etant donné que les rendements des terres irriguées ont tendance à ne varier que faiblement d'une année sur l'autre, l'apparition d'une tendance à la baisse des rendements sur une période de trois ou cinq ans, disons, est plus significative qu'une tendance analogue sur des terres de culture pluviale ou sur des terrains de parcours. Une réduction constante des rendements des terres irriguées d'année en année aura probablement pour cause la salinisation.

Un des grands problèmes encore non résolus de l'échantillonnage des sols dans lesquels on veut mesurer la salinisation est celui de la profondeur d'échantillonnage. On a le choix entre de nombreuses solutions, par exemple: établir la salinité moyenne du sol sur la profondeur occupée par les racines des végétaux; échantillonner uniquement les quelques premiers centimètres au-dessous de la surface; échantillonner jusqu'à trente centimètres; échantillonner chacun des horizons observables; ou combiner d'une manière ou d'une autre des données pondérées en fonction de la profondeur correspondant à des salinités différentes. Dans la méthode ici proposée, on suggère plutôt d'étudier les 15 centimètres les plus fortement salés se trouvant entre la surface et une profondeur de 75 centimètres (étant supposé que la profondeur d'enracinement de la plupart des cultures ne dépasse pas 75 centimètres et qu'une couche de 15 centimètres de sol endommagé par le sel, où qu'elle se trouve, influera négativement sur les rendements).

4.2 CRITERES D'EVALUATION DU DEGRE, DE LA VITESSE ET DE LA VULNERABILITE INHERENTE

On trouvera, dans les tableaux 1, 2, 3, 4, 5 et 6 respectivement, une description des paramètres recommandés et des limites de classes applicables aux différentes formes de désertification, à utiliser pour évaluer la dégradation du couvert végétal, l'érosion hydraulique, l'érosion éolienne, la salinisation, l'encroûtement du sol et la diminution de la teneur en matière organique. La vitesse de dégradation est évaluée sur une période moyenne de dix ans.

Tableau 1

CRITERES D'EVALUATION DE LA DEGRADATION DU COUVERT VEGETAL

CARACTERISTIQUES DE LA DESERTIFICATION		PARAMETRE D'EVALUATION	LIMITES DE CLASSES dégradation			
			légère	modérée	grave	très grave
Degré	1) Voûte foliacée constituée de plantes pérennes (pour cent)*		> 50	50 - 20	20 - 5	< 5
	2) Etat des parcours présentant une végétation souhaitable (pourcentage)**		> 75	50 - 75	25 - 50	< 25
	3) Productivité actuelle (pourcentage de la productivité potentielle)+		> 85 - 100	65 - 85	25 - 65	< 25
Vitesse	1) Baisse de production de biomasse/hectare++		< 10	10 - 25	25 - 50	> 50
	2) Dégradation de l'état des parcours (pourcentage annuel)		< 2,5	2,5 - 5	5 - 7,5	> 7,5
	3) Exploitation de la forêt claire sans reconstitution (pourcentage annuel)		< 2,5	2,5 - 5	5 - 7,5	> 7,5
	4) Diminution de la production fourragère (pourcentage annuel)		< 1,5	1,5 - 3,5	3,5 - 7,5	> 7,5
Vulnérabilité inhérente	1) Conditions climatiques défavorables à la production biologique (kg de Ms/ha/an/mm de pluie)		> 5	5 - 2,5	2,5 - 1	< 1
	2) Potentiel de remise en état (année)		< 3	3 - 5	5 - 10	> 10

* Les unités/classes applicables à la voûte foliacée varient selon les associations floristiques.

** L'évaluation de l'état des parcours peut être appliquée au concept climacique quantitatif de Dyksterhuis (1949).

+ Voir 4.1

++ Des progrès accomplis récemment ont permis d'évaluer la biomasse de la production fourragère à partir de données fournies par les satellites. Si l'on arrive à rassembler des données de ce genre pour une période de 5-10 ans, on peut en tirer une indication de la vitesse de désertification.

Tableau 2

CRITERES D'EVALUATION DE L'EROSION HYDRAULIQUE

CARACTERISTIQUES DE LA DESERTIFICATION	PARAMETRE D'EVALUATION	LIMITES DE CLASSES dégradation			
		légère	modérée	grave	très grave
Degré	1) Etat de la surface (pour cent)	graviers et pierres	pierres et galets	galets et roches	galets roches exposées
		<10	10 - 25	25 - 50	50
	2) Type d'érosion	en nappe et rigoles (légère à modérée)	en nappe et rigoles (modérée à grave)	en nappe, rigoles et ravines (grave)	en nappe, rigoles et ravines profondes (très grave)
	3) Sous-sol mis à nu (pourcentage de la superficie)	<10	10 - 25	25 - 50	> 50
	4) Superficie ravinée (pourcentage de la superficie totale)	<10	10 - 25	25 - 50	> 50
	5) Epaisseur du sol (cm)	>90	90 - 50	50 - 10	<10
	6) Perte d'épaisseur du sol par rapport à une couche inhibant la croissance des racines (pourcentage)				
	a. épaisseur initiale < 1 m	< 25	25 - 50	50 - 75	>75
	b. épaisseur initiale > 1 m	< 30	30 - 60	60 - 90	>90
	7) Productivité actuelle, en pourcentage de la productivité potentielle	85 - 100	65 - 85	25 - 65	<25
Vitesse	1) Extension de la superficie érodée, pourcentage annuel	< 1	1 - 2	2 - 5	> 5
	2) Perte de sol, Mt/ha/an	< 2,0	2,0 - 3,5	3,5 - 5,0	> 5,0
	3) Diminution de la production annuelle de biomasse, pourcentage annuel	< 1,5	1,5 - 3,5	3,5 - 7,5	> 7,5
	4) Dépôt de sédiments dans les réservoirs, 500 km ² de bassin versant (m ³ /km ² /an)	< 60	60 - 200	200 - 500	> 500
	bassin versant > 500 km ²	< 40	40 - 100	100 - 250	> 250
Vulnérabilité inhérente	5) Perte annuelle du volume d'emménagement (pourcentage)	< 0,2	0,2 - 0,4	0,4 - 1,0	> 1,0
	1) Agressivité climatique (valeur d'étalonnage)*	< 0,03	0,03 - 0,06	0,07 - 0,10	0,10
	2) Conditions pédo-topographiques (valeur d'étalonnage)	< 1	1 - 2	2 - 3	3
	3) Perte potentielle de sol, en t/ha/an+	< 5	5 - 15	15 - 25	25

* Voir méthodologie FAO (33)

+ Erosion mécanique provoquée par l'eau avec le couvert végétal actuel, compte tenu des précipitations annuelles, du coefficient de variation des précipitations mensuelles et annuelles, des classes de texture et de pente du sol (33).

Tableau 3

CRITERES D'EVALUATION DE L'EROSION EOLIENNE

CARACTERISTIQUES DE LA DESERTIFICATION	PARAMETRE D'EVALUATION	LIMITES DE CLASSES dégradation			
		légère	modérée	grave	très grave
Degré	1) Superficie occupée par des bosses, pourcentage de la superficie	< 5	5 - 15	15 - 30	> 30
	2) Perte d'épaisseur de sol par rapport à la couche inhibant la croissance des racines, pourcentage				
	a. épaisseur initiale du sol < 1m	< 25	25 - 50	50 - 75	> 75
	b. épaisseur initiale du sol > 1m	< 30	30 - 60	60 - 90	> 90
	3) Productivité actuelle, en pourcentage de la productivité potentielle	80 - 100	65 - 85	25 - 65	< 25
	4) Epaisseur du sol (cm)	> 90	90 - 50	50 - 10	< 10
Vitesse	5) Pourcentage de la superficie occupée par des graviers	< 15	15 - 30	30 - 50	> 50
	1) Extension de la superficie, pourcentage annuel	< 1	1 - 2	2 - 5	> 5
	2) Perte de sol (Mt/ha/an)	< 2,0	2 - 3,5	3,5 - 5,0	> 5
	3) Diminution de la production annuelle de biomasse, pourcentage annuel	< 1,5	1,5 - 3,5	3,5 - 7,5	> 7,5
	4) Volume de sable transporté par an* au-dessus de la ligne de 1m, m ³	< 5	5 - 10	10 - 20	> 20
Vulnérabilité inhérente	1) Catégories de vulnérabilité à l'action du vent (texture du sol)	limon argi- lo-sableuse argile sa- bleuse-limon, rales fin	autres classes textu- rales	sable limoneux	sable
	2) Vitesse annuelle moyenne du vent à 2 mètres de hauteur, m/s	< 2	2 - 3,5	3,5 - 4,5	> 4,5
	3) Fréquence d'activité du vent ($v \geq 6m/s$), en pourcentage du nombre total de vents dans l'année)	< 5	5 - 20	20 - 33	> 33
	4) Etalonnage des déplacements potentiels de sable +	< 5	5 - 15	15 - 25	> 25

* Données fournies par Schiffers (1971). Il est recommandé d'utiliser ces données en tenant compte de l'interprétation de Hagerdon. D'après Hagerdon et al. (34), le volume de sable transporté par année au-dessus de la ligne de 1 m montre clairement le rôle du vent dans le transport et l'accumulation du sable.

+ Méthode FAO (33).

Tableau 4

CRITERES D'EVALUATION DE LA SALINISATION

CARACTERISTIQUES DE LA DESERTIFICATION	PARAMETRE D'EVALUATION	LIMITES DE CLASSES dégradation			
		légère	modérée	grave	très grave
Degré	1) Indications morphologiques	pas de sels	taches de sels	taches et micelles de sels	cristaux, efflorescen- ces pseudo- sable croûte de sel ou soufflards
	2) $EC_e \times 10^3$, concentration maximum dans toute cou- che de 15cm comprise dans les 75 premiers cm du sol*	< 4	4 - 8	8 - 16	> 16
	3) ESP, valeur maximum dans toute couche de 15 cm comprise dans les 75 premiers cm du sol +	< 5	5 - 20	20 - 45	> 45
	4) Rendements des cultures, en pourcentage de la producti- vité potentielle	85 - 100	65 - 85	25 - 65	> 25
	5) Superficie endommagée, en pourcentage de la superfi- cie délimitée	< 5	5 - 20	20 - 50	> 50
	6) Bore, parts par million dans l'extrait de sol saturé	< 0,25	0,25 - 0,5	0,5 - 1,0	> 1,0
	7) Minéralisation de l'eau * $EC \times 10^3$ g/l	< 4 < 2,5	4 - 8 2,5 - 5	8 - 16 5 - 10	> 16 > 10
Vitesse	1) Extension de la superficie endommagée par le sel, pour- centage annuel	< 1	1 - 2	2 - 5	> 5
	2) Augmentation de $EC_e \times 10^3$ dans toute couche de 15 cm comprise dans les 75 premiers cm du sol	< 0,4	0,4 - 0,8	0,8 - 1,6	> 1,6
	3) Augmentation de ESP dans toute couche de 15 cm comprise dans les 75 premiers cm du sol	< 0,5	0,5 - 2	2 - 4,5	> 4,5
	4) Augmentation de la concentration de bore dans l'extrait de sol saturé, en parts par million par an	< 0,025	0,025 - 0,05	0,05 - 0,1	> 0,1
	5) Baisse de rendement des cultures, pourcentage annuel	< 1,5	1,5 - 3,5	3,5 - 7,5	> 7,5

Tableau 4 (suite)

Vulnérabilité inhérente	1) Profondeur moyenne de la nappe phréatique, cm**	> 300	300 - 100	100 - 50	< 50
	2) Qualité de l'eau d'irri- gation				
	a. Teneur en sel, g/l	< 0,5	0,5 - 1,5	1,5 - 3,0	> 3,0
	b. EC x 10	< 0,75	0,75 - 2,25	2,25 - 5,0	> 5,0
	c. SAR++	< 4	4 - 7	7 - 10	> 10
	d. CSR ≠	< 1,25	1,25 - 2,5	2,5 - 4,0	> 4,0
	e. Bore, mg/l	< 0,75	0,75 - 1,5	1,5 - 3,0	> 3,0
	3) Physiographie/formes de relief	formes ho- rizontales et plaines	plaines ho- rizontales	bassins, restes de restes de bassins et chenaux de chenaux	
	4) Drainage général	bon	imparfait	médiocre	médiocre
	5) Drainage interne	moyen	lent	très lent	très lent
	6) Pratiques d'aménagement des sols et système de drainage	bons/ spéciaux	moyens	médiocres	médiocres
	7) Salinisation potentielle du sol ≠ (Valeur d'étalonnage)	< 0,6	0,6 - 2,4	2,4 - 15	> 15

* Calculée sur la base de la quantité maximum $\frac{P}{ETP}$ de sels solubles dans les horizons superficiels de Solonchaks; remontée capillaire maximum par jour en fonction de la texture du sol (33).

* $EC_e \times 10^3$ représente la conductivité électrique de l'extrait de sol saturé, en millimhos par centimètre. Les limites peuvent être portées à 2 millimhos/cm si le sol est gypseux.

+ ESP représente le pourcentage de sodium échangeable contenu dans le sol.

$$ESP = \frac{Na}{CEC} \times 100 \text{ en me/100 g de sol.}$$

** Indication générale pour les zones arides. En ce qui concerne la relation entre la teneur en sel de l'eau souterraine et le niveau critique de la nappe phréatique, voir figure 1.

++ SAR désigne le taux d'adsorption du sodium = $\frac{Na}{\sqrt{\frac{Ca + Mg}{2}}}$ (Na, Ca, Mg solubles, exprimés en me/l).

~~≠~~ CSR désigne le carbonate de sodium résiduel $(Ca + Mg) - (CO_3 + HCO_3)$ en me/l.

Tableau 4 (suite)

Notes:

- i. Quand on évalue les effets nocifs de la salinité/sodicité, il faut utiliser les rendements des cultures pris comme indicateurs conjointement avec la classe d'aptitude de la terre ainsi qu'avec la provenance et la vitesse de l'écoulement restitué de l'eau d'irrigation.
- ii. Quand on étudie les valeurs EC et ESP, il faut tenir compte du pourcentage de la superficie endommagée et de la baisse des rendements agricoles, le rendement étant pris comme critère décisif. De même, l'épaisseur de sol endommagé doit être considérée conjointement avec EC et ESP, la baisse de rendement étant utilisée comme critère indicatif.
- iii. Dans les sols contenant du gypse, ESP ne signifie rien. Il faut donc prendre une seule valeur EC, et les limites de EC pour les diverses classes seront légèrement plus élevées.
- iv. Dans des sols posant des problèmes dus à un ESP élevé, EC ne signifie pas grand-chose, et il faut tenir compte de l'interaction de ESP et de la perméabilité du sol ou du drainage interne. Les besoins d'amendement du sol (gypse) peuvent être utilisés comme critère indicatif.
- v. Il faudra tenir compte des interactions des différents critères pour estimer l'effet qui en résulte sous forme de problèmes de salinité/sodicité, en prenant les rendements agricoles comme critère indicatif.
- vi. Concernant les critères relatifs à la vulnérabilité inhérente, les limites EC, SAR et CSR de l'eau d'irrigation seront plus élevées si la terre n'est utilisée que pour une culture d'hiver. En été, les effets nocifs de valeurs EC, SAR et CSR élevées sont plus sensibles qu'en hiver. L'intensité de culture influe également.
- vii. Quand on évalue la vulnérabilité inhérente à la désertification, il faut partir des conditions que l'on peut s'attendre à trouver au bout de dix ans, comparées aux conditions présentes. Si au bout de dix ans aucun changement n'est perceptible, le risque est léger; si l'on prévoit un changement d'une catégorie en dix ans (par exemple de léger à modéré, ou de modéré à grave), le risque est modéré; si le changement est de deux catégories, le risque est grave; si le changement anticipé dépasse deux catégories, il est très grave (figure 2). De même, la vitesse de dégradation peut être évaluée en comparant les conditions d'il y a dix ans avec les conditions présentes.
- viii. On doit considérer que la classe "légère" n'entraîne pas de problèmes, ou que des problèmes négligeables.

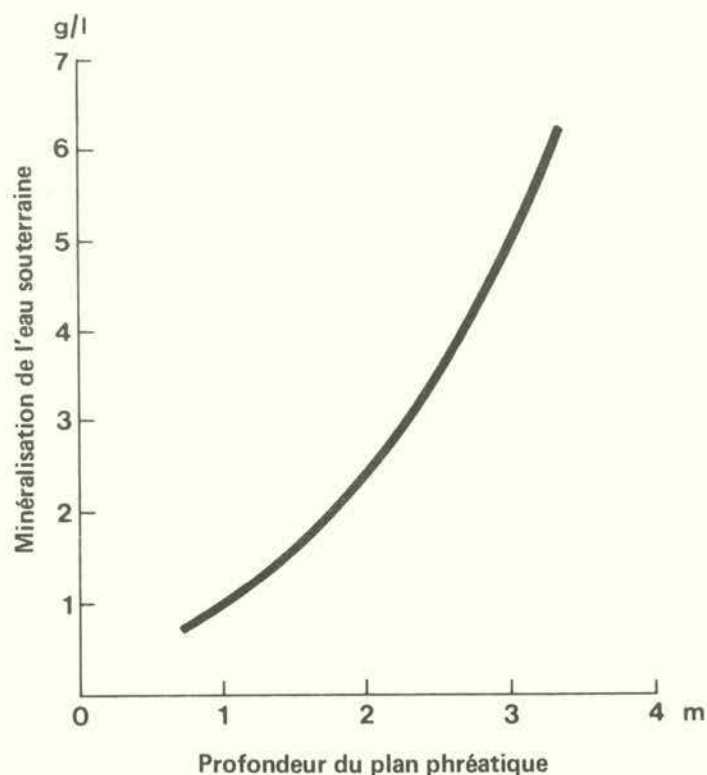


Fig. 1 – Relation entre la teneur en sel de l'eau souterraine et le "niveau critique du plan phréatique" (données tirées de "Irrigation, drainage et salinité", FAO/UNESCO, 1973)

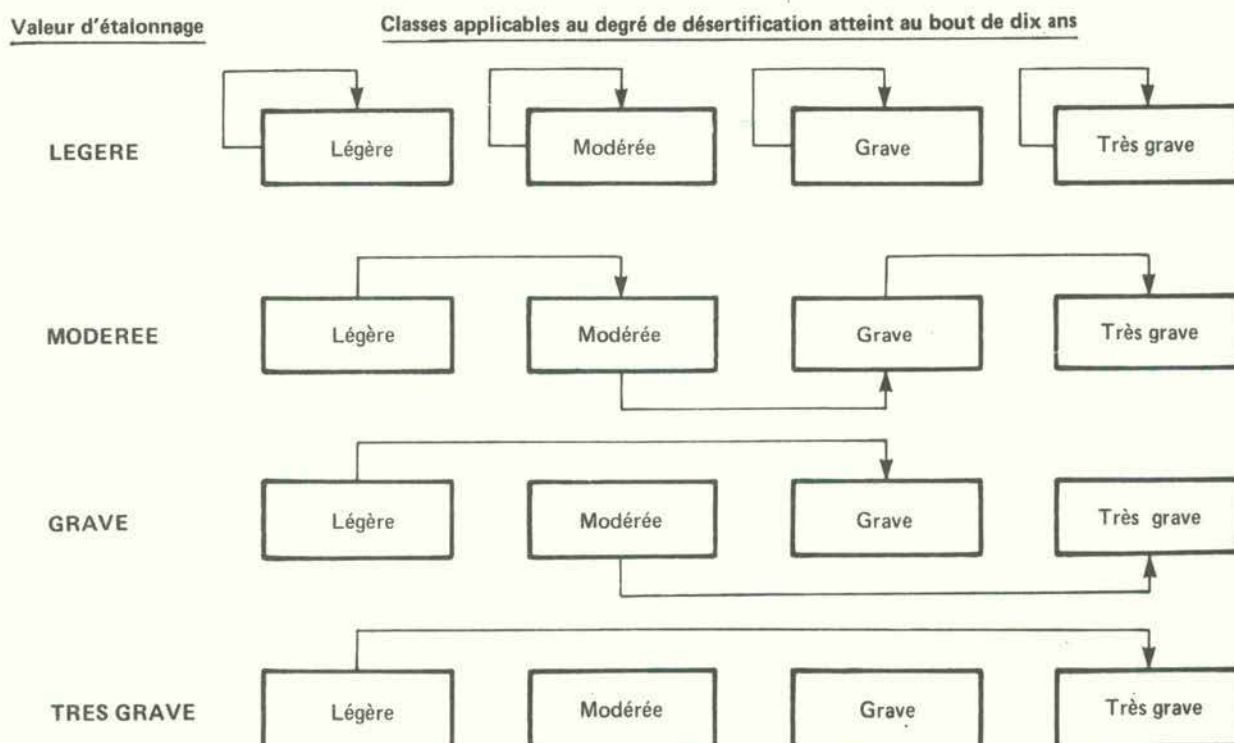


Figure 2 – Procédé permettant de classer le "degré actuel" de désertification en fonction des processus en cours.

Tableau 5

CRITERES D'EVALUATION DE L'ENCROUTEMENT ET DU COMPACTAGE DU SOL

PARAMETRE D'EVALUATION	LIMITES DE CLASSES			
	légère	modérée	dégradation grave	très grave
Accumulation calcique et 1/ formes de cimentation (profondeur en cm)	accumulations généralisées et/ou nodules (30 - 50)	encroûtement (30 - 50) ou accumulations généralisées et/ou nodules (< 30)	croûte (10 - 30) ou encroûtement (< 30)	croûte (< 10)
Accumulation gypsique et forme de cimentation (profondeur en cm)	accumulation de gypse/ (50 - 100)	sable ou poudre de gypse (30 - 50)	poudre de gypse (< 30)	croûte (< 10)
Accumulation ferrique et forme de cimentation (profondeur en cm)	nodules et concrétions (30 - 50)	encroûtement (30 - 50) ou nodules et concrétions (< 30)	concrétions ferrugineu- ses (10 - 30) ou encroû- tement (< 30)	concré- tions fer- rugineuses (< 10)
Accumulation de dioxyde du silice et forme de cimentation (profondeur en cm)	encroûtement (> 50)	encroûtement (30 - 50)	encroûtement (10 - 30)	encroû- tement (< 10)

1/ Quand on trouve deux ou trois formes d'accumulations dans le profil pédologique, il faut choisir l'horizon le plus proche de la surface comme horizon déterminant pour évaluer le degré de compactage.

Tableau 6

CRITERES D'EVALUATION DE LA DIMINUTION DE LA MATIERE ORGANIQUE

Limites de classes (dégradation)	Critères concernant le degré de dégradation	Critères concernant la vitesse de dégradation
Légère	90 - 100 pour cent de la teneur naturelle maximum	la teneur en matière organique du sol superficiel diminue de < 1 pour cent/an
Modérée	70 - 90 pour cent de la teneur naturelle maximum	la teneur en matière organique du sol diminue de 1 - 3 pour cent/an
Grave	30 - 70 pour cent de la teneur naturelle maximum	la teneur en matière organique du sol diminue de 3 - 7 pour cent/an
Très grave	< 30 pour cent de la teneur naturelle maximum	la teneur en matière organique du sol diminue de > 7 pour cent/an

CRITERES D'EVALUATION DES SUBSTANCES TOXIQUES

Il est suggéré de prendre la baisse de la productivité comme indicateur d'un processus de désertification lié à une quantité excessive de substances toxiques dans le sol, dans l'air et dans l'eau. Les limites applicables à cette réduction de la productivité sont les mêmes que pour les autres processus de désertification.

4.3 EVALUATION DES RISQUES DE DESERTIFICATION

Pour évaluer les risques de désertification, il faut se reporter aux éléments ci-après:

- i. la vulnérabilité naturelle de la terre à la désertification (voir 4.2 évaluation du degré, de la vitesse et de la vulnérabilité inhérente) et
- ii. les facteurs liés aux interventions humaines (pressions anthropogènes).

Pour les besoins de la méthode décrite ici, il a été convenu de prendre en considération, pour quantifier les paramètres anthropogènes ^{1/}, les principaux éléments ci-après:

- la pression du cheptel sur l'environnement
- la pression démographique sur l'environnement

4.3.1 Estimation de la pression du cheptel sur l'environnement

i. Densité animale actuelle

Pour estimer la densité animale du moment, on peut partir de l'unité de terre considérée du point de vue écologique (associations de sols, ensembles, zones agro-écologiques) et des informations disponibles pour la zone administrative considérée, par exemple:

- les données concernant la répartition géographique des principaux types d'animaux d'élevage (par ex. cartes à points représentatifs).
- les données statistiques concernant les différents types d'animaux d'élevage par circonscriptions administratives.

Pour convertir les différents types d'animaux d'élevage en unités animales normalisées (250 kg de poids vif), on applique les coefficients de conversion suivants:
caprins - multiplier le nombre de têtes par 0,1; ovins - 0,1; bovins - 0,8;
camélidés - 1,1; buffles - 1,0; porcins - 0,3; équidés - 1,0; ânes - 0,8; mulets - 1,0.

^{1/} La diminution des superficies boisées est un élément important pour évaluer la désertification (1) (19) (27), mais, comme on ne dispose pas pour le moment de données précises sur la question, il n'est pas possible de mettre au point des paramètres pouvant être utilisés dans le cadre de la présente méthode. Toutefois, on peut actuellement évaluer la réduction des superficies forestières en se reportant aux données disponibles pour la zone étudiée, compte tenu de la superficie occupée par les forêts et les bois, de la réduction de la superficie boisée sur une période de dix années au moins, des besoins énergétiques de la population et des données concernant les coupes de bois.

ii. Capacité potentielle de charge animale

La capacité potentielle de charge animale peut être estimée d'après des observations faites directement sur le terrain et d'après l'expérience locale. Si ce type d'approche n'est pas praticable ou si les renseignements manquent, on peut la calculer en se basant sur des estimations de la production potentielle de fourrage avec trois différents niveaux d'intrants, donnée dont on pourra déduire la quantité de fourrage consommable. Le Houérou et Hoste (35) ont établi les relations ci-après entre les précipitations (R) et la production de fourrage consommable (FC) pour la zone méditerranéenne (pluies hivernales) et pour la zone sahélo-soudanienne (pluies estivales).

$$FC \text{ (pluies hivernales)} = 2,17 \times R - 103,7$$

$$FC \text{ (pluies estivales)} = 1,03 \times R + 42,2$$

Pour d'autres régions bioclimatiques, de nouvelles relations devront être établies.

Si l'on applique cette relation aux zones subhumides, semi-arides et arides, on obtient une estimation du potentiel climatique de production fourragère consommable pouvant être obtenue sur des sols de hautes terres de "qualité moyenne". Pour définir les potentiels des terres, il faut tenir compte de l'état des sols et voir dans quelle mesure l'état des sols cartographiés (voir unités pédologiques FAO/Unesco) concordent ou ne concordent pas avec les besoins pédologiques de la production herbagère. Si toutes les caractéristiques d'une unité pédologique sont optimales du point de vue de la production fourragère (alcalinité, horizon sulfurique, forte teneur en carbonate de calcium, texture grossière et fertilité peu élevée), il est suggéré de relever de 25 pour cent le potentiel climatique. Si une ou plusieurs caractéristiques du sol ne sont pas propices à la production fourragère, il est suggéré d'abaisser de 25 pour cent le potentiel climatique. Si une ou plusieurs caractéristiques s'accompagnent de limitations graves (forte salinité, profondeur inférieure à 10 cm), il est suggéré d'abaisser de 50 pour cent le potentiel climatique.

Pour convertir les estimations de la production de fourrage consommable (FC) en estimations de la capacité de charge animale (densité animale potentielle), on considère un besoin journalier d'entretien correspondant à 2 pour cent du poids vif par jour (2 000 kg/an pour une unité animale normalisée).

Exemple de calcul

Emplacement: Algérie, bassin du Hodna (pluies hivernales)

Niveau d'intrants: faible

Précipitations annuelles: 200 mm

Sol: Yermosol haplique (classification FAO/Unesco)

Potentiel climatique: $FC = 2,17 \times R - 103,7 = 330 \text{ kg/ha}$

Rectification du potentiel climatique pour tenir compte du sol (réduction de 25 pour cent)

$FC = 248 \text{ kg/ha}$

Capacité potentielle de charge animale = $248/2000 = 0,12 \text{ unité animale/hectare}$

iii. Pression animale

La comparaison de la capacité potentielle de charge animale et des densités actuelles donne une indication de la pression potentielle du cheptel sur l'environnement. Un rapport inférieur à 1,0 indique que la densité actuelle du cheptel est supérieure au potentiel.

On peut classifier la pression animale, en fonction des rapports obtenus, de la façon suivante:

<u>Rapport entre la capacité potentielle de charge animale et la densité actuelle du cheptel</u>	<u>Densité actuelle du cheptel, en pourcentage de la capacité potentielle de charge animale/densité actuelle du cheptel</u>	<u>Pression animale</u>
<0,5	> 200	très forte
0,5 - 1,0	100 - 200	forte
1,0 - 1,5	66 - 100	modérée
1,5 - 5,0	20 - 66	légère

4.3.2 Estimation de la pression démographique sur l'environnement

i. Densité de population actuelle

La densité de population peut être estimée à partir de renseignements concernant la répartition géographique de la population (exemple, cartes à pointillés représentatifs) et/ou de données statistiques recueillies par circonscriptions administratives pour les différentes unités choisies pour cartographier l'environnement.

ii. Capacité potentielle de charge démographique

La capacité potentielle de charge démographique peut être estimée au moyen de la méthodologie décrite dans le rapport intitulé "Capacités potentielles de charge démographique des terres dans le monde en développement (FAO/FNUAP/IIASA, 1983)., qui comprend des cartes établies par zones de longueurs de période végétative et montrant les capacités potentielles de charge démographique pour trois niveaux d'intrants; ces cartes, établies à l'échelle 1/10 000 000, couvrent le monde en développement.

La méthode mise au point pour calculer les potentiels commence par établir les possibilités de production pluviale d'un certain nombre de cultures moyennant la délimitation et l'analyse de zones agroécologiques, les besoins pédologiques et climatiques des cultures considérées étant confrontés avec des inventaires des sols et des climats.

L'inventaire climatique prend en considération à la fois les régimes thermiques (grands climats) et les conditions hygrométriques (zones de longueurs de période végétative). Les données concernant les conditions pédologiques proviennent de la Carte mondiale des sols FAO/Unesco au 1/5 000 000ème, qui sert aussi de fond cartographique pour l'inventaire des terres.

En superposant l'inventaire climatique et la carte des sols, on obtient des zones déterminées dont les conditions pédologiques et climatiques sont connues et quantifiées. En comparant les caractéristiques climatiques et pédologiques des terres inventoriées et les besoins des cultures, on obtient une évaluation de l'aptitude des terres à la production de cultures pluviales.

Les cultures prises en considération sont celles qui sont les plus largement cultivées dans le monde: mil perlé; sorgho, maïs, riz, blé, soja, haricot phaseolus, patate douce, pomme de terre, manioc, arachide, banane/plantain, canne à sucre, palmier à huile et herbages/élevage.

Chacune des zones comprises dans l'inventaire des terres est analysée individuellement du point de vue de ces cultures, ainsi que du point de vue de la production herbagère (élevage), pour vérifier quelle est ou quelles sont la ou les culture(s) les plus productives compte tenu des conditions pédologiques et climatiques de la zone étudiée. Avant de procéder à cette analyse, on déduit les superficies affectées à des utilisations non agricoles, à l'irrigation et à la jachère (périodes de repos). Il est également tenu compte des limitations imposées par le risque de dégradation et par les mélanges de cultures actuellement pratiqués, en fonction des niveaux d'intrants.

Les résultats sont totalisés pour calculer le potentiel de production énergétique (protéines) de chaque zone de longueur de période végétative de chaque pays. Une fois établie la combinaison de production potentielle (maximale de calories (protéines), y compris la contribution présente et projetée des zones irriguées, on se sert des besoins caloriques (protéiques) par habitant établis par la FAO et l'OMS pour chaque pays pour calculer les capacités potentielles de charge démographique de chaque zone de chaque pays.

Enfin, ces évaluations des capacités potentielles de charge démographique sont comparées avec les populations actuelles (année 1975) et projetée (année 2000).

Exemple de calcul simplifié

Superficie totale de l'unité de terre = 1 000 hectares

Production potentielle des cultures compte tenu des conditions climatiques et pédologiques (régimes thermique et hygrométrie):

Culture	Superficie ha	Rendement (t/ha)	Production potentielle (t)	Production 1/ potentielle annuelle	Equivalent calories 2/ Kcal/kg Kcal/10 ⁶
Maïs pluvial	300	0,5	150	45	3 270 147
Sorgho pluvial	200	0,4	80	32	3 080 98
Légumineuses pluviales	100	0,2	20	10	3 410 34
Maïs irrigué	50	3,0	150	150	3 270 490
Elevage	300	0,01	3	3	2 380 7
Total	950			240	776

- Surfaces affectées à des usages non agricoles = 50 hectares (0,05 hectare par personne)

- Besoins de calories par habitant du pays = 2 280 Kcal par jour ou
2 280 x 365 = 832 200 Kcal par an

- Capacité potentielle de charge démographique = $\frac{\text{production totale de calories}}{\text{besoins par habitant et par an}}$
= $\frac{776 \times 10}{832 \ 200} = 933$
soit 0,9 habitant à l'hectare

- Population actuelle = 1,3 habitant à l'hectare

- Pression démographique sur l'environnement = $\frac{\text{capacité potentielle de charge démographique}}{\text{population actuelle}}$
= $\frac{0,9}{1,3} = 0,7$ soit une forte pression

1/ La superficie annuellement disponible aux fins de production, compte tenu des besoins de jachère, avec un faible niveau d'intrants, se répartit comme suit: 30 pour cent en maïs; 40 pour cent en sorgho; 50 pour cent en légumineuses; et 100 pour cent dans le cas du maïs irrigué et de la production animale.

2/ Les équivalents calories des différentes cultures sont tirés de la publication "Ressources en terres pour les populations de l'avenir" (17).

iii. Pression démographique

Si l'on compare la capacité potentielle de charge démographique et la densité de population actuelle, on obtient une indication de la pression démographique sur l'environnement. Des rapports inférieurs à 1,0 montrent que la population est supérieure au potentiel.

D'après les rapports obtenus, on peut classer de la manière suivante la pression exercée par la population:

Rapport entre la capacité potentielle de charge démographique et la population actuelle	Population actuelle en pourcentage de la capacité potentielle de charge démographique	Pression démographique
< 0,5	> 200	très forte (P4)
0,5 - 1,0	100 - 200	forte (P3)
1,0 - 1,5	66 - 200	modérée (P2)
> 1,5	< 66	légère (P1)

iv. Utilisation des évaluations de la pression démographique et animale aux fins d'évaluation des risques de désertification

Les renseignements obtenus concernant la pression démographique et animale peuvent être cartographiés. On trouvera ci-dessous diverses combinaisons possibles de la pression démographique et animale.

Tableau 7
CRITERES D'EVALUATION DE LA
PRESSION DEMOGRAPHIQUE ET ANIMALE SUR L'ENVIRONNEMENT

Cheptel actuel en pourcentage de la capacité potentielle de charge animale	Pression exercée par le cheptel	Population actuelle en pourcentage de la capacité démographique potentielle	Pression démographique
> 200	(très forte)	> 200	(très forte)
> 200	(très forte)	100 - 200	(forte)
> 200	(très forte)	66 - 100	(modérée)
> 200	(très forte)	20 - 66	(légère)
100 - 200	(forte)	100 - 200	(forte)
100 - 200	(forte)	66 - 100	(modérée)
100 - 200	(forte)	20 - 66	(légère)
66 - 100	(modérée)	66 - 100	(modérée)
66 - 100	(modérée)	20 - 66	(légère)
20 - 66	(légère)	20 - 66	(légère)
100 - 200	(forte)	> 200	(très forte)
66 - 100	(modérée)	> 200	(très forte)
20 - 66	(légère)	> 200	(très forte)
66 - 100	(modérée)	100 - 200	(forte)
20 - 66	(légère)	100 - 200	(forte)
20 - 66	(légère)	66 - 100	(modérée)

5. CARTOGRAPHIE DE LA DESERTIFICATION

5.1 ECHELLE CARTOGRAPHIQUE

Pour inventorier et cartographier le degré, la vitesse, la vulnérabilité inhérente et le risque de désertification, on peut employer plusieurs méthodes. La meilleure consiste à mesurer quantitativement les changements qui se sont produits et les changements susceptibles de se produire. Pour établir des cartes détaillées, il faut faire intervenir des observations au sol et des techniques de télédétection très fines. Les possibilités d'utilisation des données aériennes et de la détection par satellites augmentent dans la mesure où les cartes sont moins détaillées.

A des échelles cartographiques de 1/10 000 - 1/50 000, il faut effectuer, autant que possible, des mesures au sol des paramètres décrits précédemment. Si l'on ne peut faire des mesures directes, ce qui est généralement le cas - on peut utiliser des équations comme celles qui ont été mises au point pour l'érosion hydraulique et l'érosion éolienne. Moins on travaillera sur hypothèses et plus on aura de probabilités d'arriver à des calculs raisonnablement justes. Les cartes thématiques (état des parcours, érosion, salinité) doivent être vérifiées sur le terrain pour en contrôler l'actualité.

Aux échelles cartographiques allant de 1/100 000 à 1/250 000, il faut généraliser les données. Cette généralisation peut se faire directement par (1) agrégation d'unités cartographiques plus détaillées, 2) combinaison de cartes thématiques à petite échelle, 3) analyse originale de photographies aériennes prises à haute altitude et d'images fournies par les satellites et rassemblement de témoignages au sol dans des zones échantillons. Le degré de désertification peut aussi se calculer, après avoir attribué une valeur d'étalement aux divers paramètres en cause; il peut aussi être apprécié qualitativement, en tenant compte des avis de personnes expérimentées.

Pour les cartes établies à l'échelle 1/1 000 000 - 1/2 500 000 et plus, les images de satellites deviennent particulièrement utiles si des observations satisfaisantes ont été faites au sol et s'il existe des personnes expérimentées capables d'interpréter les images. Les images fournies par les satellites sont particulièrement précieuses pour établir les grands traits du relief et de la végétation. Pour ce genre de carte à petite échelle, seules peuvent apparaître des interprétations approximatives de l'état du terrain. L'interprétation se fondera généralement sur un étalonnage des paramètres d'environnement et sur l'expérience personnelle. La documentation utilisée comprendra des cartes des sols et de la végétation, des cartes géologiques, des photographies aériennes, des images fournies par les satellites, des données climatiques, des cartes d'utilisation des terres, des cartes topographiques, etc. On peut aussi recommander l'emploi du modèle mathématique mis au point pour établir les cartes de désertification de l'Afrique.

5.2 TYPE DE RESOLUTION UTILISE EN CARTOGRAPHIE

Les cartes ont pour objet de montrer les causes et la dynamique de la désertification en ce qui concerne d'une part le processus lui-même et d'autre part la vulnérabilité de l'environnement à la désertification. Les cartes doivent pouvoir être utilisées pour établir un pronostic de la désertification, ainsi que pour planifier les mesures préventives ou correctives.

Pour indiquer de façon satisfaisante l'intensité du phénomène, il semble que l'on peut utiliser quatre classes de désertification: légère, modérée, grave (ou forte) et très grave (ou très forte).

La catégorie correspondant à une désertification très grave représente l'état extrême qui, dans l'esprit de beaucoup de gens, est associé à l'idée de désertification. La terre est tellement dégradée que son utilité pour l'homme ou pour les animaux est pratiquement nulle et que, pour la plupart des usages, cette dégradation est économiquement irréversible.

Les délimitations portées sur les cartes combinent généralement différentes classes de désertification. Par exemple, une zone apparaissant comme modérément désertifiée comprendra parfois des inclusions de terres légèrement désertifiées et des terres gravement désertifiées. Les directives établies en vue de la classification cartographique d'une zone quelconque sont les suivantes:

<u>Classification cartographique</u>	<u>Pourcentage de superficie correspondant aux différentes catégories de désertification</u>
Désertification légère	> 30 pour cent de la superficie classés dans la catégorie légère < 30 pour cent de la superficie classés dans la catégorie modérée < 40 pour cent de la superficie classés dans la catégorie grave et très grave
Désertification modérée	< 30 pour cent de la superficie classés dans la catégorie légère > 30 pour cent de la superficie classés dans la catégorie modérée < 40 pour cent de la superficie classés dans la catégorie grave et très grave
Désertification grave	< 30 pour cent de la superficie classés dans la catégorie légère > 40 pour cent de la superficie classés dans la catégorie grave et très grave < 30 pour cent de la superficie classés dans la catégorie très grave
Désertification très grave	> 40 pour cent de la superficie classés dans la catégorie grave et très grave < 20 pour cent de la superficie classés dans la catégorie légère > 30 pour cent de la superficie classés dans la catégorie très grave

Les tableaux 8, 9, 10, 11, 12 et 13 indiquent quel est le type de résolution adopté aux différentes échelles cartographiques selon les formes, processus de désertification et paramètres d'évaluation. Les symboles utilisés dans les tableaux ont les significations suivantes:

A = données analytiques; Am = données météorologiques; M = méthodes paramétriques ou mathématiques; N = Interpolation de renseignements existants; F = observations et mesures effectuées sur le terrain, y compris les cartes; LP = photographies aériennes à grande échelle; SP = photographies aériennes à petite échelle; SI = images fournies par satellites; T = cartes topographiques.

Tableau 8

TYPE DE RESOLUTION UTILISE POUR CARTOGRAPHIER LA DEGRADATION DU COUVERT VEGETAL

CARACTERISTIQUES DE LA DESERTIFICATION	PARAMETRE D'EVALUATION	TYPE DE RESOLUTION UTILISE AUX DIFFERENTES ECHELLES CARTOGRAPHIQUES		
		1/10 000	1/100 000	1/1 M
		à 1/50 000	à 1/250 000	à 1/2,5 M
Degré	1) Voûte foliacée constituée de plantes pérennes (pourcentage)	F, LP	SP	N, SI
	2) Etat des parcours (pourcentage) du point de vue de la végétation souhaitable	F, LP	N	N
	3) Productivité actuelle, en pourcentage de la productivité potentielle	F	N	N
Vitesse	1) Diminution, en pourcentage, de la production de biomasse/hectare	F, LP	N, SP	N, SI
	2) Dégradation de l'état des parcours, pourcentage annuel	F	N	N
	3) Exploitation de la forêt claire sans reconstitution, pourcentage annuel	F, LP	N	N
	4) Baisse de la production fourragère, pourcentage annuel	F, LP	N	N
Vulnérabilité inhérente	1) Conditions climatiques offertes à la productivité biologique (kg de Ms/hectare/an/mm de pluie)	F, Am	Am, N	Am, N
	2) Potentiel de remise en état (année)	F, Am	Am, N	Am, N

Tableau 9

TYPE DE RESOLUTION UTILISE POUR CARTOGRAPHIER L'EROSION HYDRAULIQUE

CARACTERISTIQUES DE LA DESERTIFICATION	PARAMETRE D'EVALUATION	TYPE DE RESOLUTION UTILISE AUX DIFFERENTES ECHELLES CARTOGRAPHIQUES		
		1/10 000 à 1/50 000	1/100 000 à 1/250 000	1/1 M à 1/2,5 M
Degré	1) Etat de la surface (pourcentage)	F, LP	SP, N	SI, N
	2) Type d'érosion	F, LP	SP	SI
	3) Sous-sol exposé, pourcentage de la superficie	F, LP	SP, N	SI, N
	4) Superficie ravinée, en pourcentage de la superficie totale	F, LP	SP	SI
	5) Perte d'épaisseur de sol par rapport à la couche inhibant la croissance des racines, pourcentage	F, LP	N	N
	6) Productivité actuelle, en pourcentage de la productivité potentielle	F	N	N
Vitesse	1) Extension de la superficie érodée, pourcentage annuel	F, LP	SP	SI
	2) Perte de sol, Mt/ha/an	F, LP	M, SP	M, SI
	3) Baisse de la production annuelle de biomasse, pourcentage annuel	F	N	N
	4) Dépôt de sédiments dans les réservoirs (m ³ /km ² /an)	F, M	M, N	M, N
	5) Perte annuelle de volume d'entreposage, pourcentage	F, M	M, N	M, N
Vulnérabilité inhérente	1) Valeur d'étalonnage de l'agressivité climatique	Am, N	N, M	M
	2) Valeur d'étalonnage des conditions pédo-topographiques	M	M	M
	3) Valeur d'étalonnage de la perte potentielle de sol	F, T, M	N, M	M

Tableau 10

TYPE DE RESOLUTION UTILISE POUR CARTOGRAPHIER L'EROSION EOLIENNE

CARACTERISTIQUES DE LA DESERTIFICATION	PARAMETRE D'EVALUATION	TYPE DE RESOLUTION UTILISE AUX DIFFERENTES ECHELLES CARTOGRAPHIQUES		
		1/10 000	1/100 000	1/1 M
		à 1/50 000	à 1/250 000	à 1/2,5 M
Degré	1) Superficie occupée par des monticules, en pourcentage de la superficie totale	F, LP	SP	SI
	2) Perte d'épaisseur de sol par rapport à la couche inhibant la croissance des racines, pourcentage	F, LP	N	N
	3) Productivité actuelle, en pourcentage de la productivité potentielle	F	N	N
	4) Epaisseur du sol (cm)	F, LP	SP, N	N
	5) Superficie occupée par des graviers, en pourcentage de la superficie totale	F, LP	SP, N	N
Vitesse	1) Extension de la superficie érodée, pourcentage annuel	F, LP	SP	SI
	2) Perte de sol, Mt/ha/an	F	N	N
	3) Baisse de la production annuelle de biomasse, pourcentage annuel	F	N	N
	4) Volume de sable transporté dans l'année au dessus de la ligne de lm, m ³	F, LP	SP, N	SI, N
Vulnérabilité inhérente	1) Catégories de vulnérabilité à l'érosion éolienne	F, A, LP	SP, N	SI, N
	2) Vitesse annuelle moyenne du vent à 2 m de hauteur, m/s	Am	Am	Am
	3) Fréquence d'activité du vent ($v \geq 6m/s$) (en pourcentage du nombre total de vents dans l'année)	Am, M	Am, M	Am, M
	4) Valeur d'étalonnage de la perte potentielle de sol	M	M	M

Tableau 11

TYPE DE RESOLUTION UTILISE POUR CARTOGRAPHIER LA SALINISATION

CARACTERISTIQUES DE LA DESERTIFICATION	PARAMETRE D'EVALUATION	TYPE DE RESOLUTION UTILISE AUX DIFFERENTES ECHELLES CARTOGRAPHIQUES		
		1/10 000 à 1/50 000	1/100 000 à 1/250 000	1/1 M à 1/2,5 M
Degré	1) Indications morphologiques	F, LP	SP	N
	2) $EC_e \times 10^3$, valeur maximum dans toute couche de 15 cm comprise dans les 75 premiers cm du sol	A, F, LP	N, SP	N
	3) ESP, valeur maximum dans toute couche de 15 cm comprise dans les 75 premiers cm du sol) (pores tubulaires = 1 mm de diamètre	A, F	N	N
	4) Rendements agricoles, en pourcentage de la productivité potentielle	F	N	N
	5) Superficie endommagée, en pourcentage de la superficie délimitée	F, LP	SP, N	SI, N
	6) Bore, parts par million d'extrait de sol saturé	A	N	N
	7) Minéralisation de l'eau	A	N	N
Vitesse	1) Extension de la superficie endommagée par le sel, pourcentage annuel	F, LP	SP	SI, N
	2) Augmentation de $EC_e \times 10^3$ dans toute couche de 15 cm comprise dans les 75 premiers cm du sol, par an	A, F	N	N
	3) Augmentation de ESP dans toute couche de 15 cm comprise dans les 75 premiers cm du sol, par an	A, F	N	N
	4) Augmentation de la concentration de bore dans l'extrait de sol saturé, parts par million par an	A	N	N
	5) Baisse des rendements agricoles, pourcentage annuel	F	N	N
Vulnérabilité inhérente	1) Profondeur moyenne de la nappe phréatique, cm	F	N	N
	2) Qualité de l'eau d'irrigation	F	N	N
	3) Physiographie, forme de relief	T, F	T, N	N
	4) Drainage général	T, F	SP, N	N
	5) Drainage interne	F	N	N
	6) Pratiques d'aménagement des sols et système de drainage	F	N	N
	7) Valeur d'étalonnage de la salinisation potentielle	M	M	M

Tableau 12 TYPE DE RESOLUTION UTILISE POUR CARTOGRAPHIER L'ENCROUTEMENT ET LE COMPACTAGE DU SOL (DEGRE)

PARAMETRES D'EVALUATION	TYPE DE RESOLUTION UTILISE AUX DIFFERENTES ECHELLES CARTOGRAPHIQUES		
	1/10 000 à 1/50 000	1/100 000 à 1/250 000	1/1 M à 1/2,5 M
Accumulation calcique et forme de cimentation (épaisseur en cm)	F, LP	SP, N	SI, N
Accumulation gypsique et forme de cimentation (épaisseur en cm)	F, LP	SP, N	SI, N
Accumulation de silice et forme de cimentation (épaisseur en cm)	F, A, LP	SP, N	SI, N

Tableau 13 TYPE DE RESOLUTION UTILISE POUR CARTOGRAPHIER LA REDUCTION DE LA TENEUR EN MATIERE ORGANIQUE

CARACTERISTIQUES DE LA DESERTIFICATION	TYPE DE RESOLUTION UTILISE AUX DIFFERENTES ECHELLES CARTOGRAPHIQUES		
	1/10 000 à 1/50 000	1/100 000 à 1/250 000	1/1 M à 1/2,5 M
Degré	A, F	N	N
Vitesse	A	N	N

EXCES DE SUBSTANCES TOXIQUES

Pour identifier la présence de déchets urbains, industriels, radioactifs ou pétroliers autour des villes, des zones industrielles ou des mines, il faut disposer d'observations de terrain et de données analytiques, à différentes échelles.

5.3 COMPILATION DES CARTES

Comme nous l'avons déjà dit, les cartes de la désertification doivent faire apparaître les caractéristiques, processus et classes de désertification. Les méthodes appliquées pour l'établissement de ces cartes sont décrites dans les paragraphes qui suivent.

5.3.1 Pour cartographier le degré de désertification

Selon l'échelle cartographique utilisée, on peut se servir, pour cartographier le degré de désertification, des éléments ci-après: photographies aériennes, images de satellites, cartes pédologiques et phyto-écologiques, ou toutes autres cartes contenant des renseignements concernant les processus de désertification (par exemple des données sur la géomorphologie, la géologie, l'hydrogéologie, l'utilisation des terres, etc.). Les cartes thématiques peuvent aussi servir de fond pour la carte de la désertification.

Les principaux éléments à prendre en considération quand on établit une carte du degré de désertification par processus dominants sont les suivants:

i. Salinisation

Superficie endommagée par des sels solubles; degré de salinité et/ou d'alcalinité du sol; baisse des rendements agricoles imputable à la salinité; et groupements floristiques indiquant la présence de sels dans le sol ou dans l'eau souterraine.

ii. Erosion éolienne

Superficie recouverte par des nappes, des monticules et des dunes de sable; superficie recouverte de gravier; baisse des rendements agricoles imputable à l'érosion éolienne; groupements floristiques indiquant des accumulations de sable par le vent.

iii. Erosion hydraulique

Etat de surface; apparition du sous-sol; superficie endommagée par des ravines (incisions), groupements floristiques caractéristiques des sols squelettiques.

iv. Dégradation du couvert végétal

Etat des parcours; voûte foliacée; biomasse.

v. Encroûtement et compactage du sol

Présence, à proximité de la surface, de couches de cimentation dues à une accumulation de calcium, de gypse, de fer et de silice, et groupements floristiques indiquant la présence de telles couches de cimentation dans le sol.

Zones désertiques

La carte de la désertification doit comporter une délimitation des zones actuellement désertiques. Pour cela, on tiendra compte des caractéristiques ci-après: présence d'affleurements rocheux, pavages désertiques, dunes actives et terrains plats salés dépourvus de végétation.

Pour cartographier le degré de désertification, on préconise l'adoption des principes ci-après:

i. L'ordre de priorité des processus en cause est le suivant:

salinisation > érosion éolienne > érosion hydraulique > encroûtement et compactage > dégradation du couvert végétal. La diminution de la teneur en matière organique n'a pas besoin d'être cartographiée, sauf dans des cas précis,

mais les informations disponibles à ce sujet doivent être exploitées dans la notice explicative. Les zones sujettes à un "excès de substances toxiques" doivent être représentées sur les cartes au moyen de symboles appropriés.

- ii. Les processus dominants sont indiqués au moyen de lettres capitales: S = salinisation; E = érosion éolienne; W = érosion hydraulique; C = encroûtement et compactage; V = dégradation du couvert végétal.

5.3.2 Pour cartographier la vitesse de désertification

Il est recommandé d'utiliser des observations et mesures directes pour évaluer et cartographier la vitesse de désertification. Les critères à adopter suivant le processus considéré sont les suivants:

i. Salinisation

Vitesse d'extension des superficies endommagées par le sel ou augmentation de la salinité, de ESP et de la concentration de bore dans les sols; ainsi que diminution de la production agricole.

ii. Erosion éolienne

Extension de la superficie touchée par des déplacements de sable; perte de sol et diminution de la production annuelle de biomasse.

iii. Erosion hydraulique

Extension de la superficie présentant des couches profondes mises à nu ou de la superficie endommagée par des ravines, perte de sol et accumulation de sédiments dans les barrages; ou perte annuelle du volume d'entreposage et diminution de la production annuelle de biomasse.

iv. Dégradation du couvert végétal

Baisse de la production de biomasse; augmentation de la proportion de broussailles par rapport au couvert herbacé; diminution de la superficie boisée; tendance du couvert des parcours.

v. Encroûtement et compactage du sol

La vitesse de ces phénomènes ne peut être évaluée.

5.3.3 Pour cartographier la vulnérabilité inhérente à la désertification

Pour évaluer la vulnérabilité à la désertification, il faut examiner la fragilité naturelle de la terre. Cela peut se faire soit par l'observation directe soit par la méthode paramétrique.

Les principaux éléments à prendre en considération, dans le cas de l'observation directe, sont les suivants:

Salinisation: profondeur de la nappe phréatique et qualité de l'eau souterraine.
Physiographie, drainage et pratiques d'aménagement des sols;

Erosion
éolienne: catégories de vulnérabilité à l'érosion éolienne; vitesse annuelle moyenne du vent et fréquence d'activité du vent;

Erosion
hydraulique: précipitations; pente et texture du sol;

Dégradation
du couvert
végétal: conditions climatiques dans lesquelles se déroule la productivité biologique et possibilités de remise en état.

Dans les cas où les mesures de la désertification par processus sont très insuffisantes et inadaptées, il n'y a pas d'autre solution que la méthode paramétrique (33).

D'une manière générale, l'estimation de la vulnérabilité inhérente à la salinisation, à l'érosion éolienne et à l'érosion hydraulique par la méthode paramétrique procède comme suit:

- Salinisation: potentiel de salinisation du sol en fonction du rapport $\frac{P}{PET}$;
quantité maximale de sels dans les horizons superficiels
de Solonchaks: remontée capillaire maximum par jour en fonction
de la texture du sol;
- Erosion
éolienne: déplacement du sable en fonction des classes de vitesse du vent,
de la topographie, du nombre de jours humides et de l'état de la
surface du sol.
- Erosion
hydraulique: érosion mécanique par l'eau avec le couvert végétatif actuel,
compte tenu des précipitations annuelles, du coefficient de
fluctuation des précipitations mensuelles et annuelles, des
classes de texture et de pente du sol.

5.3.4 Pour cartographier le risque de désertification

Comme nous l'avons dit précédemment, le risque de désertification traduit la vulnérabilité de la terre aux mécanismes de la désertification et aux activités humaines. Il résulte de l'action combinée du degré et de la vitesse des processus et de la vulnérabilité inhérente à la désertification (y compris de la pression exercée sur l'environnement par les populations humaines et animales). Cet effet peut être calculé en additionnant les valeurs d'étalonnage attribuées à chacun de ces éléments (voir 5.5).

5.4 CARTOGRAPHIE DU DEGRE, DE LA VITESSE DE DESERTIFICATION ET DE LA VULNERABILITE INHERENTE A LA DESERTIFICATION

Il est relativement simple et facile d'établir des cartes distinctes pour le degré, la vitesse des processus et la vulnérabilité inhérente à la désertification. Il est possible d'y représenter davantage de détails concernant les différents processus qui conduisent à la désertification et de mettre en relief les éléments importants. C'est la méthode qui a été suggérée dans le cadre de la méthodologie provisoire (10) et presque tous les pays qui ont participé à l'expérimentation de la méthode ont présenté des cartes de ce type.

Pour établir ces cartes, il est recommandé d'appliquer les principes ci-après:

- Les processus déterminants (couvert végétal, érosion hydraulique, érosion éolienne, salinisation) doivent être représentés par des lettres capitales (V, W, E, S, C). Ces lettres peuvent figurer soit isolément soit en combinaison, selon le nombre de processus en cause.
- Les classes de désertification correspondant à chaque processus doivent être indiquées par un chiffre allant de 1 à 4 (correspondant aux catégories: légère, modérée, grave, très grave) mis après chaque lettre capitale appropriée.
- Quand il s'agit de combinaisons complexes de processus, on emploiera la couleur pour les classes les plus élevées uniquement.

Sur ce genre de cartes, l'intensité des processus est donc exprimée directement par le chiffre correspondant à la classe. Par exemple, sur la carte montrant le degré de désertification, l'expression V4 - E2 signifiera que nous sommes en présence d'une très grave dégradation du couvert végétal et d'une érosion éolienne modérée.

5.5 CARTOGRAPHIE DU RISQUE DE DESERTIFICATION

Il s'agit ici de montrer le risque de désertification auquel est exposée la zone considérée. Ce risque peut être exprimé par un indice qui combine le degré, la vitesse et la vulnérabilité inhérente à la désertification, par processus et par activité humaine. La carte des risques de désertification est, en principe, le produit final de l'évaluation et doit traduire la dégradation multifactorielle de l'environnement.

5.5.1 Etablissement d'un indice du risque de désertification

Pour établir l'indice du risque de désertification, on procédera comme suit:

- choix de valeurs quantitatives pour les différents processus (voir tableau 14).
- établissement de chiffres moyens correspondant au degré, à la vitesse, à la vulnérabilité inhérente, à la pression démographique, à la pression animale (voir tableau 15).
- attribution d'une valeur d'étalonnage à chacun des éléments concernant le degré, la vitesse, la vulnérabilité inhérente, la pression démographique, la pression animale sur l'environnement (voir tableau 16).
- modification de la valeur d'étalonnage relative à la vulnérabilité inhérente en fonction des processus considérés: pour cela, multiplier la valeur obtenue par les coefficients figurant dans le tableau 17.
- établissement de l'indice du risque de désertification récapitulant les valeurs d'étalonnage attribuées au degré, à la vitesse, au processus, à la vulnérabilité inhérente modifiée, à la pression humaine et animale (voir tableau 18).

Exemple de calcul

<u>Caractéristiques de la zone considérée</u>	<u>Valeur d'étalonnage</u>
Degré de désertification modéré	5,0
Forte vitesse de désertification	11,0
Vulnérabilité inhérente modérée	6,0
Pression animale très forte	20,0
Pression démographique forte	8,0
Total:	50,0

Processus déterminant: érosion éolienne

Modification de la vulnérabilité inhérente en fonction du processus: $6 \times 1,5 = 9$

Indice du risque de désertification: $53 (50 + (9 - 6))$

Risque de désertification: grave

Les éléments à porter sur la carte doivent être présentés par ordre d'importance décroissante, comme suit:

- classes de risques de désertification et zones désertiques - par des couleurs
- pression humaine et animale - par une ligne plus épaisse, des chiffres romains ou des lettres capitales
- processus de désertification - par des lettres capitales ou des signes spécifiques
- classes de degré de désertification - par des chiffres
- classes de vitesse de désertification et de vulnérabilité inhérente - par des lettres minuscules.
- autres renseignements (processus secondaires, types de végétation, etc.) par des signes spécifiques.

Les concepts décrits ci-dessus concernant la cartographie du risque de désertification, et qui sont actuellement appliqués pour préparer la carte mondiale de la désertification, valent aussi pour l'établissement de cartes plus grandes, à l'échelle d'un pays ou d'une région.

Tableau 14 VALEURS QUANTITATIVES DES CLASSES DE DESERTIFICATION PAR CARACTERISTIQUES ET PAR PROCESSUS

Classes	Caractéristiques	Salinisation	Erosion éolienne	Erosion hydraulique	Dégradation de la végétation
Légère	Degré et vitesse vulnérabilité inhérente	1,5 0,6	1,5 5	1,5 5,0	1,5 3
Modérée	Degré et vitesse vulnérabilité inhérente	2,5 1,5	2,5 10,0	2,5 10,0	2,5 4,0
Grave	Degré et vitesse vulnérabilité inhérente	5,5 8,7	5,5 20,0	5,5 20,0	5,5 7,5
Très grave	Degré et vitesse vulnérabilité inhérente	7,5 10	7,5 25	7,5 25	7,5 10,0

Note: Pour le degré, on prend le 1/10 de ces valeurs.

Tableau 15 VALEUR QUANTITATIVE MOYENNE

Classes	Degré	Vitesse	Vulnérabilité inhérente	Pression animale	Pression démographique
Légère	15	1,5	3,4	43	43
Modérée	25	2,5	6,4	83	83
Grave	55	5,5	14,0	150	150
Très grave	75	7,5	18,8	200	200

Tableau 16 INDICE DU RISQUE DE DESERTIFICATION

Classes	VALEUR D'ETALONNAGE					Indice du risque de désertification
	Degré	Vitesse	Vulnérabilité inhérente	Pression animale	Pression* démographique	
Légère	3,0	3,0	3,0	4	2	< 21
Modérée	5,0	5,0	6,0	8	4	21 - 43
Grave	11,0	11,0	14,0	15	8	44 - 64
Très grave	15,0	15,0	19,0	20	10	> 64

* Moitié de la pression animale

Tableau 17

COEFFICIENT A UTILISER POUR MODIFIER LA VALEUR DE LA VULNERABILITE INHERENTE

Processus	Limite de classe			
	Légère	Modérée	Grave	Très grave
Salinisation	0,2	0,2	0,6	0,5
Dégradation de la végétation	0,9	0,6	0,5	0,5
Erosion hydraulique et éolienne	1,5	1,5	1,4	1,3

5.6 SURVEILLANCE

La méthode suggérée pour évaluer la désertification peut être utilisée à des fins de surveillance. Certaines des méthodes d'évaluation présentées ne conviennent que pour des mesures au sol; d'autres par contre se prêtent à des estimations sur photographies aériennes, images de satellites, ou à l'emploi de méthodes paramétriques ou mathématiques et à l'interprétation des informations disponibles. Pour établir les vitesses actuelles de désertification, il faut suivre l'évolution des conditions du terrain à deux ou à plusieurs moments différents.

Tableau 1

ANNEXE I.A

PAYS ET INSTITUTIONS QUI ONT PARTICIPE A L'EXPERIMENTATION DE LA METHODE CONCERNANT LA DESERTIFICATION

PAYS ET INSTITUTIONS (1)	SPECIALISTES CHARGES D'EXPERIMENTER LA METHODE (2)	SPECIALISTES AYANT PRETE LEUR CONCOURS A L'EXPERIMENTATION (3)	PERSONNES AYANT PARTICIPE A L'EXAMEN DES EXPERIENCES (4)
MEXIQUE			
Centro de Edafología, Colegio de Postgraduados, Chapingo	Dr. M.A. Carduño Centro de Edafología	Mr. C.A. Ortiz Sororio Investigador CEDAF Mr. J.W.E. Berg Wolf Investigador del Dpto de Suelos Mr. A. Corona Vargas Investigador CEDAF Mr. José Luis Oropeza Mata Investigador CEDAF	Dr. E. Casas Diaz Director General Colegio de Postgraduados, Chapingo Prof. H. Cuanalo Clasificación de Suelos Mr. A.V. Loera Jefe del Dpto de Salinidad y Drenaje Mr. J.N. Rodriguez
TEXAS			
International Centre for Arid and Semi-Arid Studies (ICASAS) Texas Tech. University	Prof. H.E. Dregne Director, ICASA		
PERU			
Oficina Nacional de Estudios en Recursos Naturales (ONERN)	Dr. C. Zamora Director Técnico, ONERN	Mr. L. Masson Supervisor de Estudios, ONERN Mr. R.B. Enriquez Supervisor de Suelos y Fisiografía ONERN	Mr. E. Armas Autero Director General, ONERN FAO Office
CHILE			
Escuela de Ciencias Forestales Universidad de Santiago de Chile	Prof. E. Caviedes Dpto de Producción Animal	Prof. Mario Peralba Pedólogo, Conservación de suelos Prof. Ana Maria Weyman Prof. Fernando Santibanez	Mr. M. Etienne Experto, Cooperación técnica CEPE/CNRS de Montpellier Mr. Patricio Azocar C. Centro Estudios Zonas Aridas Universidad de Chile

Tableau 1 (suite)

ANNEXE I.A (suite)

(1)	(2)	(3)	(4)
KENYA			
National Environment Secretariat NES*	Mr. Bernard N.U. Head, National Resources Management Division NES	Mr. Ondenge G. NES	Mr. Njenga M.I. Director, National Environment Secretariat Mr. Mutua-Kihu Assistant Director, NES Mr. Richard Ford Chief, Resource Advisor, NES
*/ Le NES a été remplacé par le Kenya Soil Survey et l'expérimentation de la méthodologie a été confiée à M. Nuchema			
SOUDAN			
Desertification Control Coordination and Monitoring Unit (DECARP)	Mr. Farouk H.A. National Coordinator	Mr. Moawia M.M. Head, Socio-Economic Study Section Mr. Khogali S. Head, Soil Conservation and Laboratories Mr. Mustafa M.S. Director, Range Management Section, Min. Agric. Irrigation	Mr. Tog Fadlalla Minister of Agriculture Kordofan region Mr. Gumaa G.S. National Council for Research Agric. Research Council Mr. Osman A. Agric. Research Council Prof. El Khalifa M.D. Director Institute of Environmental Studies Mr. Yagoub A.M. Geographer Institute of Environmental Studies
HAUTE-VOLTA			
Ministère du développement rural Service national des sols	M. L. Bado Chef de Service	M. F. Ouedraogo Chef, Section Cartographie M. F.R. Lombardi FAO Expert	

Tableau 1 (suite)

ANNEXE I.A (suite)

(1)	(2)	(3)	(4)
TUNISIE			
Direction des ressources en eau et en sols (DRES) Ministère de l'agriculture	M. Ahmed Souissi Ingénieur en Chef	M. Hentati A. Spécialiste de géomorphologie M. Mtimet A. Pédologue	M. Kouadja A. Directeur, DRES M. Khalfallah S. Chargé des recherches, DRES M. Bonvallot I. Spécialiste de géomorphologie de l'ORSTOM M. Novikoff G. Ecologiste M. Chikhaoui A. Direction des forêts M. Hizem N. Direction des forêts CES
PAKISTAN			
Soil Survey of Pakistan	Mr. M. Rafiq Director Basic Soil Investigation	Mr. M.A. Tahir Research Officer	Mr. M. Bashir Chandhri Director General Soil Survey of Pakistan Mr. S.B. Hasan Director, Irrigation, Drainage and Flood Control Research Council

Tableau 1 (suite)

ANNEXE I.A (suite)

(1)	(2)	(3)	(4)
SYRIE			
Centre arabe pour l'étude des terres arides et non irriguées (ACSAD)	Dr. A. Osman Director Soil Division	Mr. Nahib El Khabib Soil Classification	Mr. M. Shoorbagy, Head of Range Management Section Mr. M. Nazir Sankary, Head, Range and Arid Zone Ecology Research Unit Mr. Fario-Maiki, Statistical Div. Mr. Y. El-Kawasma, Head, Agroclimatic section Mr. Nabil Rafail, Head of Groundwater Department, Water Resources Division Mr. Ahmad A. Kilani, Director Water Resources Studies, Directorate, Natural Resources Authority, Amman, Jordan
R.S.S. du TURKMENISTAN			
Académie des sciences de la R.S.S. turkmène Institut des déserts	A.G. Babaev Président de l'Académie des sciences de la R.S.S. turkmène M. N.G. Kharin Chef de laboratoire (Télé-détection) Institut des déserts	M. H.S. Orlosky Chef de laboratoire (climatologie) Institut des déserts Prof. V.N. Nicolaev Chef de laboratoire (Ressources nutritionnelles) Institut des déserts M. I.P. Svinteev Chercheur M. C.A. Sanin Chef de laboratoire (physico-chimie) Institut des déserts M. M.V. Kolatcin Chef du Département de l'information et des relations avec l'étranger Mme T.A. Babaeva Laboratoire de télé-détection	Mme N.T. Nitchaeva Consultant Académie des sciences de la R.S.S. turkmène M. A. Batirov Directeur adjoint Institut des déserts Prof. O. Nurgel' dyev M. B.T. Kirsta M. A. Babaev M. L.G. Dobrin Dr. K. Redzhepbaev Dr. N.P. Svintsov

Tableau 1 (suite)

(1)	(2)	(3)	(4)
AUSTRALIE			
School of Geography University of New South Wales	Mr. C.J. Chartres Professor School of Geography	Dr. J.A. Mabbutt Professor School of Geography	
Soil Conservation Service of N.S.W.		Mr. R.J. Stanley Soil Conservation Service	
		Mr. P. Walker Soil Conservation Service	
		Dr. D. Johnson Soil Conservation Service	
		Mr. J. Owen Cartographer, University of N.S.W.	

Tableau 2

ANNEXE I.B

CARACTERISTIQUES PHYSIQUES ET BIOCHIMIQUES DES REGIONS COMPRISES DANS L'EXPERIMENTATION

PAYS	REGIONS COMPRISES DANS L'EXPERIMENTATION (2)	PRECIPITATIONS ANNUELLES MOYENNES, mm (3)	TEMPERATURE MOYENNE °C (4)	CULTURES PRINCIPALES (5)	SOLS 1/ (6)	VEGETATION (7)
(1)						
MEXIQUE	Zone des néo-volcans Texcoco-Tizayuca Chapingo	530 - 620	18 - 25			
ETATS-UNIS (TEXAS)	Comté de Gaines Texas occidental	417	16 17 - 23	coton, sorgho coton, sorgho	Lk, Kk, Kl, Re Rc, Yk, Lk, Kh, V	Prosopis, Larrea, Quercus
HAUTE-VOLTA	Dori-Oursi	500	22	sorgho, mils	J, Bf, Lc, S	Acacia, Adansonia
SOUDAN	Kordofan	50 - 900	26	sorgho, mils, maïs	Sables, pédi- plaine sableuse et argileuse	Acacia, Combretum Albizia, Terminolia
TUNISIE	Gour el Agab Dar Dhaoui	300 90 - 190	20 19 - 21	olivier, blé, orge olivier, orge	Bk, Xh, I, E, Lc Yx, Yy, I, X, Z	Aristida, Artemisia
SYRIE	Hamad Bassin de l'Euphrate	100 170		pâturages coton, blé haricot de Lima (phaseolus lunatus)	Yk, Yy, Yh, Z, Re J, Z, Yy	Artemisia, Poa, Achillea
PAKISTAN	Thal Faisalabad	170 - 415 347	24,5 24,5	céréales, mou- tarde, orge, blé canne à sucre, maïs, riz, mou- tarde, coton, cé- réales, fourrages	crêtes sableuses Yh, Z	Losiurus, Pennisetum Colligenum Aristida Acacia, Salvadora Tamarix
1/	Sols: B - Cambisols; Bk - calciques; Bf - ferrallitiques J - Fluvisols R - Régosols; Rc - calcariques; Re - eutriques X - xérosols; Kh - hapliques E - Rendzines K - Kastanozems; Kh - hapliques; Kl - luviques S - Solonetz Y - Yermosols; Yh - hapliques; Yk - calciques; Yy - gypsiques I - Lithosols L - Luvisols; Lc - chromiques; Lk - calciques V - Vertisols Z - Solonchaks					

Tableau 2 (suite)

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
R.S.S. du TURKEMISTAN	Ensemble du pays	36 - 298	11 - 13	coton, forêts, céréales, cultures maraichères, arbres fruitiers, raisins	Siérozems sols sableux takys et sols analogues Solonchaks	Haloxylon Salsola Ephedra Calligonum Artemesia etc.
AUSTRALIE	Partie ouest de la Nouvelle-Galles du sud	214 - 382	17 - 21		terre rouge et calcaire, sols désér- tiques et sables rouges	forêt claire steppe broussailleuse, arbustive, pâturages

Tableau 3

PROCESSUS ETUDIÉS ET CARTES PRESENTÉES

ANNEXE I.C

PAYS (1)	ZONES D'EXPERIMENTATION (2)	SUPERFICIE EN HECTARES (3)	PROCESSUS ETUDIÉS (4)	CARTES PRESENTÉES	
				TYPE DE CARTE (5)	ECHELLE
MEXIQUE	Zone des néovolcans	3 000 000	V, W, S, C	Carte des terres par sous-régions	1:2 000 000
				Mosaïque d'images de satellite	1:1 000 000
				Etat actuel de dégradation du couvert végétal	1:1 000 000
				Degré actuel de la désertification due à l'érosion hydrique	1:1 000 000
	Texaco-Tizayuca	180 000	V, W, S, C	due à la salinisation	1:1 000 000
				Carte des ensembles (land systems)	1: 250 000
				Vitesse de la désertification	1: 250 000
				Désertification actuelle (par processus)	1: 250 000
	Région de Chapingo	40 000	V, W, S, C	Risque de désertification	1: 250 000
				Carte du faciès des terres	1: 40 000
				Degré actuel de désertification, par processus	1: 40 000
				Vitesse actuelle de la désertification	1: 40 000
ETATS-UNIS (TEXAS)	Comté de Gaines	383 300	E, V	Risque de désertification	1: 40 000
				Carte de localisation	1: 20 000
	Texas occidental		V, W, E, S, C	Carte de localisation	1: 200 000
HAUTE-VOLTA	Dori-Oursi	1 190 000	V, E, W	Carte de localisation	1:2 000 000
				Carte géologique	1: 200 000
				Carte pédologique	1: 200 000
				Carte d'occupation des sols 1956	1: 200 000
				Carte des variations notables de l'occupation des sols pour 1981	1: 200 000
				Assemblage semi-contrôlé des prises de vue aériennes de 1981	1: 200 000

Tableau 3

ANNEXE I.C (suite)

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
SOUDAN	Kordofan	6 900 000	V, E, C	Carte géomorphologique et pédologique 1:1 000 000 Carte de la végétation 1:1 000 000 Carte de l'occupation actuelle des terres (1958) 1:1 000 000 Saison des pluies (isohyètes des moyennes) 1:1 000 000 Population au km² 1:1 000 000 Zones et densités de popu- lation 1:1 000 000 Déplacements des popu- lations nomades 1:1 000 000 Carte géologique 1:1 000 000 Répartition dominante quantitative des ressources en eau 1:1 000 000 Points d'eau placés sous observation 1:1 000 000 Carte de la pression exercée sur les pâturages (1965) 1:1 000 000
TUNISIE	Gour el Agab	4 062	W, V, C	Etat actuel de la désér- tification 1: 29 000 Occupation du sol en 1949 1: 32 000 Occupation du sol en 1973 1: 29 000 Mise en culture entre 1949 et 1973 1: 32 000 Répartition des habitations en 1973 1: 29 000 Répartition des habitations en 1949 1: 32 000

Tableau 3

ANNEXE I.C (suite)

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
TUNISIE (suite)	Dar Dhaoui (Médénine)	576 000	E,V,S, C	Carte de la conductivité 1964 1: 15 000 Carte de la conductivité 1982 1: 15 000 Carte de synthèse (nappe + conductivité) 1: 15 000 Comparaison entre deux photos (1948 et 1967) Etat actuel de la désertification - Tunisie méridionale - Région de Médénine 1: 3 500 000 1: 200 000 Evaluation de la désertification dans l'oasis de Gabès 1: 15 000
SYRIE	Hamad	16 000 000	V,W,E	Sueda: degré de désertification 1: 20 000 vitesse de désertification 1: 20 000 risque de désertification 1: 20 000 associations de sols 1: 20 000 Baliks: degré de désertification 1: 45 000 vitesse de désertification 1: 45 000 risque de désertification 1: 45 000 associations de sols 1: 45 000
PAKISTAN	Zone de Thal	1 930 000	V,W,S,C	Cartes de la désertification: degré actuel 1: 500 000 vitesse actuelle 1: 500 000 risque projeté 1: 500 000 Situation actuelle, établie d'après les images de satellite (1980) 1: 1 000 000 Précipitations annuelles 1: 5 000 000 Carte de la salinité superficielle 1961 1: 250 000 Carte de la salinité superficielle 1978 1: 250 000

Tableau 3 (suite)

ANNEXE I.C (suite)

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
R.S.S. du TURKMENISTAN	Ensemble du pays	48 800 000	V,W,E,S	Etat actuel de la désertification (degré) 1: 1 500 000 Tendances de la désertification (vitesse) 1: 1 500 000 Carte de la désertification (grande échelle) Température moyenne mensuelle de l'air (juillet) Température moyenne mensuelle de l'air (janvier) Moyennes des précipitations annuelles cumulées et isohyètes Nombre moyen de jours de tempêtes de poussière dans l'année Nombre moyen d'heures de tempêtes de poussière dans l'année
AUSTRALIE	Partie occidentale de la Nouvelle-Galles du Sud	530 000 000	V,E,W	Tara: degré de désertification 1: 50 000 risque de désertification 1: 50 000 Yarambie: risque de désertification 1: 50 000 Pindera Downs: degré de désertification vitesse de désertification risque de désertification Milporinka: degré de désertification 1: 250 000 vitesse de désertification 1: 250 000 risque de désertification 1: 250 000 séries d'ensembles (land systems) 1: 250 000

Tableau 3 (suite)

ANNEXE I.C (suite)

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
AUSTRALIE (suite)				Nymagee: degré de désertification vitesse de désertification Degré potentiel d'invasion par la brousaille de l'ensemble cor- respondant à l'angle nord-ouest de la Nouvelle-Galles du Sud
*/ du sol	V = dégradation du couvert végétal E = érosion éolienne.	W = érosion hydraulique	S = salinisation	C = Encroûtement et compactage

Tableau 4

CRITERES RETENUS POUR EVALUER LA DESERTIFICATION EN AUSTRALIE, EN SYRIE ET AU MEXIQUE

ANNEXE I.D

Degré de désertification	Critères concernant			Critères concernant la salinisation
	la végétation	Critères concernant l'érosion éolienne	Critères concernant l'érosion hydraulique	
Australie	Dégradation de la voûte fo- liacée, pourcentage de la productivité potentielle Invasion de la broussaille ligneuse Biomasse Production de fourrage Biomasse/pluviosité	Perte de sol superficiel Type d'érosion Modelés éoliens	Type d'érosion Perte de sol superficiel Superficie endommagée par le ravinement Dépôts de sol Séquences des horizons Epaisseur des horizons Rendements des cultures (Nymagee seulement) Baisse de teneur en matière or- ganique (Nymagee seulement)	
Syrie	Couvert végétal Biomasse Production	Superficie occupée par des dunes modelés éoliens Concentration de graviers et de pierres à la surface du sol	Densité des rigoles et ravines Etat de la surface Type d'érosion Profondeur des ravines Topographie Superficie endommagée par le ravinement Séquence des horizons Epaisseur du sol Rendements des cultures	ECe et ESP rendements Formations nouvelles Accumulation de sels
Mexique	Pourcentage de la voûte de plantes pérennes		Superficie endommagée par le ravinement Epaisseur du sol Topographie	Superficie endommagée par le sel (pourcentage) ECe (mmhos) ESP (pourcentage)

Tableau 4 (suite)

ANNEXE I.D (suite)

	Critères concernant la végétation	Critères concernant l'érosion éolienne	Critères concernant l'érosion hydraulique	Critères concernant la salinisation
<u>Vitesse de la désertification</u>				
Australie	Tendance générale des par- cours Tendance générale des forêts (Nymagee seulement) Tendance générale des cultures céréalières (Nymagee seulement) Invasion de la broussaille	Liste donnée par la FAO, Perte de sol 1981	Enlèvements/dépôts	
Syrie	Tendance des parcours	Bourrasques de sable Taux d'extension de la superficie endommagée Epaisseur de sol transporté		Augmentation de EC Augmentation de ESP Baisse des rendements Sels Augmentation de EC en mmhos/an
Mexique	Accélération de la dé- gradation, pourcentage annuel Rendements céréaliers/ tendance générale/an Tendance générale des par- cours au cours des trois dernières années		Perte de sol	
<u>Risque de désertification</u>				
Australie	Extension de la superficie cultivable en régime pluvial (Nymagee seulement) Production animale Surpâturage Taux annuel de croissance par par unité Indice climatique applicable à la dégradation biologique Potentialiel de remise en état	Erosion Fréquence des tempêtes e vent Nombre de jours de tempêtes de vent/an	Pente Pluviosité Poids de sol perdu Coefficient pluvio- métrique Vulnérabilité du sol à l'érosion Facteur topographique Facteur biotique Indice d'érosivité	

Tableau 4 (suite)

ANNEXE I.D (suite)

	Critères concernant la végétation	Critères concernant l'érosion éolienne	Critères concernant l'érosion hydraulique	Critères concernant la salinisation
<u>Risque de désertification</u>				
Syrie	Surpâturage Unités animales Croissance démographique Capacité de charge animale	Indice d'érosivité du vent Fréquence des tempêtes de vent Nombre de jours Vitesse max. du vent	Pente Précipitations Coefficient pluviométrique Vulnérabilité du sol à l'érosion Facteur topographique Indice d'érosivité de la pluie	Indice climatique Mois secs Profondeur de la nappe phréatique Accumulation de sels Qualité de l'eau d'irrigation EC
Mexique	Indice climatique appli- cable à la dégradation biologique Population humaine Unités animales		Poids de sol Indice d'érosivité de la pluie	Indice climatique appli- cable à la salinisation Profondeur moyenne de l'eau souterraine Nombre de mois secs

Tableau 5

CRITERES RETENUS POUR EVALUER LA DESERTIFICATION DANS LA R.S.S. DE TURKMENISTAN ANNEXE I.D
 a) Critères retenus pour évaluer le degré d'érosion éolienne dans le désert de sable (suite)

Critères	Classes de désertification				
	Niveau zéro	légère	modérée	grave	très grave
<u>Situation actuelle</u>	Creux de dépression d'origine éolienne sans escarpements	Creux de dépression d'origine éolienne, avec escarpements, occupant 25 pour cent ou moins de 25 pour cent de la superficie	Creux de dépression d'origine éolienne, occupant de 25 à 50 pour cent de la superficie; rides sur des surfaces dénudées	Versements de glissement sur sables déplacés	Aucune végétation particules de sables enlevées sur toute la surface
<u>Vitesse actuelle</u>					
1. Couvert gazonné, pourcentage	50	30 - 50	10 - 30	0 - 10	-
2. Voûte foliacée combinant des arbustes (en numérateur) et des plantes herbacées (en dénominateur), pourcentage	$\frac{50}{80}$	$\frac{20 - 30}{40 - 80}$	$\frac{5 - 20}{10 - 40}$	$\frac{1 - 5}{5 - 10}$	$\frac{1}{5}$
<u>Risque de désertification</u>	Formes de relief	Lignes aérodynamiques perturbées	Arbustes, coupes, surpâturage	Perturbation du gazon	Préparation des terres effectuée sans stabilisation du sable

Tableau 5 (suite)

b) Critères retenus pour évaluer l'érosion hydraulique

ANNEXE I.D (suite)

Critères (1)	Classes de désertification			
	légère (2)	modérée (3)	grave (4)	très grave (5)
<u>Situation actuelle</u>				
1. Ravines, sillons et entailles au kilomètre (perpendiculairement à la pente)	Ravines, sillons < 5	Ravines, sillons 6 - 10	Sillons, entailles > 10	Sillons
2. Type de surface	Pierres, graviers roulés, roches exposées, sur 10 pour cent ou moins de 10 pour cent de la superficie	Pierres, graviers roulés, roches exposées, sur 10 à 30 pour cent de la superficie	Pierres, graviers roulés, roches exposées, sur 30 à 50 pour cent de la superficie	Pierres, graviers roulés, roches exposées, sur 50 pour cent ou plus de 50 pour cent de la superficie
3. Types d'érosion hydraulique	Lessivage par les crues, sillons et ravines isolés	Lessivage par les crues sillons et ravines isolés sur 1 km, entailles commençant à se former	Lessivage par les crues, sillons et ravines isolés (plus de 10 au kilomètre) entailles isolées	Sols lessivés sur plus de 50 pour cent de la superficie, plus de 10 sillons et ravines au kilomètre
4. Profondeur des sillons et ravines	Dans l'horizon A	Dans les horizons A et B	Dans les horizons A, B et C	Occupant tout le profil
5. Relief	Onduleux, collines basses rares; ou ravines; arbres; arbustes et herbes pérennes occupant 60 pour cent ou plus de la superficie	Onduleux, collines et sillons, entailles; arbres, arbustes et herbes pérennes occupant 30 à 60 pour cent de la superficie	Onduleux soulevé, pentes abruptes, sillons, entailles, arbres, arbustes occupant 10 à 30 pour cent de la superficie	Montagneux, soulevé; entailles nombreuses; les arbres, arbustes et herbes pérennes occupent 10 pour cent, ou moins de 10 pour cent de la superficie

Tableau 5 (suite)

ANNEXE I.D (suite)

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
Couches du sol et du sous-sol, en pourcentage	<25	25 - 50	50 - 75	>75
Superficie atteinte par des sillons et des entailles, en pourcentage de la superficie totale	<10	10 - 30	30 - 50	>50
Séquence des horizons	ABC ou AC	BC	C	C ou D
Epaisseur des horizons A + B, en pourcentage du sol non érodé	>90	50 - 90	10 - 50	<10
Rendement: en pourcentage du rendement obtenu sur des sols non érodables	100 - 90	90 - 70	70 - 40	40
<u>Vitesse de désertification</u>				
Densité des voies d'eau, km/km ²	<0,2	0,2 - 0,5	0,5 - 1,0	>1,0
Erosion hydraulique	Sillons isolés, de 0,2 à 0,5 m de profondeur	6 à 10 sillons au km, 1-2 m de profondeur	Plus de 10 sillons ou entailles au km, souvent plus de 2 m de profondeur	Plus de 10 sillons et entailles de plus de 5 m de profondeur
Couverture de sol enlevée (sur de vastes superficies allant de 100 à 1 000 km ² , en Mt/km ² /an)	>50	50 - 100	1 000 - 2 000	>200
Couverture de sol enlevée de petites superficies, de pentes abruptes, de petits bassins de réception, de montagnes, Mt/ha/an	<10	10 - 50	50 - 200	>200
Diminution de hauteur de la couche superficielle, mm/an	<0,50	0,50 - 3,00	3,00 - 10,0	>10,0

Tableau 5 (suite)

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
<u>Risque de désertification</u>				
Raideur des pentes (moyenne pondérée)	<3 - 5°	5 - 15°	15 - 30°	>30°
Gradient moyen de la zone	<2°	2 - 5°	5 - 10°	>30°
Nombre d'averses abondantes (≥ 10 mm de pluie)	0	1	2 - 3	3
Moyenne journalière maximum de pluie par an, mm	<10	10 - 15	15 - 20	>20
Module du ruissellement superficiel maximum (après des averses abondantes) par superficie de 10 km ²	(< 0,5)	(0,5 - 1,5)	(1,5 - 4,0)	(> 4,0)

c) Critères retenus pour l'évaluation des sols salins

Critères (1)	Niveau zéro (2)	Classes de désertification			
		légère (3)	modérée (4)	grave (5)	très grave (6)
Situation actuelle (absence de désertification)					
1. Degrés de salinisation en ce qui concerne					
a) le pourcentage de résidu sec et notamment	0,20	0,21-0,40	0,41-0,60(0,80)	0,61(0,81)-1,00	1,0
Cl	0,001	0,001-0,03(0,06)	0,031(0,061)-0,100	0,101-0,230	0,2
Na	0,022	0,023-0,046	0,047-0,092	0,093-0,184	0,1
b) les sels toxiques					
total	<0,150	<0,28	<0,40	<0,69	0,6
2. Localisation des couches salées 0 - 150 (200) cm	Pas d'accumulation de sels	Salinisation profonde de type Solonchak (au-delà de 80 - 100 cm)	Salinisation de type Solonchak (au-delà de 80 - 60 (80) cm)	Salinisation de type Solonchak (dans la couche 30 cm)	Sur tout le profil

Tableau 5 (suite)

ANNEXE I.D (suite)

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
3. Aspects des sels dans le profil	Pas de salinisation	Les sels ne sont pas observables	Petits points clairs- semés ou taches de sels dans la première moitié de sol sec ou dans des couches argileuses	Points fréquents, revêtement de sels dans la couche 0 - 60 (100) cm), accumulation de sels dans le désert argileux	Sels présents sous forme de points, taches, cristax, nombreux sur tout le profil ou croûte de sel
4. Types de salinisation *	Sulfate, sulfate de chlorure	Sulfate de chlorure, sulfate	Sulfate de chlorure chlorure de sulfate	Chlorure de sulfate et chlorure	Chlorure
5. Minéralisation des eaux souterraines, g/l	<3	<6	<10	<25	<25
6. Baisse de rendement du coton (en pourcentage du niveau zéro)	100%	15	16-40	41-80	80
7. Espèces composant la flore	-	Naloxylon aphyllum, Anabasis salsa, Salsola orientalis	Nitraria schobery Halostachys caspice, Roamuria fruticosa, Salsola gemmascens, Populus pruinosa	Halocnemum strobilaceum, Salicornia herbacea, Tamarix hispida, Limonium suffruticosum	

Tableau 5 (suite)

ANNEXE I.D (suite)

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
<u>Vitesse de désertification</u>					
8. Accumulation saisonnière de sels Mt/ha	<0,10 <15	0,11-0,20 16-30	0,21-0,30 31-45	0,31-0,60 0,46-90	>0,60 (1,00) >90
9. Peuplements cotonniers 1 000 plants à l'hectare	80	80-50	49-30	29-10	10
10. Cotonniers en train de mûrir, ha	120	120-80	79-40	39-20	20
<u>Risque de désertification</u>					
1. Longueur du réseau de drains/collecteurs (C-Dn), pourcentage	100	80	80	50	10
2. Distorsion de la technique agronomique, pourcentage (lessivage, végétation, crues, mandations, préparation de l'espace intercalaire, notamment labour de printemps, introduction d'engrais organo-minéraux)	effectuée suivant recommandations	10	11-40	41-90	90

* Exception faite des sols fortement et très fortement salins de la flexure de piedmont, dont la salinisation en sulfate de chlorure et sulfate varie avec l'habitat.

BIBLIOGRAPHIE

1. Aubréville, A. Climats, forêts et désertification de l'Afrique tropicale. Paris. 1949
2. Boyadgiev, T.G. Application de la télédétection pour l'évaluation des causes et de la dynamique de la désertification dans la région du Hodna, Algérie centrale, FAO. Rome
3. Boyadgiev, T.G. Evaluation et cartographie de la désertification du Hodna, Algérie centrale. (Rapport de la Première Consultation d'experts sur l'évaluation et la cartographie de la désertification, FAO).
4. Boyadgiev, T.G., Van Vethuizen, H.T., Note on the proposed methodology for the compilation of a world map of desertification at 1:5 000 000 working scale, FAO. Rome.
5. Budyko, M.I. Climate and life. Academic Press. New York and London. 1974
6. Demangeot, I. Milieux naturels désertiques. Paris. 1981
7. Dregne, H. Impact of land degradation on future world food production. Washington. 1982
8. Dudal, R. Land degradation in a world perspective. Journal of Soil and Water Conservation, vol. 37, No. 5. 1982
9. FAO La dépense contre l'érosion éolienne. Collection FAO. Progrès et mise en valeur - agriculture N° 71. Rome. 1960
10. FAO Provisional methodology for desertification assessment and mapping. Rome. 1981
11. FAO Report on the first FAO/UNEP Expert Consultation on Desertification Assessment and Mapping. Rome. 1980
12. FAO Report in the Third Expert Consultation on the Evaluation of the Field Tests (methodology and mapping). Rome. 1982
13. FAO Charte mondiale des sols. 1982
14. FAO Rapport sur le projet relatif aux zones agro-écologiques, vol.1, méthodologie et résultats pour l'Afrique. Rome. 1979
15. FAO/PNUE/Unesco Méthode provisoire pour l'évaluation de la dégradation des sols. Rome. 1979
16. FAO/Unesco Carte mondiale des sols - 1/5 000 000, vol. I, Unesco. Paris. 1974
17. FAO/FNUAP Capacité potentielle de charge démographique des terres du monde en développement - les ressources en terre des populations de demain - Rapport technique du projet. Rapport de la deuxième Consultation d'experts FAO/FNUAP. Rome. 1980

ANNEXE II (suite)

18. ISS 1982 Desertification and soils policy, simposia papers, 12th International Congress of Soil Science. New Delhi.
19. Le Houerou, H.N. 1969 La végétation de la Tunisie steppique, thèse. Tunisie.
20. MAB 1977 Technical notes - 7, map of the world distribution of arid regions - explanatory notes. Unesco.
21. Reining, P. 1978 Handbook on desertification indicators based on the science associations, Nairobi Seminar on Desertification. Washington.
22. Sheridan, D. 1981 Desertification of the United States. Washington.
23. Hellden, U and Stern, M. 1980 Monitoring land degradation in southern Tunisia, a best of landsat imagery and digital data.
24. UNCOD Status of desertification in the hot arid regions (H.E. Dregne). Climate aridity index maps (D. Henning and M. Plohn). Experimental world scheme of aridity and drought probability (V.A. Kovda). Explanatory note, A/Cont. 74/31.
25. UNCOD Round-up 1977 Plan d'action et résolutions, 29 août - 9 septembre
26. UNCOD 1977 Carte mondiale de la désertification, note explicative, 29 août - 9 septembre.
27. UNCOD 1977 Desertification; its causes and consequences. Pergamon Press.
28. UNEP 1979 Report on Expert Meeting on Methodology for Desertification Assessment and Mapping, Geneva, 14 - 18 May
29. UNEP 1980 Desertification assessment and mapping. Project Document, June.
30. UNEP/U.S.S.R. Commission for UNEP. 1982 Combating desertification in the U.S.S.R., problems and experience. Moscow.
31. Unesco/UNEP/UNDP 1980 Case studies on desertification, natural resources research XVIII.
32. University of Arizona. 1976 Arid/Semi-Arid Natural Resources Programme, Desertification process, problems perspectives. Tucson.
33. FAO/UNEP 1983 Methodology for the compilation of desertification hazard map of Africa, Scale 1:5 000 000. Rome.
34. Hagedorn, H.K., Giebner, O.M., Weise, D., Busche and Grunert, G. 1977 Dune stabilization Geographisches Institut, Universität Würzburg.
35. Le Houerou, H.N. and Hoste, F.H. 1977 Rangeland production and annual rainfall relations in the Mediterranean Basin and in the African Sahels - Sudanian Zone. Jour. of Range Management, vol. 30, No. 3. Addis Ababa.