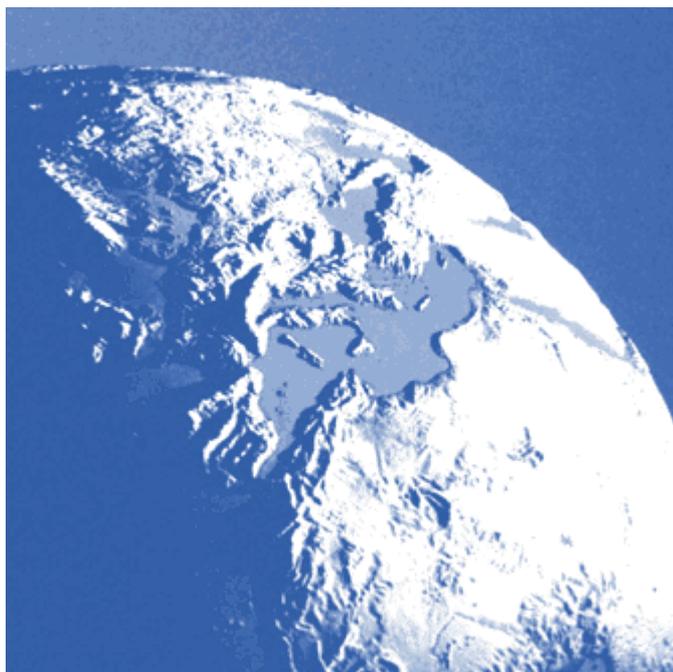




Les menaces sur les sols dans les pays méditerranéens

Etude bibliographique



Les Cahiers du Plan Bleu
2

Plan Bleu
Centre d'activités
régionales

Sophia Antipolis,
Mai 2003

Ce rapport a été préparé par Laura de Franchis (Plan Bleu)
avec la collaboration de François Ibanez (Plan Bleu) pour la cartographie.

Directeur de la publication : Guillaume Benoit (Directeur du Plan Bleu)

Remerciements :

*Le Plan Bleu tient à remercier
Jean de Montgolfier et Denis Groëné
pour leur coopération dans la révision de ce rapport.*

Note :

Dans le cadre des travaux pour le Plan d'Action pour la Méditerranée / PNUE, le Plan Bleu – Centre d'Activités régionales (CAR/PB) utilise des cartes géographiques conformes aux règles appliquées par les Nations unies. De ce fait, le PNUE, le PAM ou le CAR/PB déclinent toute responsabilité en ce qui concerne les frontières et les noms portés sur les cartes.

Cahiers du Plan Bleu

2

LES MENACES SUR LES SOLS DANS LES PAYS MEDITERRANEENS

Etude Bibliographique

Plan Bleu – Mai, 2003

TABLE DES MATIERES

TABLE DES MATIERES.....	I
LISTE DES CARTES, ENCADRES, FIGURES, ET TABLEAUX.....	II
1. Liste des Cartes.....	ii
2. Liste des encadrés.....	ii
3. Liste des figures.....	ii
4. Liste des tableaux.....	ii
LISTE DES SIGLES ET CODES PAYS.....	III
1. Liste des sigles.....	iii
2. Liste des codes pays.....	iv
AVANT-PROPOS.....	1
INTRODUCTION.....	3
1. Des sols méditerranéens fragiles, issus d'une longue évolution.....	3
2. La diversité des types de sols et de leurs usages.....	3
3. Les menaces de dégradation des sols ; les enjeux en Méditerranée.....	4
4. Contenu de l'étude.....	6
PARTIE 1 : LE CONTEXTE DE L'ÉVOLUTION DES SOLS MEDITERRANEENS.....	7
1. Les facteurs physiques favorables à l'érosion.....	8
2. Les systèmes agraires méditerranéens, et leurs évolutions.....	10
3. La diversité des situations.....	12
PARTIE 2 : LES PERTES DE SOL PAR ARTIFICIALISATION.....	17
1. Les principales causes de l'artificialisation des sols.....	17
2. Importance du phénomène.....	19
3. Impacts sur les sols.....	20
4. Quelles réponses à la consommation des terres par l'artificialisation ?.....	22
PARTIE 3 : LES EROSIONS ET LES PERTES DE FERTILITE.....	25
1. Mécanismes et causes.....	25
2. Importance du phénomène.....	30
3. Les impacts.....	33
4. Quelles réponses à l'érosion et aux pertes de fertilité ?.....	39
PARTIE 4 : LES DEGRADATIONS DES SOLS PAR LES POLLUTIONS.....	44
1. Salinité et alcalinité.....	44
2. L'acidification des sols.....	48
3. Les pollutions par les pesticides, les nitrates et les phosphates.....	49
4. La contamination par les métaux lourds.....	52
PARTIE 5 : LES DISPOSITIONS INSTITUTIONELLES POUR LA PROTECTION DES SOLS ET LEURS INSUFFISANCES.....	54
1. La prise de conscience de la nécessité de protéger les sols.....	54
2. Les actions internationales.....	54
3. Les actions nationales.....	56
QUELQUES PISTES DE REFLEXION POUR LE FUTUR.....	60
BIBLIOGRAPHIE.....	62
LISTE DES PRINCIPALES PUBLICATIONS DU PLAN BLEU.....	69

LISTE DES CARTES, ENCADRES, FIGURES, ET TABLEAUX

1. Liste des Cartes

<i>Carte 1 : Les pays méditerranéens et leurs régions méditerranéennes.....</i>	<i>7</i>
<i>Carte 2 : Estimation de la distribution des classes de pentes de sols dans les pays méditerranéens.....</i>	<i>9</i>
<i>Carte 3 : Carte générale des principales zones montagneuses des littoraux méditerranéens.....</i>	<i>10</i>
<i>Carte 4 : Les principaux types de sols dans le bassin méditerranéen.....</i>	<i>14</i>
<i>Carte 5 : Surfaces menacées par l'érosion dans les pays du pourtour méditerranéen.....</i>	<i>31</i>
<i>Carte 6 : Surfaces salinisées ou alcalinisées dans plusieurs pays méditerranéens (en % du territoire national).....</i>	<i>46</i>

2. Liste des encadrés

<i>Encadré 1 : Définition de l'érosion d'après Roose.....</i>	<i>15</i>
<i>Encadré 2 : Impacts négatifs de l'expansion urbaine sur les terres pour la ville du Tiaret en Algérie.....</i>	<i>21</i>
<i>Encadré 3 : Amplification des risques de catastrophes "naturelles" liés à l'artificialisation des sols dans le bassin méditerranéen.....</i>	<i>22</i>
<i>Encadré 4 : L'abandon de techniques traditionnelles souvent efficaces est lié au changement du contexte social et économique dans les pays.....</i>	<i>29</i>
<i>Encadré 5 : Conséquences économiques négatives de l'érosion hydrique sur les lieux érodés (on-site).....</i>	<i>35</i>
<i>Encadré 6 : Conséquences économiques négatives de l'érosion hydrique en aval des lieux érodés (off-site).....</i>	<i>35</i>
<i>Encadré 7 : Ampleur de l'envasement des barrages au Maroc en 1995.....</i>	<i>37</i>
<i>Encadré 8 : Exemples de calculs des coûts annuels de l'érosion au Maroc.....</i>	<i>37</i>
<i>Encadré 9 : Localisation de l'ensablement au Maghreb.....</i>	<i>38</i>
<i>Encadré 10 : L'échec relatif de la DRS en Algérie.....</i>	<i>42</i>

3. Liste des figures

<i>Figure 1 : Les principales limitations affectant les sols des pays méditerranéens.....</i>	<i>16</i>
<i>Figure 2 : Coupe schématique du versant à hauteur de Bettara (Rif Marocain).....</i>	<i>36</i>
<i>Figure 3 : Quatre principaux modes de salinisation des sols.....</i>	<i>45</i>
<i>Figure 4 : Le cycle de l'azote.....</i>	<i>50</i>
<i>Figure 5 : Consommation de fertilisants dans les pays méditerranéens de 1970 à 1993.....</i>	<i>51</i>

4. Liste des tableaux

<i>Tableau 1 : Fonctions et usages principaux des sols.....</i>	<i>4</i>
<i>Tableau 2 : Description des principaux sols méditerranéens.....</i>	<i>13</i>
<i>Tableau 3 : Artificialisation des terres agricoles dans différents pays méditerranéens.....</i>	<i>20</i>
<i>Tableau 4 : Diversité des processus, des causes, des facteurs de l'érosion.....</i>	<i>26</i>
<i>Tableau 5 : Changements dans l'utilisation des terres en Italie pendant la période 1967-1990.....</i>	<i>28</i>
<i>Tableau 6 : Evolution de l'utilisation des terres dans trois zones représentatives du Rif centro-occidental (Maroc) pendant la période 1966-1986.....</i>	<i>28</i>
<i>Tableau 7 : Ordres de grandeur des pertes de sol spécifiques dues aux différents types d'érosion.....</i>	<i>31</i>
<i>Tableau 8 : Terres affectées par la désertification dans la région méditerranéenne (1984).....</i>	<i>32</i>
<i>Tableau 9 : Envasement des barrages dans l'est Algérien.....</i>	<i>38</i>

LISTE DES SIGLES ET CODES PAYS

1. Liste des sigles

ADEME	Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie (France)
AEE	Agence européenne de l'Environnement (Union Européenne)
CAR	Centre d'Activités régionales (du PAM)
CAR-PAP	Centre d'Activités régionales du Programme d'Actions prioritaires (PAM)
CCD	Convention Contre la Désertification
CCE	Commission de Coopération environnementale
CDD	Commission de Développement durable (ONU)
CE	Commission européenne
CEE	Communauté économique européenne
CES	Conservation des eaux et des sols
CIHEAM	Centre international de hautes Etudes agronomiques méditerranéennes
CMDD	Commission méditerranéenne du Développement durable (PAM)
CNEARC	Centre national d'Etudes agronomiques des Régions chaudes (France)
CNUD	Conférence des Nations unies sur la Désertification
CNUED	Conférence des Nations unies sur l'Environnement et le Développement
CPCS	Commission de Pédologie et de Cartographie des Sols
DRS	Défense et Restauration des Sols
EEAA	Agence égyptienne des affaires environnementales (Egyptian Environmental Affairs Agency)
EUA	Etats unis d'Amérique
FAO	Food and Agriculture Organization (United Nations) = OAA Organisation pour l'alimentation et l'agriculture (Nations unies)
GLASOD	Global Assessment of Soil Degradation
ICALPE	Centre international pour les environnements alpins (International Center for Alpine Environments)
INRF	Institut national de Recherches forestières (Algérie)
IRD	Institut de Recherche pour le Développement (ex-ORSTOM)
LIFE	Instrument financier de la DG Environnement (UE)
MATE	Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement (France)
MEDA	Mesures d'accompagnement financières et techniques à la réforme des structures économiques et sociales dans le cadre du partenariat euro-méditerranéen
MEDFORUM	Réseau d'ONG de la Méditerranée pour l'Ecologie et le Développement durable
NEAP	Plan d'action national pour l'environnement (National Environmental Action Plan (Turquie))
OCDE	Organisation de Coopération et de Développement économiques
ONEM	Observatoire national de l'Environnement du Maroc
ONG	Organisation Non-Gouvernementale
ONU	Organisation des Nations unies
ORSTOM	Institut français de recherche scientifique pour le développement en coopération (maintenant : IRD)
OSS	Observatoire du Sahara et du Sahel
OTEDD	Observatoire tunisien de l'Environnement et du Développement durable
PACD	Plan d'Action pour la Lutte Contre la Désertification
PAM	Plan d'Action pour la Méditerranée
PANE	Plan d'action national pour l'environnement

PIB	Produit Intérieur Brut
PNUD	Programme des Nations unies pour le Développement
PNUE	Programme des Nations unies pour l'Environnement
POS	Plan d'Occupation des Sols
PSEM	Pays du Sud et de l'Est du bassin méditerranéen
RTM	Restauration des Terrains en Montagne
SMAP	Programme d'actions prioritaires à court et moyen termes pour l'environnement
TERRASTAT	Base de données de la FAO sur les sols
UE	Union européenne
UNESCO	Organisation des Nations unies pour l'éducation, la science et la culture (United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization)

2. Liste des codes pays

AL	Albanie
DZ	Algérie
BA	Bosnie-Herzégovine
CY	Chypre
WE	Cisjordanie
HR	Croatie
EG	Egypte
ES	Espagne
FR	France
GZ	Gaza Strip
GR	Grèce
IL	Israël
IT	Italie
JO	Jordanie
LB	Liban
LY	Libye
MT	Malte
MA	Maroc
MC	Monaco
PS	Palestine
PT	Portugal
SI	Slovénie
SY	Syrie
TN	Tunisie
TR	Turquie
YU	Serbie et Monténégro

AVANT-PROPOS

Avec l'eau, le littoral et la biodiversité, les sols constituent l'une des ressources naturelles « critiques » de la région méditerranéenne. Leur mise en valeur et le soin apporté à leur gestion conservatoire ont beaucoup contribué à l'épanouissement des civilisations successives. A contrario, leur dégradation, notamment par érosion excessive ou salinisation, a pu être, dans le passé, une cause de déclin durable ; elle constitue toujours aujourd'hui, sous ses différentes formes, une menace importante pour l'avenir du bassin méditerranéen.

Il existe une érosion naturelle due aux spécificités du relief et du régime des pluies, qui contribue à l'enrichissement des terres et écosystèmes situés en aval. Mais l'érosion connaît actuellement une grave amplification dans de nombreuses régions du sud et de l'est du bassin. Une cause importante en est la grande pauvreté rurale qui s'est aggravée avec les sécheresses récentes et répétées. En effet, trop nombreuses sont encore les populations dont les conditions de vie ne permettent pas un investissement et une gestion durables (absence de sécurité foncière et financière, analphabétisme, manque d'équipements de base,...). Trop dépendantes pour leur survie de ressources naturelles mal valorisées, elles sont condamnées à leur surexploitation. Cette amplification est très préoccupante par ses effets environnementaux (surtout dans les zones arides menacées de « désertification ») et socio-économiques. Or, pauvreté et surexploitation pourraient encore s'aggraver en cas d'extension aux produits agricoles de base de la zone de libre échange euro-méditerranéenne, car le manque de compétitivité des productions de cette agriculture de survie serait encore accentué.

Les sols les plus fertiles, souvent situés en aval dans les plaines, sont, quant à eux, menacés par une urbanisation et une littoralisation de grande ampleur, induites à la fois par la croissance démographique, l'exode rural et l'évolution des modes de vie et des systèmes de production. Le passage non maîtrisé de la cité traditionnelle (ville compacte + agriculture péri-urbaine) à la ville motorisée et tentaculaire caractérise tout l'espace méditerranéen. L'artificialisation des sols fertiles (terres arables, zones humides) représente une dégradation quasiment irréversible, significative par son ampleur, et impliquerait de graves conséquences pour le long terme si les tendances actuelles devaient se confirmer.

Ces risques doivent inviter à une meilleure évaluation de la situation et des enjeux, des tendances et des évolutions possibles, et des « réponses » envisageables. Le Plan Bleu, en tant qu'outil de la coopération méditerranéenne au service de l'ensemble des pays riverains, a pour tâche de réunir une information utile aux décideurs et au débat public sur les grands enjeux méditerranéens de l'environnement et du développement. Dans son premier rapport général publié en 1989 (« Le Plan Bleu : avenir du bassin méditerranéen »), il avait déjà alerté sur la dégradation des sols méditerranéens, considérée comme l'une des évolutions les plus préoccupantes pour la région. Depuis cette date, peu de documents de synthèse ont été réalisés et il nous a donc été demandé de faire à nouveau le point sur la situation à partir de la documentation disponible.

Le présent « cahier » est révélateur de la difficulté du sujet. Les types de dégradations (pollutions, salinisation, érosions éolienne et hydrique, pertes de fertilité, artificialisation,...) sont multiples et leurs causes complexes. Les données disponibles sur l'état des sols sont lacunaires, peu comparables et souvent contradictoires. Elles confirment cependant la gravité des dégradations en cours. Les concepts mis en avant comme celui de la « désertification » font encore l'objet de controverses ou d'interrogations quant aux dimensions à considérer, au degré de réversibilité des phénomènes (les facultés de régénération naturelle de la forêt et la pédogenèse ne doivent pas être sous estimées), à l'efficacité des dispositifs mis en œuvre et aux voies d'action à privilégier. Les analyses sur les réponses restent insuffisamment documentées. En particulier, la remontée d'informations sur les exemples concrets de bonnes pratiques, les analyses sur les conditions de progrès, sur les difficultés à surmonter, sur les coûts à considérer, sur les outils d'action à promouvoir, sur les marges de progrès et bénéfiques possibles sont encore trop rares, ainsi que l'évaluation ex post des politiques mises en œuvre. Les études restent souvent trop théoriques et les approches privilégient trop les seuls aspects

technico-scientifiques ou sectoriels. L'action a, semble t il du mal à s'intégrer de façon opérationnelle et à s'adapter à la diversité des situations. Or, le développement agricole et rural et la conservation des ressources naturelles (eau, sols, forêts et biodiversité) sont largement interdépendants et gagneraient à être davantage considérés globalement, dans le cadre de démarches de type « agendas 21 locaux » ou « réserves de biosphère ».

Dans l'espace périurbain et littoral soumis à d'intenses pressions, la protection des sols ne pourra s'opérer sans de nouvelles façons de penser et d'agir. Ce qui est finalement en cause, c'est : d'une part, la « valeur » que les sociétés attribuent aux ressources et le prix qu'elles acceptent d'affecter à la conservation de leurs multiples fonctions ; d'autre part, la question de la « gouvernance » pour le développement durable. Or, de ce point de vue, les sols restent un peu un « parent pauvre » parmi les ressources naturelles indispensables à la vie et au développement à long terme. Ils ne disposent pas en général de l'attention dont bénéficient l'eau, le littoral, ou la forêt. Leur valeur écologique et productive n'est pas suffisamment reconnue. La prise de conscience n'est pas à la hauteur de ce qu'elle devrait être. Contrairement à celle de l'eau, la gestion durable des sols n'est pas encore devenue le sujet de débat et de préoccupation qu'elle mériterait d'être .

Une amélioration de l'information sur ce thème apparaît donc indispensable . Le Plan Bleu s'attachera notamment, au cours des prochaines années, à documenter des études de cas sur le développement rural durable et à renforcer sa réflexion prospective. Il bénéficiera pour cela des accords de coopération récemment signés avec le CIHEAM (Centre International des Hautes Etudes Agronomiques Méditerranéennes) et la FAO (Programme Silva mediterranea).

Il convient pour conclure de féliciter Laura de Franchis, chargée de mission au Plan Bleu, qui a réuni les informations disponibles et conçu et écrit ce document sous la direction d'Aline Comeau, directrice scientifique. Elle a bénéficié pour ce faire de la contribution de plusieurs experts. Ce document doit notamment beaucoup à Catherine Kuzukuoglu et à Denis Groëné qui ont respectivement réalisé pour le Plan Bleu entre 1996 et 2000 un large recueil d'informations sur les sols en Méditerranée et une note d'analyse critique à partir de l'information disponible. Eric Roose, expert bien connu sur les sols méditerranéens, a bien voulu aussi prodiguer ses précieux conseils. Jean de Montgolfier a conduit l'important travail de relecture et de correction du texte. Enfin, François Ibanez a réalisé les illustrations.

Qu'ils en soient tous particulièrement remerciés.

Guillaume BENOIT

Directeur du Plan Bleu

INTRODUCTION

1. Des sols méditerranéens fragiles, issus d'une longue évolution

Les sols de la région méditerranéenne, tels qu'ils se présentent aujourd'hui, sont les fruits d'interactions qui durent depuis des millénaires entre les processus naturels de la pédogenèse, et les activités des sociétés humaines qui se sont développées dans cette région. Rares sont les sols qui ont pu évoluer sans être marqués plus ou moins profondément par l'action directe ou indirecte de l'homme. Au contraire, beaucoup d'entre eux ont été défrichés à un moment ou à un autre de leur histoire, et mis en culture, ou plantés, ou pâturés, ou même construits. Au cours des siècles, depuis l'époque néolithique, divers modes d'occupation et divers usages ont souvent alterné, en un même lieu, avec des périodes d'abandon et d'évolution purement naturelle. Certains sols ont été profondément remaniés : construction de terrasses, de murets, de banquettes ; réseaux d'irrigation, de drainage.

Ces actions humaines ont parfois été bénéfiques (aménagements de versants en terrasses par exemple), mais trop souvent elles ont entraîné une dégradation plus ou moins poussée (pertes de matière organique, déstructuration, érosion hydrique ou éolienne, pollutions...) qui peut aboutir, dans les cas extrêmes à la quasi-disparition des couches meubles du sol.

En effet, les sols méditerranéens sont en général fragiles, et ce pour plusieurs raisons : les précipitations irrégulières et souvent violentes favorisent l'érosion ; l'importance des pentes dans les nombreux secteurs de collines et de montagnes aggrave le phénomène ; les températures élevées accélèrent la minéralisation de la matière organique ; le couvert végétal est souvent réduit à cause de la dureté du climat et des actions anthropiques, et, de ce fait, protège mal le sol ; dans les zones arides ou semi-arides, l'érosion éolienne est souvent importante ; dans certaines plaines littorales ou alluviales, la présence d'une nappe salée peut amener la salinisation des sols.

Les phénomènes de dégradation, en particulier d'érosion, sont très anciens dans la région, et étaient déjà signalés dans l'antiquité. De plus, à l'époque actuelle de nouvelles menaces sont apparues, liées aux bouleversements sociaux et économiques de la période récente : fort accroissement démographique dans des zones rurales pauvres, entraînant la surexploitation des ressources naturelles (labour de zones marginales de pente très sensibles à l'érosion, surpâturage, surexploitation du bois de feu) ; intensification agricole moderne mal conduite dans certains secteurs (salinisation du sol par des irrigations mal contrôlées, surconsommation d'engrais, de pesticides) ; consommation d'espace par l'urbanisation et les infrastructures ; pollutions par des déchets urbains ou industriels.

L'objectif de cette étude du Plan Bleu est de donner, à partir d'une approche bibliographique, une première vue d'ensemble des menaces qui pèsent actuellement sur les sols des pays méditerranéens, et une analyse critique des réponses apportées pour y faire face.

2. La diversité des types de sols et de leurs usages

Dresser un tel panorama d'ensemble est une tâche difficile pour plusieurs raisons. Tout d'abord, les sols méditerranéens sont extrêmement divers, comme les écosystèmes auxquels ils appartiennent. Les altitudes varient du niveau de la mer à plus de 3 000 mètres. Les bioclimats vont de l'hyperaride (quasi-absence de précipitations) jusqu'au per-humide (certaines montagnes reçoivent plus de 2 000 mm de précipitations, en moyenne annuelle). Dans ces conditions presque tous les types de sols sont représentés. Certains se rapprochent des sols tempérés, pour lesquels les processus d'altération biochimique sont prépondérants ; d'autres se rapprochent des sols tropicaux où ce sont les processus physico-chimiques qui prédominent. Certains sols sont polycycliques, c'est à dire résultent de la succession de plusieurs phases de pédogenèse

étalées sur de très longues périodes ; d'autres, au contraire sont tronqués, c'est à dire amputés par l'érosion d'une partie plus ou moins importante de leurs couches.

Une deuxième difficulté vient de la diversité des fonctions et des usages des sols. Les sols ont le double caractère d'être d'une part l'un des compartiments des écosystèmes vivants auxquels ils appartiennent, et, d'autre part, d'être les supports de multiples usages économiques et sociaux. Leurs fonctions écologiques et leurs usages socio-économiques sont schématisés dans le Tableau 1.

Tableau 1 : Fonctions et usages principaux des sols

Fonctions écologiques	
Production de biomasse	Le sol est le support des racines des plantes. Il leur apporte eau et nutriments. Il contribue ainsi à produire des aliments, du fourrage, et à maintenir la qualité de l'air et de l'eau.
Filtrage, capacité tampon et auto-épuration	Les sols ont une action physique de filtrage des substances non solubles qu'ils reçoivent, et des actions chimiques et biologiques de transformation et de décomposition des composés minéraux ou organiques. Ils exercent ainsi un rôle auto-épurateur souvent très important, et empêchent des produits nocifs de rejoindre les nappes phréatiques ou la chaîne alimentaire.
Diversité biologique et protection de la flore et de la faune	Le sol abrite de nombreux organismes animaux ou végétaux dont il constitue le biotope.

Usages socio-économiques	
Support des constructions humaines (habitations et infrastructures)	Le sol fournit l'espace pour l'installation des habitations, des industries, des routes, des infrastructures de loisirs et pour le stockage des déchets.
Source de minéraux bruts et d'eau	Le sol fournit plusieurs matières premières, ainsi que des combustibles (charbon et pétrole) et des eaux souterraines.
Protection et préservation d'un patrimoine culturel	Le sol fait partie intégrante du patrimoine culturel et paysager. Il renferme des vestiges paléontologiques et archéologiques, primordiaux pour une compréhension de l'évolution de la terre et de l'espèce humaine.

(Source : d'après : AEE, 1999 (41))

Enfin une dernière difficulté vient du caractère très hétérogène des données existantes sur les sols, malgré les efforts de normalisation actuellement en cours.

3. Les menaces de dégradation des sols ; les enjeux en Méditerranée

3. 1. Définition

Parler de dégradation, ou de menaces de dégradation, c'est nécessairement établir une comparaison par rapport à un état de référence jugé plus satisfaisant, selon une certaine échelle de valeur. En toute rigueur, il faudrait donc toujours préciser par rapport à quel état (physico-chimique, biologique et écologique) de référence on se place, et par rapport à quels usages de référence. Il faudrait aussi préciser quels points de vue et quelles valeurs on adopte : le pédologue, l'écologue, l'agronome, le forestier, l'urbaniste, le géologue, le mineur, le paysagiste, le paléontologue... n'ont pas nécessairement la même conception de ce qui fait la valeur d'un sol, et donc de ce qui peut le menacer ou le dégrader.

Dans la suite de cette étude, on adoptera plutôt un point de vue agronomique et écologique, et on considérera comme des dégradations toutes les formes de changements physiques, chimiques et biologiques du sol affectant ses capacités à assurer une ou plusieurs de ses fonctions. Il peut s'agir d'une perte quantitative de

sol (en surface ou en profondeur), d'une diminution de sa fertilité ou de différents types de pollution : salinisation, acidification, excès d'engrais ou de pesticides, métaux lourds...

On peut encore distinguer les dégradations permanentes, ou irréversibles, de celles que l'on peut considérer comme provisoires ou réversibles, quand les fonctions du sol peuvent être réhabilitées dans un délai raisonnable et à un coût acceptable.

3. 2. Les enjeux de la conservation des sols dans le bassin méditerranéen

Du fait que la dégradation des sols affecte leur capacité à remplir leurs fonctions écologiques et les usages socio-économiques qui en dépendent, leur conservation est un enjeu politique et social. Les mesures susceptibles d'être prises pour répondre à cet enjeu sont très diverses. Outre les interventions techniques, elles peuvent, notamment, inclure des changements législatifs ou réglementaires (y compris des modifications des droits de propriété et d'usage), et des actions économiques portant sur les impôts, les taxes, les subventions les crédits, etc. Selon la nature des mesures prises, les effets redistributifs sur les divers groupes sociaux seront différents, de même que les impacts sur les enjeux agricoles, territoriaux et environnementaux.

Les enjeux agricoles

L'activité agricole est d'une importance économique majeure dans la plupart des pays méditerranéens, et s'accompagne d'une importante industrie agro-alimentaire, en amont et en aval. Elle représente plus de 15 % du PIB dans de nombreux pays du Sud et de l'Est méditerranéen (Plan Bleu, 2001 (114)). Elle constitue ainsi une source d'emplois considérable, surtout dans les régions où elle reste, encore aujourd'hui, l'activité la plus importante. La conservation du potentiel agricole méditerranéen constitue donc un enjeu pour le maintien de la structure sociale et économique des sociétés. On peut ajouter que la sécurité alimentaire, même relative, est considérée comme un objectif majeur par de nombreux pays.

Les enjeux territoriaux

L'équilibre entre les activités économiques des différentes régions d'un pays dépend, entre autre, de l'état de son économie agricole et rurale. La dégradation des sols peut donc devenir la cause de déséquilibres territoriaux importants. La dégradation des terres marginales peut mener à leur abandon, et à la migration de populations rurales vers les villes, ce qui pose de graves problèmes économiques et sociaux en termes d'aménagement du territoire et d'emplois. Dans le contexte d'une croissance démographique soutenue des pays du Sud et de l'Est méditerranéen, il est nécessaire de maintenir des espaces ruraux capables de faire vivre une population importante dans des conditions économiques et sociales satisfaisantes.

Les enjeux paysagers

L'agriculture joue un rôle fondamental dans la gestion des ressources naturelles, des espaces et des paysages méditerranéens (cultures en terrasses, systèmes traditionnels complexes de captage, de transport et d'utilisation des eaux, milieux ouverts liés au pastoralisme, oliveraies, châtaigneraies, etc.). Or, l'abandon de certains territoires très anciennement aménagés (terrasses, systèmes de gestion des eaux) peut mener, à leur dégradation irréversible. Dans ces cas, la dégradation des sols est liée à la disparition de certains caractères typiques des espaces méditerranéens.

Les enjeux environnementaux

Les sols constituent un compartiment fondamental des écosystèmes : leur dégradation a donc, en général, des impacts majeurs sur tous les autres compartiments, et porte gravement atteinte à la composition et à la diversité de la flore et de la faune, ainsi qu'aux cycles de l'eau et des nutriments. A l'heure actuelle, le patrimoine naturel méditerranéen se trouve très menacé par la disparition d'habitats écologiques terrestres (espaces boisés, steppes, oasis, zones humides...) principalement à cause des défrichements, de la désertification, de la pollution, de l'adoption de mauvaises pratiques culturelles (surexploitation,

surpâturage...), et de l'artificialisation des écosystèmes. Le maintien de la diversité biologique du milieu méditerranéen passe par l'intégration de considérations écologiques dans la planification du développement agricole et de l'urbanisation. Il faut en particulier veiller à ce que l'artificialisation du territoire ne vienne pas détruire de façon irréversible des écosystèmes précieux.

4. Contenu de l'étude

La première partie de cette étude décrit brièvement le contexte dans lequel évoluent les sols méditerranéens : climat, géologie, pratiques agro-sylvo-pastorales, urbanisme... Les parties suivantes traitent successivement des principales menaces qui pèsent sur les sols méditerranéens : artificialisation (partie 2), érosions et pertes de fertilité (partie 3), pollutions diverses (partie 4). Dans chacune, le phénomène est analysé, et, dans la mesure du possible, chiffré à partir des données collectées dans la littérature, avec la difficulté que, souvent, les sources sont très hétérogènes ; puis sont évoquées les réponses spécifiques existant pour prévenir ou réparer les dégradations. Une 5^{ème} partie donne un rapide aperçu des politiques internationales et nationales menées en faveur de la conservation des sols, analyse leurs insuffisances et trace quelques perspectives d'évolution.

PARTIE 1 : LE CONTEXTE DE L'ÉVOLUTION DES SOLS MÉDITERRANÉENS

Sur le plan géographique, la région méditerranéenne s'étend des Alpes au Sahara, et de l'océan Atlantique à la mer Caspienne. Les 22 pays et territoires riverains peuvent être répartis en quatre groupes : Europe du Sud-Ouest (Espagne, France, Monaco, Italie), Europe du Sud-Est (Malte, Slovaquie, Croatie, Bosnie-Herzégovine, Serbie et Monténégro, Albanie, Grèce), Méditerranée orientale (Turquie, Chypre, Liban, Israël, Territoires palestiniens, Syrie), Afrique du Nord (Égypte, Libye, Tunisie, Algérie, Maroc).

La formation des sols (pédogenèse) est sous la dépendance des facteurs naturels que sont la géologie (roche mère), la topographie, le climat et la végétation, ainsi que des facteurs anthropiques. Depuis des millénaires l'homme a profondément transformé les sols du bassin méditerranéen, en défrichant, en plantant, en cultivant, en aménageant des terrasses, des banquettes, des ouvrages hydrauliques. Presque tous les sols méditerranéens portent donc l'empreinte de l'homme. Dans cette partie, nous examinerons successivement ces deux catégories de facteurs sous l'angle de leurs rapports avec les menaces pesant sur les sols.

Carte 1 : Les pays méditerranéens et leurs régions méditerranéennes



(Source : Gaussen & De Philippis – FAO)

1. Les facteurs physiques favorables à l'érosion

1. 1. L'agressivité du climat méditerranéen

La principale caractéristique du climat méditerranéen est l'existence de mois secs en été¹. Pendant ces mois, l'évapotranspiration potentielle (ETP) est bien inférieure à l'apport des pluies. De plus, la variabilité des précipitations est très grande d'une année à l'autre. La question de l'alimentation en eau de la végétation cultivée ou naturelle (pâturages et terres boisées) est, par conséquent, toujours cruciale en région méditerranéenne. Les pluies, qui surviennent surtout en saison froide (plus de 90 % des précipitations annuelles se produisent entre les mois de septembre et de mars), peuvent être très violentes, et atteindre des intensités instantanées très fortes (100 millimètres à l'heure, et même plus). Elles provoquent alors un ruissellement considérable, qui peut entraîner deux formes d'érosion : l'érosion diffuse en nappes, et l'érosion concentrée, dans les ravines, les torrents ou les oueds.

Les effets du ruissellement et de l'érosion sont très fortement aggravés lorsque le sol a été dénudé (labours, surpâturage, incendie de forêt récent...). Un autre facteur d'aggravation de l'érosion est la diminution de la teneur en matière organique, et donc la perte de stabilité des agrégats du sol, à la suite de pratiques agricoles inadéquates. En outre certains sols peuvent également être fragilisés par les fortes variations de températures diurnes, et par la fréquence, à l'échelle journalière, des cycles d'humectation et de dessèchement, voire de gel et de dégel, qui entraînent une fissuration profonde des matériaux argileux. En pratique, la vulnérabilité d'un sol dépend beaucoup de son couvert végétal, et de son exposition par rapport au soleil, aux vents desséchants et aux averses, (E. Roose, 1991 (129))

L'érosion due au ruissellement de l'eau constitue ainsi une grave menace pour les sols méditerranéens. Tant que l'eau ruisselle en nappes, les transports solides sont limités (1 à 5 g/L). Les sols couverts de cailloux en surface résistent relativement bien au détachement par le ruissellement en nappe. C'est lorsque l'action de l'eau se concentre dans les ravines et les oueds que la charge solide devient importante (5 à 130 g/L) et que l'érosion devient significative (E. Roose, 1991 (129)).

Une autre forme d'érosion, qui se manifeste surtout dans les zones arides et semi-arides, est l'érosion éolienne, due à l'arrachement par le vent des particules fines de la surface du sol. Un double danger menace les sols de ces zones : celui d'être réduits à l'état de squelette après le départ des éléments fins enlevés par le vent, ou, au contraire, celui d'être recouverts par des sables, voire des dunes, apportés par le vent. Là aussi, le couvert végétal, et la stabilité des agrégats sont des facteurs importants de résistance à l'érosion éolienne.

1. 2. Une topographie favorable à l'érosion

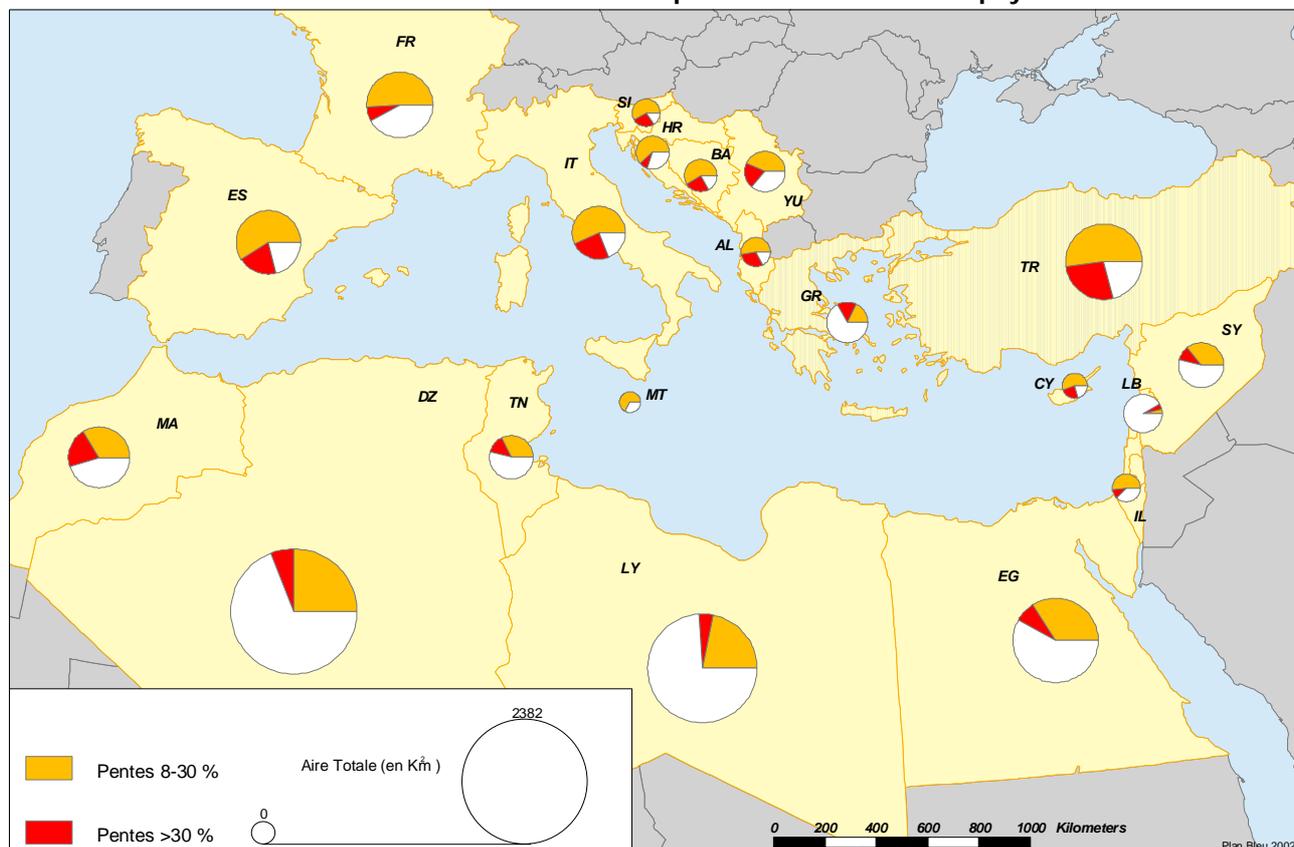
Dans les pays du pourtour méditerranéen, la tectonique a créé un paysage à la topographie accidentée. Le plissement alpin a fait surgir des chaînes de montagnes atteignant parfois jusqu'à 3 000 voire 4 000 m d'altitude, très plissées et fracturées, et creusées de vallées fréquemment encaissées. Les pentes sont donc souvent fortes. Or il est communément admis que la pente est, notamment dans les zones dont le couvert végétal a été perturbé, un des facteurs influençant le plus les pertes de sols par érosion hydrique. L'exposition peut aussi avoir un rôle ; on observe en effet que les pentes orientées plein sud, du fait de leur couvert végétal moins dense, sont plus vulnérables à l'action érosive de l'eau.

Même dans les nombreuses régions de moyenne montagne méditerranéenne dont les altitudes restent modestes, les pentes sont fortes et les cours d'eau y ont des profils très tendus. Ainsi dans l'Apennin toscan (où 86 % du bassin versant de l'Arno n'atteint pas 600 m d'altitude), les pentes inférieures à 3,5 % ne couvrent que 15 % du Bassin versant, alors que les pentes de 10 à 20 % en recouvrent 35 %, et que les pentes supérieures à 20 % occupent 25 % du bassin versant. On retrouve des caractéristiques analogues concernant

¹ la définition précise d'un mois sec est, selon Gaussen : un mois pendant lequel le total des précipitations, exprimé en millimètres, est inférieur au double de la température moyenne, exprimée en degrés Celsius.

la distribution des pentes dans le Rif, L'Atlas, Le Taurus, le Péloponnèse. D'après les données collectées par la FAO, sur l'ensemble du territoire couvert par les pays riverains de la Méditerranée, 45 % a une pente supérieure à 8 %, et 11 % dépasse 30 %. Sur les 20 pays du pourtour méditerranéen, 8 (dont l'Italie, l'Espagne et la Turquie pour ne citer que les plus grands) ont plus de 70 % de leur territoire sur des pentes dépassant 8 %.

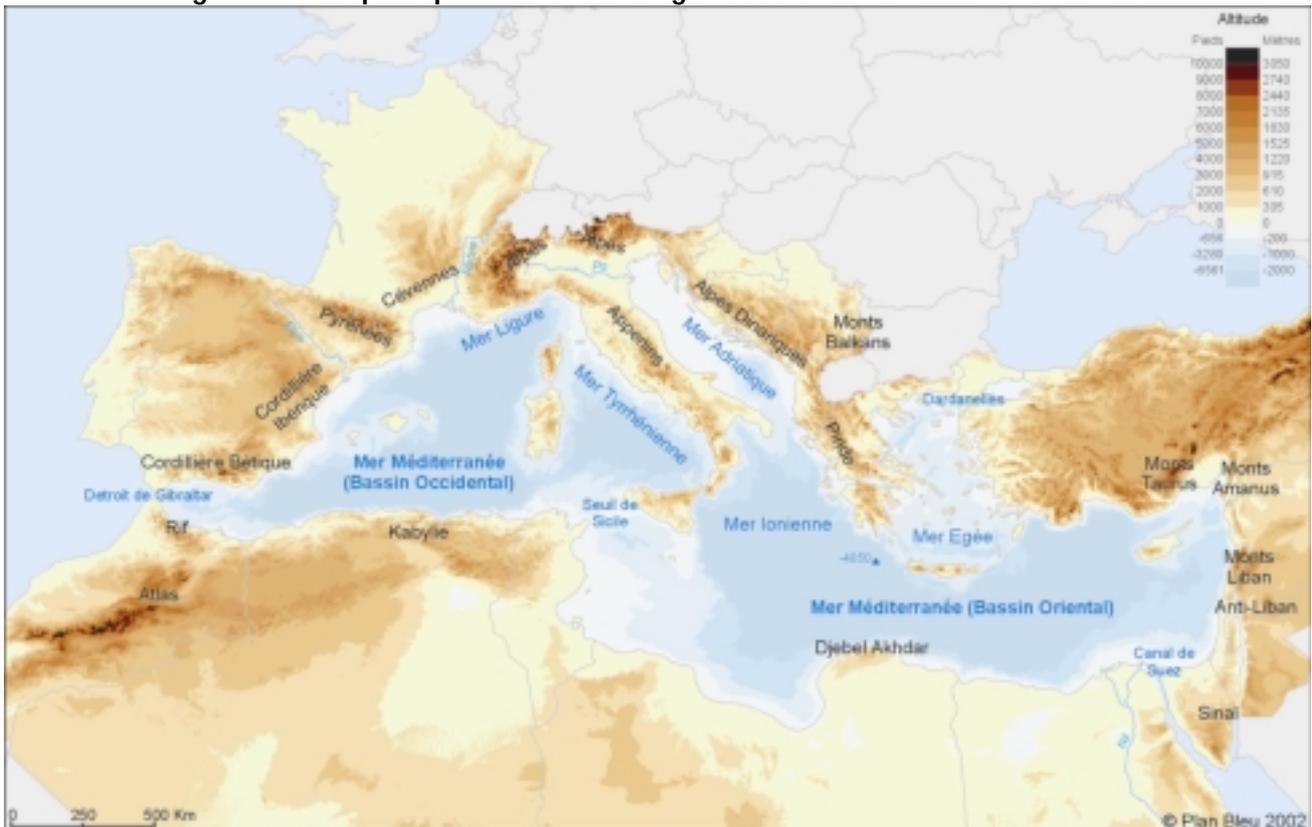
Carte 2 : Estimation de la distribution des classes de pentes de sols dans les pays méditerranéens



(Source : carte réalisée avec les données de TERRASTAT, 2001)

La tectonique explique l'importance des montagnes autour du bassin méditerranéen. Au bord de la mer ou à quelques kilomètres de la côte se dressent des montagnes récentes, hautes, aux formes mouvementées. Parmi les principales on peut citer : les Atlas, la chaîne Bétique, les Pyrénées, les Alpes, les Apennins, les massifs dinariques, le Pinde, le Taurus, le Liban... Dans la partie nord du bassin méditerranéen, les plaines importantes sont rares (Ebre, Rhône, Pô...). En revanche, dans la partie méridionale, sur des milliers de kilomètres de côtes, du Sahel tunisien jusqu'à la Galilée, en passant par le delta du Nil, les montagnes sont remplacées par une étendue habituellement plate, où le désert atteint souvent la mer.

Carte 3 : Carte générale des principales zones montagneuses des littoraux méditerranéens



(Source : Digital Chart of The World Copyright ESRI Inc., Plan Bleu)

2. Les systèmes agraires méditerranéens, et leurs évolutions

2. 1. Les systèmes anciens

Des périodes d'expansion et de régression de l'activité humaine ont alterné au cours des siècles, se traduisant par des expansions ou des régressions de la pression sur les ressources naturelles, en particulier sur les sols.

Les systèmes agraires du Néolithique reposaient largement, pense-t-on, sur la technique de la culture itinérante après « abatis-brûlis ». Ils eurent vraisemblablement des effets fortement érosifs sur certains sols.

Dès la plus haute antiquité, deux systèmes agraires très évolués se développèrent :

- D'une part un système basé sur l'irrigation, dans les plaines alluviales, en particulier du Nil en Egypte, du Tigre et de l'Euphrate en Mésopotamie. D'une simple culture de décrue sur les berges des fleuves inondées au moment des crues, on en vint progressivement à des ouvrages hydrauliques très élaborés.
- D'autre part un système en sec reposant sur la répartition de l'espace en *hortus* (jardins intensément aménagés et cultivés), *ager* (champs cultivés à l'araire, en assolement biennal céréales-jachères), *saltus* (espace plus ou moins boisé parcouru par les troupeaux) et *silva* (forêt relativement dense). Une caractéristique importante de ce système est que les troupeaux réalisaient un important transfert de fertilité, en pâtureant le jour dans le *saltus* et en déposant la nuit leurs déjections sur l'*ager* où ils étaient parqués. Ce transfert est sans doute à l'origine de la baisse de fertilité de bien des *saltus*.

Ces systèmes permirent un développement considérable de la population et de la civilisation et façonnèrent les paysages agraires méditerranéens jusqu'à l'époque actuelle, avec pour caractéristiques principales (J. de Montgolfier, 2002 (94)) :

- une base alimentaire fournie par l'assolement biennal céréales-jachères avec des rendements en général bas ;

- un recours important aux plantes pérennes (vigne, arbres fruitiers, oliviers, châtaigniers) ;
- un recours fréquent à l'irrigation (cultures de légumes et d'arbres fruitiers) ;
- une place plus ou moins grande de l'élevage, souvent familial et intégré au système agro-sylvo-pastoral, mais dans d'autres cas nomade ou transhumant ;
- un recours plus ou moins limité au travail des animaux ;
- un aménagement intensif de l'espace : terrasses, murets, restanques pour retenir la terre ; digues captages, canaux, « seghias », « fogharas » et autres ouvrages pour transporter et recueillir l'eau nécessaire à l'irrigation ;
- une utilisation parcimonieuse des rares fertilisants naturels disponibles, dont les déjections des animaux déposées au cours du parcage nocturne ;
- une économie rurale souvent assez autarcique.

2. 2. Les évolutions récentes

L'époque moderne a confronté ces systèmes agraires au « choc de la modernité » : développement des transports et mise en concurrence des productions de toutes les régions du monde ; développement des sciences et des techniques, d'où les énormes progrès des rendements agricoles et de la productivité du travail agricole rendus possibles par les engrais, les pesticides, la mécanisation ; transition démographique entraînant, dans une première phase, un accroissement très rapide de la population ; industrialisation ; urbanisation ; développement des activités tertiaires, notamment du tourisme.

Les divers systèmes agraires, et les diverses régions bordant la Méditerranée ont réagi de façons différentes à ce choc.

Les systèmes irrigués ont, en général, bien réussi à s'intensifier et à s'étendre, ce qui pose parfois de graves problèmes pour la conservation durable des sols (risques de pollutions, de salinisation).

Les systèmes en sec ont au contraire beaucoup moins bien réagi, avec des évolutions contrastées au Nord et au Sud du bassin.

Au Nord, une phase transitoire de surexploitation a souvent eu lieu (par exemple en France méditerranéenne au XIX^{ème} siècle). En général, une déprise agricole, parfois très importante, lui a succédé, provoquant l'abandon des terres dont l'exploitation était devenue économiquement marginale. Le plus souvent, cet abandon permet une remontée biologique qui se traduit par un retour à une végétation spontanée plus proche du « climax », et à très long terme pourrait permettre une reconstitution progressive des sols. Mais il présente aussi des désavantages : perte de biodiversité par uniformisation du paysage ; dégradation des terrasses et des ouvrages de petite hydraulique, risques accrus d'incendie, notamment lorsqu'un élevage relictuel a recours au feu pastoral.

Au Sud, la surexploitation, qui souvent dure encore, aboutit trop souvent à une forte dégradation des ressources naturelles, des sols en particulier, par l'extension des labours, la surcharge pastorale et le besoin de bois de feu en tant que combustible domestique. L'extension des surfaces cultivées, parfois favorisée par la motorisation, s'effectue au détriment des forêts et des parcours ; par exemple la mise en culture des pâturages les plus humides progresse à une allure particulièrement inquiétante dans le moyen Atlas (A. Conacher, 1998 (30)). Il en résulte une pression accrue du bétail, qui est repoussé sur les terres marginales, ce qui conduit à la destruction d'un couvert végétal fragile qui auparavant assurait, tant bien que mal, la protection des sols contre l'érosion. Ainsi, en Afrique du Nord, la dégradation du couvert végétal a trois sources principales : la coupe excessive des forêts, le surpâturage (les forêts denses "fermées" sont transformées en forêts "ouvertes", et peuvent même devenir des steppes) et l'extension des cultures sur des terres marginales : du fait de la pénurie de terres, même les versants les plus pentus peuvent être labourés, sans que soient pris en compte les impératifs de la conservation des sols. Les surfaces des terres cultivées augmentent rapidement, en particulier dans les piedmonts, les talus des plateaux des mesetas et dans les bas reliefs des moyennes montagnes. La céréaliculture s'est aussi développée dans des zones arides pourtant

peu favorables à cette culture. L'extension inconsidérée de la céréaliculture sporadique a conduit à la dégradation de beaucoup de steppes arides d'Afrique du Nord et du Moyen Orient.

3. La diversité des situations

Comme cela a déjà été souligné, les sols méditerranéens appartiennent à des types très divers, et sont soumis à des menaces également diverses. Avant de chercher à établir une synthèse, il est utile de bien situer cette diversité.

3. 1. Des types de sols divers

Le bassin méditerranéen est situé entre deux zones très différentes du point de vue pédogénétique : au nord, où le climat est plus humide, les sols sont généralement plus riches en matière organique et ont un taux d'humidité relativement élevé ; à l'opposé, au sud du bassin, à cause des températures extrêmes, de leurs variations rapides et du manque d'eau, la minéralisation des sols est accélérée et les sols sont très sensibles à la désertification. Les sols méditerranéens, souvent fragiles et soumis à des actions anthropiques pas toujours assez réfléchies, sont souvent « rajeunis » par l'érosion. Il en résulte qu'ils sont alors peu profonds, peu différenciés et pauvres en matière organique. Ils ont une capacité de réserve en eau faible, ce qui est un lourd handicap pour des régions où les précipitations sont très insuffisantes pour assurer la croissance des plantes. Néanmoins, il existe aussi, dans ces régions, des sols profonds, bien structurés, souvent plats ou peu pentus et retenant bien l'eau, notamment dans les plaines. Les sols azonaux, dont la dynamique est commandée par des facteurs topographiques plus que climatiques, sont nombreux.

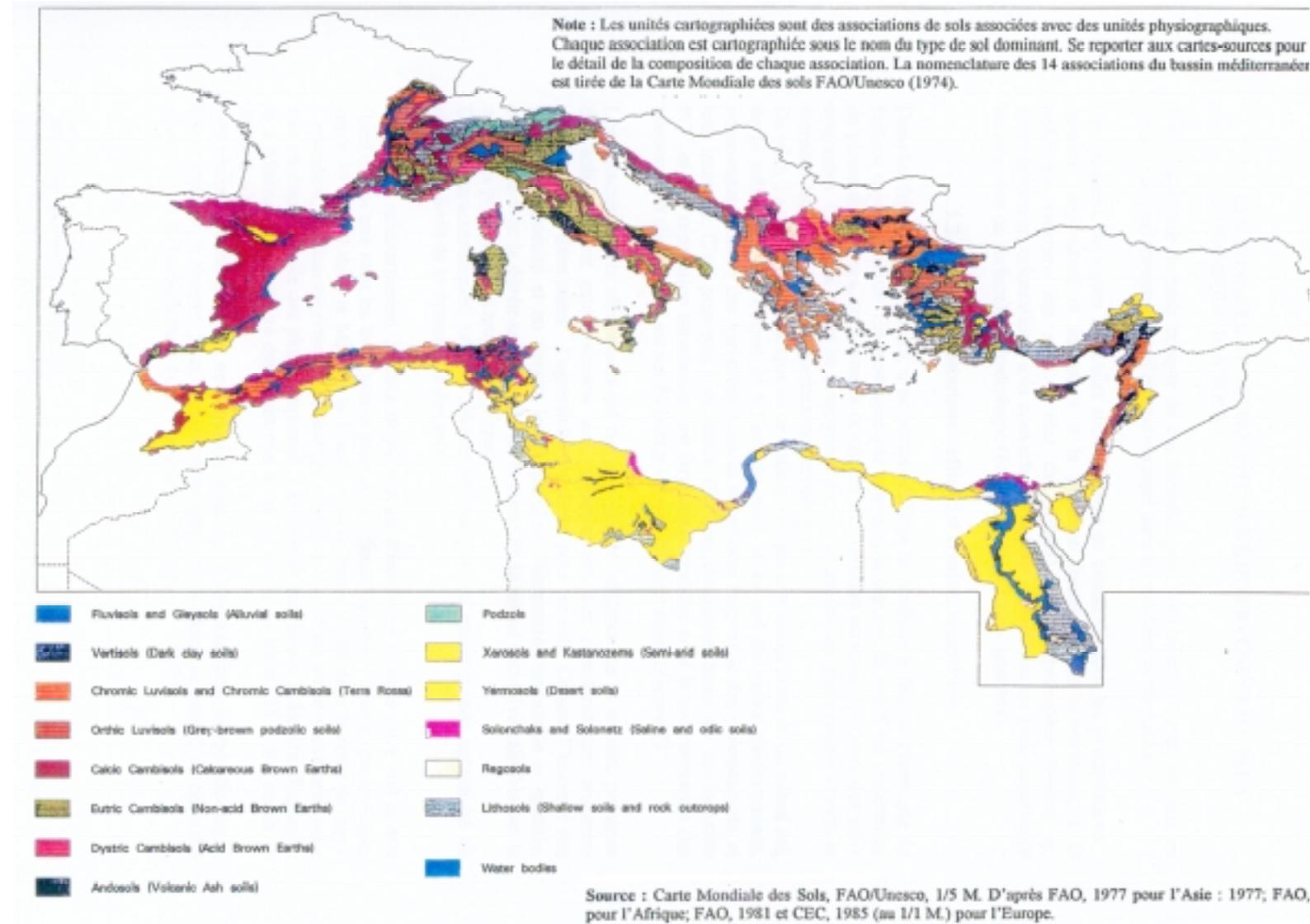
Les principaux types de sols du bassin méditerranéen, et leurs caractéristiques, sont résumés dans le Tableau 2. Leur répartition est illustrée par la Carte 4. Le groupe de sols dominants dans le bassin méditerranéen est celui des sols bruns (cambisols). Les sols les plus favorables à l'agriculture (22 % du total) sont les sols alluviaux (fluvisols), ceux de *terra rossa* (luvisols et cambisols chromiques : 8,6 %), les sols argileux sombres (vertisols), et les sols sur cendres volcaniques (andosols).

Tableau 2 : Description des principaux sols méditerranéens

Nom (différentes classifications)	Description
Fluvisols - FAO, 1988 Fluvents – Soil Taxonomy, 1975 Sols peu évolués non climatiques d'apport alluvial - CPCS, 1967	Jeunes sols alluviaux parmi les plus fertiles de la région ; presque tous sont riches en bases ou sont légèrement calcaires. Ce sont des sols très importants pour l'agriculture ; ils apparaissent dans des zones planes autour des principaux cours d'eau comme l'Ebre et le Rhône. Ils sont adaptés à une grande diversité de culture et sont très productifs, surtout lorsqu'ils sont irrigués.
Régosols - FAO, 1988 Orthents - Soil Taxonomy, 1975 Sols peu évolués non climatiques d'apport alluvial ou marin - CPCS, 1967	Jeunes sols qui apparaissent sur des terrains tendres ou meubles, souvent pentus ; ils sont peu évolués ou constamment rajeunis par l'érosion. La topographie et le stress hydrique sont leurs principales limitations même si certains, à texture plus fine, sont fertiles. Lorsque la topographie est favorable ils peuvent porter des cultures de céréales, ou de l'arboriculture irriguée. Dans les régions montagneuses et vallonnées, ces sols sont soit pâturés de manière extensive soit restent sous couvert forestier. On les trouve aussi associés aux dunes de sable ou aux sols récents déposés dans les déserts.
Leptosols - FAO, 1988 Orthens - Soil Taxonomy, 1975 Sols minéraux bruts CPCS, 1967	Sols très peu profonds, apparaissant généralement sur des terrains de roches dures pentus à très pentus. Ces sols très sensibles à l'érosion devraient être laissés sous une végétation naturelle protectrice. Lorsqu'ils sont abîmés des mesures de conservation devraient être prises. Ils sont très présents en région méditerranéenne. La forêt et le pâturage extensif contrôlé sont les utilisations les plus adaptées.
Rendzic leptosols - FAO, 1988 Xerosols - soil Taxonomy, 1975 Rendzines - CPCS, 1967	Sols, toujours sur roche mère calcaire, riches en humus, souvent peu profonds, avec des taux élevés en graviers ; ils apparaissent souvent sur des terrains accidentés. Sur des pentes faibles, le développement d'une agriculture intensive est possible (olives, figes, vignes, orge, légumes, pâtures d'hiver). Sur les sols les plus en pente la forêt et le pâturage extensif contrôlé sont les utilisations les plus recommandées.
Vertisols - FAO, 1988	Sols souvent profonds et homogènes, caractérisés par des teneurs élevées en argiles gonflantes. Ils sont particulièrement représentés au Moyen Orient et au Maghreb. Ces sols sont à bon potentiel agricole mais ils doivent faire l'objet de pratiques agricoles spécifiques pour assurer un rendement durable. Leur faible maniabilité les rend peu aptes à l'agriculture de subsistance. A moins de disposer de puissants moyens de mécanisation et d'irrigation, ces sols sont plutôt destinés au pâturage.
Luviosols chromiques - FAO, 1988 Rhodoxerafs - Soil Taxonomy, 1975 Sols rouges méditerranéens CPCS, 1967.	Sols généralement décarbonatés, mais riches en bases ; ils se développent sur différents matériaux. Les plus connus sont les terra rossa développées sur du calcaire dur. Dans les montagnes de Grèce, d'Albanie, d'Italie, de Turquie, ils sont de type caillouteux. Beaucoup sont dégradés, à cause des cultures, de la déforestation et du surpâturage. Ils sont encore largement utilisés dans tous les pays méditerranéens pour des cultures très diverses.
Calcisols - FAO, 1988 Eurochrepts - Soil Taxonomy, 1975	Sols comportant souvent une accumulation significative de carbonate de calcium à leur base ; ils apparaissent sous les climats méditerranéens les plus secs. En Afrique du Nord, ce sont surtout des terrains peu pentus utilisés pour les céréales d'hiver et pour l'élevage extensif. En Espagne (Andalousie) et en Turquie (Anatolie de l'Ouest) ces sols se trouvent sur des reliefs vallonnés ou montagneux et sont souvent caillouteux. Les principales utilisations sont alors la vigne, le pâturage ou la forêt.

(Source : d'après CIHEAM, 1993 (26))

Carte 4 : Les principaux types de sols dans le bassin méditerranéen



(Source : FAO dans Plan Bleu, 1996 (79))

3. 2. Les principales menaces

L'artificialisation

L'artificialisation désigne le phénomène d'expansion, au détriment des sols naturels ou cultivés, des sols artificialisés. Cette dernière catégorie regroupe les zones urbanisées, les zones industrielles ou commerciales, les réseaux de communication, les mines, les décharges et les chantiers. Elle conduit à la disparition irréversible d'une partie croissante de la ressource en sol. Elle touche toutes les zones méditerranéennes, en particulier les terres, autrefois agricoles, situées à la périphérie des villes. Les impacts sur les paysages et sur l'organisation de l'espace se manifestent de façon différente en fonction des territoires et des pays, mais surtout en fonction du mode d'artificialisation. En particulier, l'expansion d'une ville aura des conséquences très différentes selon qu'elle est organisée selon un mode planifié, ou qu'elle se déroule de manière anarchique, voire illégale.

Les érosions et les pertes de fertilité

Au sens restreint, la fertilité d'un sol est sa fertilité chimique ; elle concerne sa capacité à fournir aux plantes les nutriments qui leur sont nécessaires. Au sens large, la fertilité du sol inclut les fertilités chimique, biologique et physique ; elle renvoie à la capacité qu'a le sol à fournir également un bon ancrage, de l'eau et de l'oxygène aux racines des plantes ; elle dépend de sa texture, de sa structure, de sa composition, de sa perméabilité, de sa porosité, de sa profondeur, de sa capacité de réserve en eau. Beaucoup de ces facteurs dépendent eux-mêmes de la qualité de la vie biologique du sol, et en particulier des processus d'humification qui sont un élément fondamental de la dynamique des sols.

La dégradation est spectaculaire quand l'érosion (due à l'eau, au vent ou aux machines) va plus vite que la formation du sol à partir de la roche mère, et quand le sol perd ses couches superficielles et s'amincit. Mais d'autres formes de dégradation, moins visibles pour le profane, sont très graves, en termes de pertes de fertilité. C'est par exemple le cas lorsque le taux de matière organique diminue, ce qui provoque la perte de structure des agrégats, et donc la dégradation des qualités physique du sol, et peut se manifester par le tassement, la formation d'une semelle de labour, de croûtes superficielles, la réduction de la porosité du sol et par conséquent de sa capacité à retenir l'eau... C'est aussi le cas lorsque certains éléments chimiques sont lessivés et exportés (épuisement des sols en N, P, K ..., diminution de la capacité d'échange cationique) ou, au contraire, deviennent surabondants (salinisation, acidification, eutrophisation ou pollution par des substances toxiques).

La fertilité biologique étant le résultat d'un équilibre fragile entre tous les éléments de la pédosphère, elle peut être facilement modifiée, voire dégradée, par des changements physiques ou chimiques du sol.

Quand les propriétés biologiques et physico-chimiques des sols n'ont plus le temps de se renouveler naturellement, il devient indispensable que des pratiques agronomiques adéquates permettent de les renouveler artificiellement (A.Ruellan, Dégradation et gestion des sols, CNEARC Sept.93).

Encadré 1 : Définition de l'érosion d'après Roose

Erosion vient de « ERODERE » verbe latin qui signifie ronger. L'érosion ronge la terre comme un chien s'acharne sur un os. D'où l'interprétation pessimiste de certains auteurs qui décrivent l'érosion comme une lèpre qui ronge la terre jusqu'à ne laisser qu'un squelette blanchi : les montagnes calcaires qui entourent la Méditerranée illustrent bien ce processus de décharnement des montagnes dès lors qu'on les défriche et qu'on brûle leur maigre végétation (ex : Grèce). En réalité c'est un processus naturel qui certes, abaisse toutes les montagnes, mais en même temps l'érosion engraisse les vallées, forme de riches plaines qui nourrissent une bonne partie de l'humanité. Il n'est donc pas forcément souhaitable d'arrêter toute érosion, mais de la réduire à un niveau acceptable, tolérable.

(Source : E. Roose, 1994 (128))

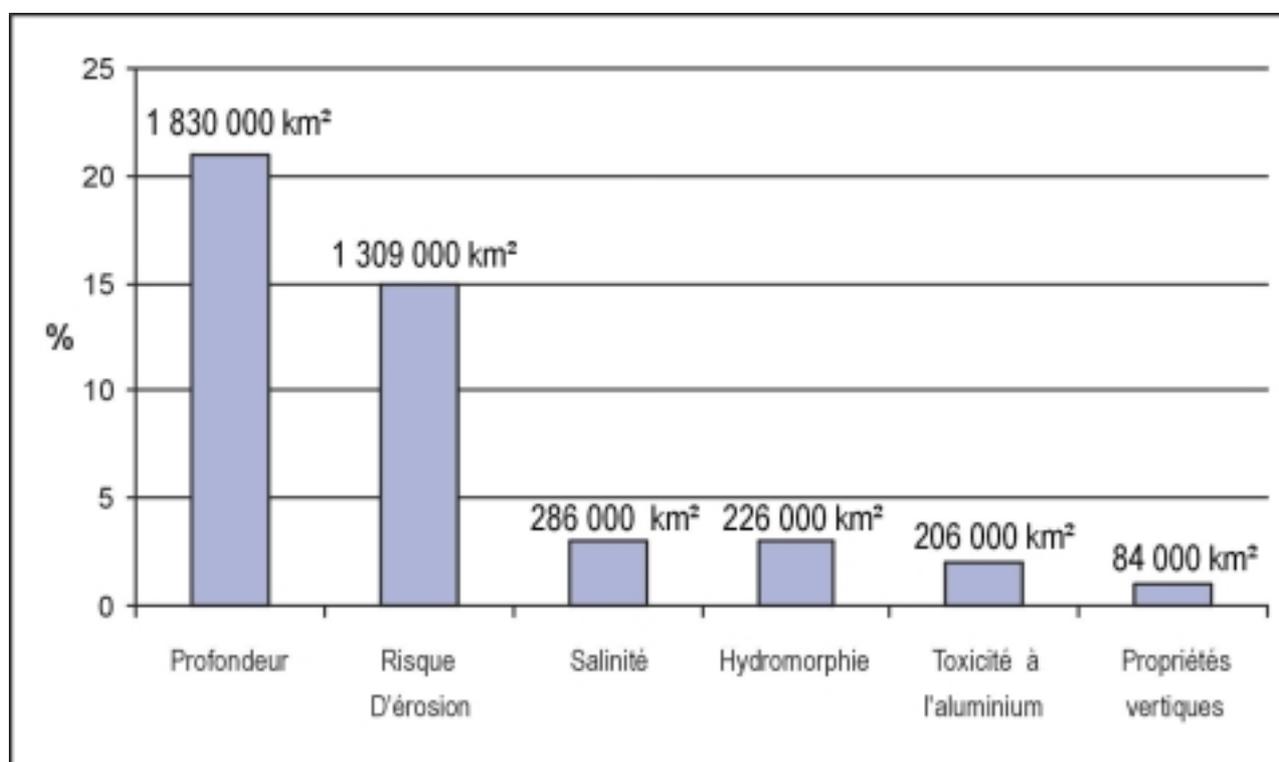
Les pollutions

Ici le terme de pollution renvoie à la dégradation par accumulation dans le sol de substances qui auront un effet néfaste sur son équilibre. Les pollutions les plus évidentes sont dues aux substances toxiques fabriquées et répandues par l'homme. Il existe aussi des pollutions non directement toxiques, et parfois même favorables pour les plantes, mais qui peuvent exercer une action perturbatrice du fait de leur trop grande concentration (les nitrates par exemple).

Les fonctions du sol les plus affectées par la pollution sont les capacités de filtrage et d'auto-épuration. Si celles-ci sont trop sollicitées, elles ne s'effectuent plus correctement, et les « capacités de charge » sont dépassées, d'où des risques tels que la pollution des eaux, superficielles ou souterraines, provenant de sols pollués, la pollution des chaînes alimentaires par des plantes ayant poussé sur des sols pollués, et même la pollution de l'air par des émanations gazeuses.

Ces différentes formes de menaces sont d'autant plus graves qu'une proportion élevée des sols cultivables méditerranéens est soumise à divers facteurs limitants rappelés dans la Figure 1.

Figure 1 : Les principales limitations affectant les sols des pays méditerranéens



(Source : d'après la FAO, base de données TERRASTAT, 2001)

Les valeurs indiquées en km² correspondent à la somme des superficies nationales affectées. Le pourcentage correspond au rapport entre la superficie affectée sur la surface cultivable cumulée de tous les pays (8 700 000 km² environ).

PARTIE 2 : LES PERTES DE SOL PAR ARTIFICIALISATION

1. Les principales causes de l'artificialisation des sols

Parmi les pressions responsables de l'artificialisation croissante des territoires en Méditerranée, on peut en distinguer principalement trois :

- le développement de la population urbaine, dû à l'exode rural, à la croissance démographique ou à l'immigration ;
- le développement de nouvelles activités comme le tourisme, notamment sur les côtes, et les industries autour des villes, ainsi que celui des infrastructures associées ;
- les changements de mode de vie, entraînant un habitat de plus en plus dispersé.

Les modalités suivant lesquelles ces pressions s'expriment ne sont pas identiques dans les pays du Nord et dans les pays du Sud et de l'Est de la Méditerranée, mais leurs impacts sur les milieux environnants sont souvent analogues.

1. 1. La pression démographique dans les zones urbaines

La population des pays riverains est passée de 285 millions en 1970 à 427 millions en 2000 et pourrait atteindre 524 millions en 2025 selon les projections du Plan Bleu (Plan Bleu, 2001 (121)). Les phénomènes d'exode rural et de littoralisation deviennent aujourd'hui particulièrement importants en Turquie et dans certains autres pays du Sud et de l'Est du bassin. L'importance de la croissance urbaine, en particulier près des côtes, s'explique par plusieurs raisons, notamment : l'exode rural dû à la déstructuration de l'économie et des sociétés rurales traditionnelles des arrières pays ; le développement des activités économiques à proximité des agglomérations et du littoral (y compris certains grands travaux de mise en valeur agricole des plaines côtières), souvent favorisé par les grandes infrastructures de transport ; le développement très rapide du tourisme national et international. Ces facteurs, se cumulent avec l'accroissement démographique naturel des villes.

1. 2. Le développement d'activités consommatrices d'espace

D'une manière générale, au Nord comme au Sud, le développement du tourisme est à l'origine d'une artificialisation massive. Par exemple, dans la région de Marbella-Málaga sur la côte andalouse (Espagne), les images par satellite issues du programme européen "Lacoast" (images Corine Land Cover) permettent de montrer l'importance et la vitesse de l'artificialisation : sur une bande littorale large de 1 kilomètre, la partie artificialisée est passée de 37 % du total en 1975 à 68 % en 1990 (soit un accroissement de 83 % sur la période, avec un taux de croissance annuel de 4 %). Cette progression s'est réalisée essentiellement aux dépens des terres agricoles (passées de 26 % à 9 %, soit une perte de 64 %), des forêts et des milieux semi-naturels (qui ont régressé de 22 %) et des surfaces en eau (passées de 1,20 % du total à 0,20 %). (Plan Bleu, 2000 (120)).

De même, avec des territoires artificialisés représentant 35 % de la surface d'une bande côtière de 10 kilomètres, le littoral des Alpes Maritimes (France) est aujourd'hui le plus artificialisé parmi tous les départements côtiers français (la moyenne est de 10 % en Méditerranée française). La croissance urbaine du littoral, induite par l'exode rural et plus encore par le développement du tourisme côtier résidentiel, est ancienne et très importante. En un siècle, certaines communes côtières ont ainsi vu leur population multipliée par 7, alors que celles de l'arrière-pays déclinaient parfois fortement. Compte tenu du seuil de saturation littorale déjà atteint, l'étalement urbain se déporte vers l'intérieur ("moyen pays") aux dépens essentiellement des terres agricoles (disparition progressive des exploitations horticoles, arboricoles et maraîchères) : sur la

bande de 0 à 2 km, celles-ci sont passées de 12 % de la superficie en 1975 à 8 % en 1990. En revanche, les forêts et milieux semi-naturels, mieux protégés, ont mieux résisté (ils sont passés de 28,45 % en 1975 à 27,75 % en 1990). (Plan Bleu, 2001 (121))

A Malte, c'est l'étalement urbain et le développement du secteur tertiaire de l'économie (services commerciaux, tourisme), qui restreint la part relative des espaces naturels locaux, déjà réduits. De ce fait la construction urbaine dévore l'espace, réduisant le secteur agricole à d'étroits jardins.

L'exemple d'Israël, étudié par Sofer, Feitelson, et Amiran dans (Y. Gradus et al, 1997 (65)), est très illustratif. Comme dans la plupart des pays développés, l'avancée des techniques agricoles y a augmenté considérablement la productivité du travail, réduisant fortement les besoins en main d'œuvre agricole. Face à cette situation, les agriculteurs, souvent endettés, ont le choix entre quitter leurs exploitations pour chercher une activité en ville, ou se convertir à d'autres activités (commerciales, industrielles) tout en restant sur place. La majorité des agriculteurs israéliens ont choisi la deuxième solution, ce qui a favorisé le développement d'activités industrielles et commerciales, et a conduit à l'artificialisation de nombreux terrains agricoles. La mutation des zones rurales a été renforcée pendant les années 90, lorsqu'une immigration très importante des pays de l'ex U.R.S.S. (presque 660 000 arrivants entre 1989 et 1995) a obligé les pouvoirs publics à mobiliser des terres pour la construction de logements. Au total, la demande de logement des immigrants, à laquelle s'ajoutait aussi celle des citoyens attirés par le supposé calme des campagnes, a conduit irrémédiablement à l'artificialisation de terres agricoles, parmi les plus fertiles, autour des villes. L'absence d'un cadre réglementaire fort, et d'une planification territoriale adaptée à la nouvelle situation, a permis l'extension d'une urbanisation plus ou moins anarchique, le développement d'activités parfois illégales et polluantes, le tout dégradant la qualité des ressources en eau, de l'air et des sols, ainsi que la qualité de la vie en milieu rural.

1. 3. Les changements des modes de vie et d'habitat

Dans tous les ensembles urbains méditerranéens, les superficies urbanisées progressent beaucoup plus vite que le nombre des habitants. Dans les pays du Nord, par rapport au modèle dense des villes européennes qui existait il y a 40 ans, le nouveau modèle est beaucoup plus consommateur d'espace. La dilatation des villes n'y est plus liée à l'exode rural, ou à une pression démographique accrue, mais à un changement des modes de vie. Les villes du Nord de la Méditerranée évoluent en effet vers un nouveau modèle où les habitants recherchent un cadre de vie plus spacieux. La facilité de transport due au tout automobile permet de travailler en ville et d'habiter « à la campagne ». Ce phénomène a été d'autant plus important que les pays ont été plus fortement et plus tôt ouverts à l'économie mondiale. La France méditerranéenne, L'Italie, puis l'Espagne et la Grèce ont ainsi été successivement et profondément affectées. Outre le fait que l'amélioration des transports a rendu l'habitat en zone rurale plus attrayant aux yeux des citoyens, l'amélioration des réseaux routiers et les opportunités d'emplois à la ville ont encouragé les ménages ruraux à se tourner vers le marché de l'emploi urbain.

A **Chypre**, les plans locaux d'urbanisation ont alloué une surface disproportionnée pour la construction, alors que les centres villes se vidaient de leur population. Ces plans concernaient essentiellement des zones vierges au détriment des zones déjà construites, pour lesquelles les tentatives de rénovation ont été rares. Par exemple la croissance urbaine de Nicosie, s'est, depuis 1960, surtout réalisée aux abords de la ville avec l'addition de quartiers résidentiels, tout en laissant vides, à l'intérieur des limites de la ville, des pans entiers de terrains urbains. Des estimations rapportées par le plan local de Nicosie montrent qu'entre 1982 et 1999 la surface accordée au développement urbain s'est accrue de 66 % alors que la population n'avait augmenté que de 38 %. Le rapport entre l'accroissement de la surface urbanisée et l'accroissement de la population a donc été de 1,7. Les deux principaux facteurs mis en cause sont : 1/ la tendance à surévaluer les besoins en développement urbain dans les plans locaux ; 2/ les pressions sociales exercées par les propriétaires fonciers pour faire classer les terres agricoles en terres urbanisables, pour la spéculation foncière. En effet, malgré une offre potentielle de terrains à construire disproportionnée par rapport à la demande effective en logements, les

prix continuent à grimper, surtout dans les zones périurbaines, en anticipation de changements futurs dans l'utilisation des terres, de l'agricole vers le résidentiel (Plan Bleu, 2001 (144)).

Les pays du Sud connaissent, eux aussi, l'étalement périphérique des villes. On y constate, en particulier dans les pays du Maghreb, un dualisme dans les formes urbaines : d'une part on observe un large étalement de l'habitat dans les lotissements organisés pour les catégories solvables de la population ; d'autre part, on voit une forte concentration de l'habitat informel ou spontané des catégories insuffisamment ou irrégulièrement solvables de la population. L'étalement tentaculaire des villes dans le sud de la Méditerranée s'accompagne d'un considérable transfert dans les modes d'utilisation des sols, avec perte de terres agricoles, d'autant plus précieuses qu'elles sont en quantités limitées.

2. Importance du phénomène

Bien que l'étalement urbain soit un phénomène bien connu et reconnu par la plupart des auteurs et des acteurs politiques, on dispose à l'heure actuelle de très peu de données fiables le concernant. Les données relatives à la « consommation » des terres agricoles par les villes sont déjà assez limitées pour les pays d'Europe, et le sont encore plus pour les pays Sud et de l'Est du bassin méditerranéen. La comparaison entre les pays est donc très difficile, d'autant plus qu'il existe de grandes différences entre les sources consultées.

Même en **Egypte**, où cette question est si importante, il n'y a pas correspondance entre les chiffres cités par différentes sources. Ainsi, d'après un rapport du Ministère de l'Environnement égyptien (EEAA, 1997 (44)), environ 750 000 feddans de terres agricoles ont été artificialisées en Egypte entre 1960 et 1990 (environ 315 000 ha, soit environ 10 000 ha par an, ce qui représente 0,29 % des 3 500 000 ha de terres arables de l'ensemble du pays en 1994). Depuis 1990, les pertes moyennes en terres agricoles seraient estimées à 30 000 feddans par an (environ 12 600 ha, ce qui représente 0,36 % des terres arables existant en 1994). Or, d'autres chiffres cités par M. Chaline (Plan Bleu, 2001 (24)) font état d'une perte de 25 000 ha de bonnes terres agricoles en moyenne annuelle depuis 1952 (ce qui représenterait au total 1 225 000 hectares en 49 ans, soit 35 % des terres arables de l'ensemble du pays) du fait de l'artificialisation.

Au **Liban**, près de 7 % de l'ensemble des terres arables de l'ensemble du pays en 1994, et une part plus grande encore (15 %) des terres irriguées, ont disparu à cause de l'extension des zones urbaines dans les 20 dernières années (Plan Bleu, 1999 (117)). En **Tunisie**, la croissance de Sfax, depuis 1992, aurait absorbé 9 000 ha de jardins agricoles. En **Algérie**, l'étalement mal maîtrisé du Grand Alger aurait dévoré 140 000 ha de terres fertiles, notamment dans la plaine de la Mitidja. En **Turquie**, environ 150 000 ha de bonnes terres agricoles auraient été irréversiblement perdues par artificialisation entre 1978 et 1998 (Plan Bleu, 2001 (24)). A **Malte**, jusqu'en 1910, 6 % seulement de la surface des îles maltaises était urbanisée, contre plus de 21 % actuellement (28 % si l'on ne prend en compte que l'île principale). Au moins 6 % des îles maltaises sont artificialisées sous forme de voies de circulation et de carrières (A. Baldacchino et al, 1999 (7)). Sans citer de chiffres, l'AEE estime que dans la plupart des pays européens la surface de terre perdue par urbanisation dépasse celle touchée par l'érosion (EEA, 1998 (40)). En **France**, l'artificialisation des terres constituerait la principale menace sur les sols et concernerait chaque année une moyenne de 40 000 ha selon l'Institut français pour l'environnement (IFEN, 1999 (71)), ou 50 000 ha selon M. Chaline (Plan Bleu, 2001 (24)). En **Italie**, 30 000 ha de terres agricoles très productives disparaîtraient chaque année (Italia, Ministero dell' Ambiente, 1997 (73)). En **Grèce**, les pertes de bonnes terres agricoles dues à l'empiétement de zones industrielles et urbaines entre 1971 et 1981 étaient (sous-)estimées à au moins 20 000 ha (ce qui représente 0,57 % des terres arables de l'ensemble du pays en 1994) (Greece, Ministries of Foreign Affairs, National Economy and Environment, Physical Planning and Public Works, 1992 (66)).

Le Tableau 3 recense les chiffres trouvés dans la littérature disponible concernant les pertes de terres par artificialisation. En dépit d'une certaine réserve quant aux chiffres rapportés, nous avons choisi de les citer car ils permettent de donner un ordre de grandeur de l'ampleur des surfaces concernées.

Tableau 3 : Artificialisation des terres agricoles dans différents pays méditerranéens

Pays	Période	Pertes agri. sur période (ha)	Surface arable en 1994 (ha)	Pertes / surface arable de 1994 (%)	Pertes annuelles / surface arable de 1994 (%)	Source des données
Algérie	Non précisé	(1) 140 000	8 043 000	1,75		Documents officiels d'aménagement du territoire cités dans Chaline - Plan Bleu, 2001 (24)
Chypre*	1985-2001*	(2) 3 200	143 000	2,24	0,14	Glafkos Constantinides dans Chaline - Plan Bleu, 2001 (24)
Egypte	1960-1990	315 000	3 500 000	9,00	0,30	EEAA, 1997 (44)
Egypte*	1990-1996*	75 600	3 500 000	2,16	0,36	EEAA, 1997 (44)
Egypte*	1952-2001*	(3)		35,00	0,71	Galila El Kadi dans Chaline - Plan Bleu, 2001 (24)
France	1991-1997	(4) 230 000	19 488 000	1,18	0,20	IFEN, 1999 (71)
France	Année non précisée	50 000	19 488 000	0,26	0,26	Chaline - Plan Bleu, 2001 (24)
Grèce	1971-1981	(5) 20 000	3 502 000	0,57	0,06	Greece, Ministries of Foreign Affairs, National Economy and Environment, Physical Planning and Public Works, 1992 (66).
Italie	Année non précisée	(6) 30 000	11 143 000	0,27	0,27	Italia, Ministero dell' Ambiente, 1999 (73).
Liban	20 dernières années	20 000	306 000	6,54	0,33	Abu-Jawdeh dans Plan Bleu, 1999 (117).
Liban	20 dernières années			(7) 15		Abu-Jawdeh dans Plan Bleu, 1999 (117).
Malte*	1910-1999*	4 800	13 000	36,92	0,41	Ministère des affaires étrangères maltais (A. Baldacchino (7))
Tunisie	1972-1994	(8) 9 000	4 952 000	0,18	0,01	Plan Bleu, 2001 (115)
Tunisie	1993	(9) 4 000				Données officielles tunisiennes citées par Souissi dans Plan Bleu, 2000 (118)
Turquie	1978-1998	150 000	27 771 000	0,54	0,03	Huybrechts dans Chaline - Plan Bleu, 2001 (24)

* indique que l'année de fin de période n'était pas indiquée par la source et que l'année prise arbitrairement est celle de publication.

- (1) autour du Grand Alger
- (2) autour de Nicosie
- (3) le chiffre de 35 % paraît concerner la région du Caire, et non l'ensemble du pays
- (4) total des terres artificialisées en France
- (5) (Sous) estimation des bonnes terres agricoles artificialisées
- (6) Terres agricoles très productives
- (7) Terres irriguées
- (8) Jardins agricoles autour de Sfax
- (9) Artificialisation du littoral tunisien

3. Impacts sur les sols

Une des conséquences les plus graves de l'urbanisation est la destruction irréversible des terres dans des zones à fort potentiel agricole ou à forte valeur écologique. C'est le cas notamment en **Syrie**, en **Egypte**, et en **Algérie**, où la perte de potentiel agricole rend ces pays de plus en plus dépendants de l'importation de

produits alimentaires. Dans les périphéries des villes, le développement des surfaces artificialisées (zones industrielles, commerciales, réseaux de transports et autres infrastructures, décharges autorisées ou non), étend la destruction des sols bien au-delà des espaces effectivement construits.

L'ensemble des impacts négatifs de l'expansion urbaine sur les terres qu'elle s'approprie, est bien décrite pour la ville du Tiaret en **Algérie**. Cette ville a comme origine une redoute militaire édifée en 1854, au centre d'une région agricole. Entre 1962 et 1992 la ville est passé de 40 000 habitants sur une surface construite d'environ 240 ha, à 160 000 habitants sur près de 3 000 ha (Université de Nice, 1992 (152)) :

Encadré 2 : Impacts négatifs de l'expansion urbaine sur les terres pour la ville du Tiaret en Algérie

"(...) apparition de bad-lands (...) tout autour des terrains d'assiette des nouvelles cités périphériques et des zones d'activités, autour des aires à habitat précaire spontané (...), les aires inondées par des effluents industriels ou domestiques, le mitage de la banlieue agricole par de petites constructions éparses provisoires, l'utilisation de la forêt aux portes de la ville par le pacage des petits troupeaux des populations d'exode rural massées dans l'habitat précaire, les remblais et déblais des nouvelles voies d'évitement... etc. On n'en finit pas de dénombrer les causes de la minéralisation du milieu originel."

(Source : Université de Nice, 1992 (152))

A cette liste non exhaustive on peut ajouter l'augmentation des risques pour les habitants des villes et des alentours (inondations, glissements de terrain, incendies en pinèdes (voir Encadré 3)), ainsi que l'expansion des zones contaminées par les déchets. En **Egypte** par exemple, des zones autour des principales agglomérations (le Caire) sont utilisées comme décharges pour les déchets de construction, de mines et de carrières, ainsi que pour les déchets urbains (EEAA, 1997 (44)).

Les impacts de l'artificialisation ne sont évidemment pas les mêmes selon qu'elle consomme des terres à haut potentiel agricole ou des surfaces désertiques. D'ailleurs, comme l'indique très justement Huybrechts (Plan Bleu, 2001 (69)) « Il convient (...) de dépasser le stade des analyses quantitatives de consommation de territoires agricoles ou naturels pour mettre l'accent sur la qualité des espaces mis sous pression. » Il cite pour exemple la ville de Damas, en Syrie, où l'extension de l'urbanisation s'est fait principalement au détriment de l'oasis qui la bordait, compromettant ainsi une ressource exceptionnelle. Néanmoins, la politique nationale de la réforme agraire a permis de créer des nouvelles surfaces agricoles sur des centaines de milliers d'hectares en Syrie, ce qui aurait largement compensé quantitativement les espaces consommés par l'urbanisation. Comme l'affirme par ailleurs Huybrechts (ibid.) : « Dans une économie de flux, les analyses locales perdent leur sens. ». Malheureusement, les analyses portant sur la qualité des espaces, et établissant des comparaisons ne sont que très rarement disponibles ... Il convient encore de souligner que, au-delà de la qualité des terres concernées, l'ampleur des impacts négatifs de l'artificialisation sur les sols dépend aussi des modalités de développement urbain en cours. Ainsi, là où les villes se développent de façon non réglementée, les problèmes de gestion des déchets, de construction en zone à risque (terrains à forte pente, risques d'éboulement), et de pollution sont plus aigus que si des politiques nationales ou locales avaient su faire face à l'ampleur des besoins de logement, maîtriser le foncier et freiner l'exode rural vers les grandes agglomérations. De même, on peut imaginer différents types d'urbanisation et d'artificialisation, plus ou moins friands d'espace, plus ou moins « consommateurs » de sols et d'environnement. Enfin, on pourrait examiner la question de l'optimum à trouver, du point de vue de la rationalité économique, entre la surconsommation, voire le gaspillage, par les villes d'excellentes terres agricoles, et les grands investissements nécessaires pour ensuite créer de nouvelles terres agricoles en zone peu fertile.

Encadré 3 : Amplification des risques de catastrophes "naturelles" liés à l'artificialisation des sols dans le bassin méditerranéen

Risques d'inondations

L'artificialisation des terres implique leur imperméabilisation plus ou moins importante, ce qui limite les infiltrations d'eau dans le sol et la recharge des nappes, et de ce fait augmente la quantité d'eau à évacuer par ruissellement. Des études menées en Israël ont montré que, alors que le coefficient de ruissellement ne représente que 1 à 2 % dans des zones karstiques, le bétonnage de celles-ci lui fait atteindre des valeurs proches de 50 % (A. Conacher, 1998 (30)). A titre d'exemple on peut aussi citer la ville de Dingli à Malte qui, pour des pluies analogues, devait évacuer 45 000 m³ d'eau de ruissellement en 1968, et 35 000 m³ de plus, soit 80 000 m³, en 1988. Il est aisé de comprendre que si des dispositions adéquates ne sont pas prises pour l'évacuation des eaux de ruissellement dans les villes et leurs alentours, l'artificialisation des terres, et en particulier la construction en zones inondables, ne fait qu'augmenter la fréquence et l'intensité des inondations, et par conséquent l'ampleur des dégâts occasionnés par celles-ci. Citons par exemple les inondations catastrophiques de la ville de Nîmes (France), où, le 3 octobre 1988, plus de 420 mm de pluie sont tombés en 6 heures sur les collines qui dominent la ville, laissant 11 morts et 4 milliards de FF (610 millions d'Euros) de dégâts (E. Roose, 1991 (129)). En Italie, des pluies de magnitude moins exceptionnelle ont causé des dégâts considérables ainsi que quelques morts à Gènes pendant les hivers de 1993/94 et 1994/95 (A. Conacher, 1998 (30)).

En 2001, à Alger « Des pluies diluviennes, qui s'étaient abattues sur la capitale le samedi 10 novembre, avaient submergé de nombreux quartiers de la ville et plus particulièrement Bab-El-Oued. (...) Des torrents de boue avaient dévalé les collines situées au-dessus de Bab-El-Oued, en emportant des centaines de voitures et de camions qui circulaient sur une autoroute en forte pente menant à ce faubourg de l'ouest d'Alger. » Bilan humain des inondations : le 28 novembre le Ministère de l'Intérieur dénombrait 757 morts, dont 706 à Alger, et 150 disparus.

(source : http://www.cyberpresse.ca/reseau/monde/0111/mon_101110040844.html, consulté le 08/01/02).

Glissements de terrain

La construction de routes sur les zones sensibles aux glissements de terrain peut augmenter la fréquence des glissements de terrain et en amplifier les dégâts matériels. Fait aux conséquences parfois tragiques, le développement de constructions anarchiques sur des terrains instables situés sur des collines pentues à proximité des villes peut entraîner de très graves catastrophes lorsque ces terrains s'effondrent à la suite de pluies diluviennes ou de tremblements de terre.

Incendies

En Espagne, l'augmentation du niveau de vie a conduit depuis les années 1970 à un accroissement des maisons individuelles construites dans les pinèdes. Parallèlement, on a pu observer un accroissement du nombre d'incendies de pinèdes (A. Conacher, 1998 (30)). Le même phénomène est bien connu en France. La multiplication des constructions dans les zones boisées augmente le nombre de départs d'incendies accidentels, et accroît fortement le coût de la lutte, car la présence de plus de véhicules de lutte, et de plus de sapeurs-pompiers est nécessaire pour protéger, en cas d'incendie déclaré, les nombreuses habitations dispersées en forêt.

4. Quelles réponses à la consommation des terres par l'artificialisation ?

4. 1. Les réponses existantes

Les compétences en matière d'aménagement du territoire et de développement des villes, des réseaux de transport, du tourisme etc. sont réparties de manières très diverses, selon les pays, entre les autorités nationales et les collectivités territoriales. Dans les pays de la rive nord-ouest (Espagne, France, Italie), les

autorités locales (régions, provinces ou départements, communes) ont plus de pouvoirs dans ce domaine que dans les autres pays.

Dans tous les pays, les services de l'Etat ou des collectivités, qui préparent les documents d'aménagement sont amenés à consulter d'autres acteurs sociaux, comme les représentants des intérêts privés (chambres de commerce et de l'industrie, chambres des industries du tourisme, syndicats agricoles etc.), les autres administrations et services publics (énergie, transports, agriculture, environnement etc.), ainsi que les associations représentatives (notamment, les associations de protection de l'environnement et du cadre de vie). La « bonne gouvernance » du processus d'aménagement et de développement du territoire dépend fondamentalement de la qualité et de l'efficacité des procédures permettant la participation de tous les acteurs concernés. Cette participation devrait permettre à l'action publique de s'appuyer sur le concours de l'ensemble des forces de la société.

Du point de vue institutionnel, le plus souvent, les pouvoirs nationaux et locaux organisent leur politique de gestion et d'aménagement de l'espace au moyen de plans établis selon des échelles emboîtées : plans de développement nationaux, régionaux, du littoral, urbains, ... Le système hiérarchique français qui descend du niveau des schémas nationaux et régionaux aux schémas de cohérence territoriale (SCOT) et aux PLU (plans locaux d'urbanisme) en est un bon exemple. Les moyens mis en œuvre pour appliquer ces plans incluent des moyens fonciers (acquisition), réglementaires (droit de préemption, d'expropriation ...), et économiques (taxes, subventions).

4. 2. Les principales limites

Surestimation de la demande : Parfois, par exemple à Chypre ou à Malte, les prévisions de la demande ont estimé des besoins en terres à urbaniser bien supérieurs à ce qui était effectivement nécessaire ; en conséquence, des surfaces exagérément grandes de terres « vierges » ont été concédées pour une urbanisation à faible densité.

Mauvaise intégration institutionnelle : Trop souvent, l'intégration institutionnelle est insuffisante entre les différents niveaux de décision et d'intervention concernés par l'aménagement du territoire. Dans certains cas, les plans sont basés sur des analyses uniquement locales qui ne permettent pas d'assurer la cohérence des plans d'aménagement au niveau national, voire régional ; dans d'autres cas, à l'inverse, l'Etat définit des priorités générales d'action qui ne sont pas forcément adaptées aux situations locales particulières, et ne laisse pas aux acteurs proches du terrain (collectivités territoriales et autres) la responsabilité de l'adaptation et de la réalisation des plans.

Mise en application limitée des plans prévus : L'échec relatif des politiques de maîtrise des constructions est souvent lié à des déficiences dans la mise application des plans prévus, faute de moyens ou de volonté. Ainsi, une étude internationale du Conservatoire français du Littoral (P. Bougeant, 2001 (16)) a montré que, dans les pays méditerranéens de l'Union européenne (Italie, Grèce, Espagne, France et Portugal), la protection du littoral par la loi et la réglementation n'a eu, jusqu'à présent, qu'une efficacité relative, du fait du manque d'application des règlements.

L'existence de tensions foncières spéculatives extrêmement fortes et l'insuffisance de la mobilisation des autorités publiques, peuvent expliquer l'échec relatif des plans d'aménagement. Comme le rappelle Huybrechts (Plan Bleu, 2001 (69)), dans une économie de marché le prix du foncier augmente sous l'effet de la pression urbaine. Il cite pour exemple les zones périurbaines au Liban où le prix des terres agricoles est multiplié au moins par dix, voire par cent, ce qui change totalement les perspectives d'enrichissement des propriétaires des espaces agricoles : en vendant une parcelle à plus de 50 \$ le m², ils toucheront plus que ce qu'ils peuvent attendre d'une vie entière d'activité professionnelle ! Ce problème se retrouve dans de nombreux pays. L'influence des intérêts économiques immédiats est particulièrement sensible sur le littoral, notamment dans les secteurs touristiques. Ceux-ci y sont d'ailleurs tellement forts que souvent les plans

d'aménagement donnent aux équipements touristiques une place prioritaire sur le littoral, où les aménageurs confondent parfois site naturel et site à potentiel touristique.

Afin de réaliser des plans d'aménagement du territoire plus efficaces, une meilleure prise en compte des contraintes liées aux pressions financières est indispensable. Dans certains cas, il pourra être intéressant d'établir des mesures comportant des systèmes de péréquations compensant les pertes de valeur foncière dues à la conservation d'espaces naturels ou agricoles. Dans les cas où la réglementation n'est pas assez coercitive, et n'entraîne pas d'obligations assez fortes, l'acquisition de terrains demeure la meilleure voie pour engager une protection active.

D'après les projections du Plan Bleu (Plan Bleu, 2001 (121)) le taux d'urbanisation dans le bassin méditerranéen, devrait passer de 64,3 % en 2000 à 72,4 % en 2025. Face à ces évolutions, et aux menaces qu'elles entraînent pour l'environnement et le développement à long terme, si les gouvernements veulent traduire dans les faits une volonté politique forte visant à maintenir des espaces non artificialisés, et à limiter les impacts négatifs de l'urbanisation, il leur faudra partout renforcer leurs politiques de gestion intégrée et durable des écosystèmes naturels ou agricoles précieux. Pour que ces politiques soient efficaces, et afin de ne pas reproduire les échecs passés, les améliorations doivent porter notamment

- sur une conception plus cohérente des plans d'aménagement du territoire,
- sur une application plus conséquente de ces plans,
- sur la mise en place d'outils adaptés à la gestion foncière, et en particulier à la conservation durable des meilleures terres agricoles,
- sur des efforts accrus de valorisation de l'agriculture périurbaine.

PARTIE 3 : LES EROSIONS ET LES PERTES DE FERTILITE

1. Mécanismes et causes

1. 1. La diversité des processus

On distingue souvent l'aspect proprement quantitatif de l'érosion (par exemple en évaluant les pertes de matériau du sol en tonnes par hectare et par an) de ses aspects plus qualitatifs (dégradation de la structure, diminution de la fertilité). En pratique ces différents aspects sont étroitement liés entre eux.

Les mécanismes en cause sont souvent complexes. Ils associent des phénomènes naturels (effets des précipitations, du vent, du ruissellement, des infiltrations, des alternances gel/dégel ou humidité/dessiccation...) et des actions anthropiques néfastes (labours mal réalisés, compactage par des engins trop lourds, non-restitution par des amendements adéquats des nutriments exportés par les récoltes, surpâturage, surexploitation des ressources forestières, irrigations mal conduites...). Selon leurs caractéristiques (position topographique, type pédologique, composition, couverture végétale...), les différents sols offrent des capacités diverses de résistance à l'érosion. Un élément particulièrement important est la teneur en matière organique, qui influe très fortement sur la structure du sol, et sur sa capacité à retenir l'eau et les nutriments.

Dans le cadre restreint de cette étude, il n'est pas possible de décrire la diversité des processus, des causes, et des facteurs de l'érosion. Le Tableau 4 tente d'en schématiser quelques aspects.

1. 2. Erosion géologique ou anthropique ?

Il faut, du moins en théorie, faire une distinction entre l'érosion géologique « normale », due aux processus naturels de morphogenèse, qui, sur le très long terme, façonnent les paysages, et l'érosion accélérée par l'homme (anthropique), liée à une exploitation imprudente du milieu. La première induit habituellement des pertes de l'ordre de 0.1 à 1 t/ha/an ; en revanche, la seconde peut entraîner une érosion 10 à 1 000 fois plus rapide que la normale.

Un paysage est considéré comme stable lorsqu'il existe un équilibre entre la morphogenèse (vitesse de l'érosion) et la pédogenèse (vitesse de l'altération de la roche et de la formation du sol). Il suffit d'une perte de terres de 12 à 15 t/ha/an (soit moins de 1 mm/an) pour dépasser la vitesse moyenne d'altération des roches, et donc pour que l'équilibre entre morphogenèse et pédogenèse soit rompu.

Il est très exceptionnel que l'érosion géologique puisse concerner des volumes de sols très importants. Ceci peut néanmoins se produire de façon soudaine et catastrophique (le record mondial étant de l'ordre de 100 t/ha/an dans l'Himalaya), à l'occasion d'événements rares, tels qu'une succession d'averses très violentes, ou encore lors d'activités sismiques ou volcaniques. L'ampleur des dégâts dépend alors de l'état du sol ; parfois elle est amplifiée par des aménagements maladroits, déséquilibrant les versants (voir Encadré 3 : conséquences de l'urbanisation). Il est très difficile de lutter contre ce type d'érosion.

Dans le Bassin Méditerranéen, vu l'influence millénaire de l'homme sur le façonnement du paysage, il est impossible de quantifier séparément la part de l'érosion due à l'homme et celle due à la nature seule.

Tableau 4 : Diversité des processus, des causes, des facteurs de l'érosion

Les processus de dégradation et d'érosion et leurs formes.	Les causes et les mécanismes.	Les facteurs de résistance du milieu.
Dégradation par perte de structure. Forme particulière dans les terrains loessiques : formation de croûtes de battance	Nombreuses : Minéralisation des matières organiques, compaction, etc.	<ul style="list-style-type: none"> ◆ la résistance de la structure est fonction des teneurs en matière organique, en fer, en alumine, en argiles flocculées, en cations adsorbés ; ◆ elle est aussi fonction du drainage de la nappe et de sa charge en ions ; ◆ la compaction est fonction du poids des outils utilisés, de la pression des pneus des tracteurs et de la fréquence des passages.
Erosion éolienne. Formes : « ripple marks » (micro-rigoles) ; Nebkas (micro dunes) ; monticules au pied des touffes ; dunes ; nuages de poussière.	Energie du vent.	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Elle dépend de la vitesse et de la direction des vents dominants, de la turbulence de l'air. ◆ La résistance du milieu est fonction de la rugosité du sol et de la végétation. ◆ La résistance du sol est fonction de la structure des mottes, de la texture du sol et de la teneur en matière organique.
Erosion mécanique sèche Forme : « creeping » (rampement des particules de sol)	Gravité, et poussée exercée par les outils de travail du sol	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Elle est fonction de l'intensité du travail du sol (fréquence des travaux et type d'outils). ◆ Elle dépend de la pente et de la cohésion du terrain.
Erosion en nappe. Formes variées selon que l'on est dans la zone d'ablation ou de sédimentation.	Chocs des gouttes de pluie, et force tractrice exercée par le ruissellement diffus en nappe	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Le couvert végétal. ◆ La pente. ◆ La nature du sol. ◆ les techniques et structures antiérosives.
Erosion linéaire. Formes : griffes, rigoles, ravines	Le ruissellement concentré. Son énergie dépend du volume écoulé et du carré de sa vitesse	<ul style="list-style-type: none"> ◆ La vitesse de l'érosion est fonction de la pente et de la rugosité. ◆ Le volume ruisselé est fonction de la surface de bassin versant et de la capacité d'infiltration. ◆ La résistance dépend du profil du sol et des racines qui en forment l'armature.
Erosion en masse Forme : creeping (rampement du sol), glissements ; coulées boueuses.	Gravité, déséquilibre des versants.	Facteurs aggravants : <ul style="list-style-type: none"> ◆ Le poids de la couverture sol + eau + végétaux ; ◆ l'humidification du plan de glissement ; ◆ la topographie : existence d'un pendage parallèle à la pente ; présence de niveaux imperméables ou de « couches-savons ».

(Source : d'après E. Roose, 1991 (129))

1. 3. Principales cause des pertes de fertilité des sols : les mauvaises pratiques culturales

Des problèmes souvent mal posés : densité de la population et intensification de l'agriculture.

Certains auteurs soutiennent que l'augmentation de la densité de population entraîne quasi automatiquement une augmentation de l'érosion ; ils fondent leur argumentation sur le fait que, dans un système agraire donné, si la population dépasse certaines limites, les terres viennent à manquer et les seuils des mécanismes de restauration de la fertilité des sols sont franchis. Ceci peut alors entraîner une dégradation accélérée et irréversible des sols. Cependant, ces auteurs ne tiennent pas compte du fait que l'accroissement démographique peut générer « du progrès, de l'innovation, de l'adaptation » (G. Rossi et al, 2000 (131)) et que, au-delà de certains seuils de population, les paysans sont contraints de changer leur systèmes de production, pour arriver à un nouvel équilibre entre l'exploitation des sols et leur restauration. Néanmoins ce nouvel équilibre est souvent plus coûteux en investissement et en travail (E. Roose, 1994 (128)).

De même, l'intensification de l'agriculture est généralement regardée comme une des causes principales de la dégradation des sols. En effet, dans de trop nombreux cas, notamment autour de la Méditerranée, une intensification mal menée de l'itinéraire technique a conduit à la perte de nombreux hectares. La mécanisation a permis la mise en culture de certaines zones marginales fragiles qui ne supportent pas le rythme intensif des cultures ; l'utilisation excessive de fertilisants chimiques a pu conduire à la minéralisation de la matière organique et à la dégradation de la structure de certains sols, le tout entraînant une perte de fertilité, irréversible dans les cas les plus extrêmes. Pour atteindre de manière durable son objectif, qui est l'augmentation des rendements, l'intensification de la production doit intégrer toutes les pratiques nécessaires au maintien de la fertilité des sols. Quand elle y parvient, elle doit alors être considérée comme une bonne solution pour assurer la conservation des sols et la durabilité de systèmes d'exploitation productifs (E. Roose, 1994 (128)). L'intensification de la production n'est donc pas un facteur de dégradation en soi, mais elle peut le devenir quand elle est mal conduite. En sens inverse, une extensification non raisonnée peut aboutir à l'abandon de bonnes pratiques de conservation, et par conséquent à une perte de fertilité des sols et de leur potentiel productif.

L'érosion et la perte de fertilité : le résultat d'une inadaptation du système d'utilisation des terres au contexte non seulement physique, mais surtout social et économique

Les phénomènes d'érosion accélérée, trop souvent observés dans le bassin méditerranéen, ne sont pas les conséquences inévitables d'une pression démographique accrue ou de l'intensification des méthodes de culture. Ils sont liés à certains modes de développement déséquilibrant l'écosystème agraire : défrichement et mise en culture de zones au sol fragiles, épuisement du sol par des cultures intensives sans compensation par des apports de matière organique et de nutriments, surpâturage, surexploitation des ressources forestières (E. Roose, 1994 (128))

L'histoire de l'utilisation des sols montre que les grandes crises érosives en Méditerranée vont souvent de pair avec l'évolution, voire la déstructuration, des systèmes agraires. Ainsi, à la fin de l'Antiquité, en Afrique du Nord, l'arrivée des nomades et le développement de l'élevage et des cultures extensives ont progressivement provoqué l'abandon des ouvrages de conservation des eaux et des sols qui permettaient jusque là une culture intensive de la vigne et des arbres fruitiers, même sur des terrains en pente. La désintensification de l'agriculture fut alors, d'après (W.C. Lowdermilk, 1948 (85)), à l'origine d'une érosion accélérée, concomitante du déclin de la civilisation romaine. Le même type de scénario (abandon des bonnes pratiques de conservation du fait du développement de l'élevage extensif) serait, toujours d'après Lowdermilk, à l'origine de la perte irréversible de terres en Jordanie (autour de Petra), en Israël, et en Syrie (« les 100 villes mortes »). Cependant certains auteurs (Marchand, 1990) ont tendance à relativiser les méfaits dont on accuse traditionnellement les nomades.

Aujourd'hui, c'est plutôt le phénomène inverse (l'intensification de l'exploitation des terres marginales) qui, dans ces mêmes régions, accélère parfois dramatiquement l'érosion. Au contraire, au Nord du bassin, la remontée biologique spontanée vers la forêt, qui succède en général à la déprise agricole, entraîne la cessation des processus d'érosion qui étaient décrits comme catastrophiques (cas des Alpes du Sud françaises). Dans tous les cas, présents ou passés, c'est l'évolution vers des pratiques agro-sylvo-pastorales non adaptées aux sols qui mène à leur dégradation (voir partie 1, paragraphe 2). Les conséquences sur les sols, et sur l'environnement en général, sont d'autant plus importantes que la mutation sociale est rapide et que les dispositions pour veiller à la création d'un nouvel équilibre sylvo-agro-pastoral ne sont pas prises rapidement.

Tableau 5 : Changements dans l'utilisation des terres en Italie pendant la période 1967-1990

	1967		1990		Différence 1967-1990	
	Surface (ha)	% du total	Surface (ha)	% du total	Surface (ha)	% du total
Cultures annuelles	12 389 216	41,1	8 129 732	27,0	-4 259 484	-14,1
Cultures pérennes	2 824 218	9,4	2 787 359	9,3	-36 859	-0,1
Pâturage	5 165 660	17,1	4 128 808	13,7	-1 036 852	-3,4
Autres terres arables	1 031 291	3,4	2 040 919	6,8	1 009 628	3,4
Forêts	6 107 013	20,3	8 675 100	28,8	2 568 087	8,5
Autres utilisations	2 608 340	8,7	4 363 820	14,5	1 755 480	5,8
Total surface nationale	30 125 738	100,0	30 125 738	100,0		

(Source : PAP-RAC, 2000 (145))

Selon M. Tayaa *et al* (ICALPE, 1992 (70)), au **Maroc**, dans le Rif oriental, au Nord de la province de Nador, d'anciennes terres de parcours ont été mises en culture, pour l'alimentation d'une population de plus en plus dense. Cela a entraîné la multiplication des formes de bad-lands et l'approfondissement des chenaux torrentiels, sauf là où des murs de pierre retiennent encore les sols et limitent les concentrations en eau. Au total, entre 1966 et 1986 dans la partie Nord Est du Rif, la surface de terres en culture a augmenté de 92 % alors que les surfaces de forêt et de matorral ont décliné respectivement de 42 % et 38 %. De même, sur le littoral, les labours, qui brisent la partie supérieure d'anciennes dunes consolidées, ont accéléré les processus éoliens et ont mené, pendant les années de sécheresse rigoureuse, à la formation de véritables champs de nebkas dans la cuvette de Guerrouaou. D'autres exemples ont été signalés au Maroc où la culture illégale destinée à la production de chanvre indien (dont vivaient environ 200 000 personnes) s'est étendue à des terres en pente, souvent fragiles, conduisant à la généralisation des ravinements.

Tableau 6 : Evolution de l'utilisation des terres dans trois zones représentatives du Rif centro-occidental (Maroc) pendant la période 1966-1986

	Forêts			Matorral			Cultures			Terres cultivées	
	1966 (ha)	1986 (ha)	Différence (%)	1966 (ha)	1986 (ha)	Diff. (%)	1966 (ha)	1986 (ha)	Diff. (%)	% en 1986	
Zone 1	11 099	4 032	-63,7	59 785	31 609,0	-47,1	40 519,0	75 762	87,0	26,0	
Zone 2	27 648	19 912	-28,0	79 220	52 574,0	-33,6	36 386,0	70 768	94,5	26,0	
Zone 3	8 399	3 412	-59,4	11 969	9 633,0	-19,5	5 879,0	13 202	124,6	31,0	
Total	47 146	27 356	-42,0	150 974	93 816,0	-37,9	82 784,0	159 732	93,0	27,6	

(Source : ICALPE, 1992 (70))

En **Tunisie**, une étude (K. Louhichi, 1997 (84)) a été menée sur l'exemple d'un terroir localisé. Ses conclusions sont que l'évolution récente et rapide de l'environnement socio-économique du monde rural a entraîné à la fois : 1/ le défrichement de certaines zones marginales ou de parcours, et leur mise en culture

pour répondre aux besoins d'une population sans cesse croissante ; 2/ une surexploitation des terres de parcours restantes, ce qui a entraîné leur fragilisation ; 3/ une mise en œuvre inadéquate de la mécanisation des pratiques culturales (labours dans le sens de la pente, dégradation de la structure du sol, etc....) ; 4/ un abandon de certaines pratiques traditionnelles de conservation, qui a exposé à l'érosion les terres jadis aménagées ; 5/ l'absence de suivi et d'entretien des aménagements réalisés dans le cadre du premier programme de stratégie de conservation des eaux et du sol. Résultat : ces aménagements, faute d'entretien, se sont dégradés au fil des ans.

L'évaluation de la qualité des sols et de leurs aptitudes à être soumis à divers types d'usage est un préalable nécessaire aux programmes de conservation et d'aménagement. Un travail très important a été mené en **Turquie**, où un classement et une cartographie de l'aptitude des sols ont été établis. Ainsi, les sols appartenant à la meilleure classe d'aptitude possèdent un bon potentiel pour toute une gamme d'utilisations, alors que les sols « mal classés » présentent de sérieuses limitations pour la mise en culture et nécessitent de lourds investissements. Cette étude a mis en évidence le manque fréquent d'adéquation entre les potentialités du sol et les usages qui en sont faits ; il y a à la fois sous utilisation des meilleurs sols et surexploitation, et par conséquent dégradation, des sols à moins bon potentiel agricole. Cette étude montre ainsi que l'agriculture, telle qu'elle est pratiquée actuellement, aboutit à un gaspillage des ressources en sol (C. Kangir, 2000 (19)). En particulier, l'érosion hydrique ou éolienne est en général la plus présente là où est pratiquée une agriculture extensive, alors qu'elle pourrait être limitée si les exploitants avaient les moyens d'intensifier de façon adaptée.

A l'inverse un exemple de mauvaise intensification peut être donné en France² dans une zone de petites montagnes et de collines du sud du massif central, la zone de Rougiers de Camarès dans le Sud de l'Aveyron. L'érosion hydrique y affecte 80 % des terres. Cette sensibilité à l'érosion s'explique par les conditions naturelles agressives, mais a été exacerbée par l'intensification agricole des dernières décennies : mécanisation, raccourcissement des rotations, travail du sol fréquent, remembrement et suppression des haies, défrichements et mise en culture de terres marginales aux sols peu épais et aux pentes fortes (ORSTOM, 1998 (135)). Les chercheurs de l'IRD ont montré que l'on pourrait limiter le ruissellement et l'érosion dans les parcelles agricoles par des apports réguliers de fumier ou de résidus de culture aux sols, ainsi que par l'insertion de cultures fourragères ou d'engrais verts dans les assolements. De même, le semis direct et le travail superficiel, qui concentrent la matière organique en surface, seraient plus favorables que le labour, qui l'enfouit. L'intensification dans cette zone a été mal conduite ; elle devrait, et pourrait encore, être redressée. Là aussi, ce sont les modalités de l'intensification plutôt que son principe, qui sont en cause.

Encadré 4 : L'abandon de techniques traditionnelles souvent efficaces est lié au changement du contexte social et économique dans les pays

M. Roose et al dans un article rédigé pour l'IRD (ex-ORSTOM) en 1998 écrivent :
« Pour faire face aux problèmes de dégradation des sols, les sociétés rurales ont développé des stratégies de gestion de l'eau et de la fertilité des sols dont l'efficacité est liée au milieu physique et plus encore aux conditions socio-économiques locales. Par exemple la culture sur brûlis connue sur les 4 continents, est une méthode non destructrice des sols tant que la population ne dépasse pas 10 à 40 habitants par km² en économie de subsistance. Il faut en effet 10 à 50 ans de jachère pour reconstituer la fertilité d'un sol cultivé durant 2 à 5 ans après brûlis. Dès que la pression foncière augmente du fait des besoins croissants de la population, la durée de repos du sol diminue et la fertilité se dégrade. A l'autre extrême se trouvent les terrasses en gradins développées depuis des siècles autour de la Méditerranée. Elles n'apparaissent que là où manquent les terres planes, où les salaires sont bas et la main d'œuvre abondante. Comme il faut faire 1 000 à 1 500 jours de travail pour aménager un hectare, les terrasses ne se développent que là où il y a une forte pression démographique, militaire ou religieuse, et où la rentabilité des cultures est élevée (irrigation fréquente).

² Communication personnelle de M. Roose

En Tunisie, Bonvalot (1986) a étudié le système traditionnel des « jessours », digues de terre qui permettent de construire de minuscules jardins multi-étagés en collectant au fond des vallons arides les eaux de ruissellement des versants et leur charge en limons. (...)

Ces techniques traditionnelles, souvent très efficaces, sont actuellement abandonnées car elles n'arrivent plus à répondre aux défis actuels : la population a été multipliée par 5 depuis le début du siècle et double tous les 25 ans, les besoins monétaires ont beaucoup augmenté et le travail de conservation des sols n'est pas rentable à court terme ».

(Source : ORSTOM, 1998 (135))

2. Importance du phénomène

2. 1. Manque de données concernant les pertes de fertilité des sols

Les données sur les dégradations des sols que l'on trouve dans la littérature ne concernent généralement que l'érosion par l'eau et parfois par le vent. La compaction par les machines, la dégradation de la structure et de la texture des sols, et les pertes de qualité biologique des sols ont été relativement peu étudiées, et sont donc peu chiffrées, surtout à l'échelle nationale.

De manière générale, les standards de référence font cruellement défaut aujourd'hui. Les méthodes de mesure et d'évaluation sont complexes, et leurs résultats doivent être interprétés en fonction des échelles spatiales et temporelles auxquelles elles se rapportent. Ces interprétations ne sont pas accessibles au grand public, ce qui explique les idées fausses et les clichés qui découlent facilement d'une médiatisation de chiffres excessifs. Même les chiffres qui se rapportent à l'érosion hydrique ne donnent que des indications relatives quant à l'ampleur du phénomène. Ils sont d'origines très diverses et, vu la multiplicité des méthodes de mesure et de calcul de l'érosion, ils sont difficilement comparables d'une étude à l'autre. Dans la suite de cette étude, les chiffres qui sont donnés correspondent à des informations trouvées dans la littérature, ils ne concordent donc pas entre eux, ni avec les chiffres donnés par la FAO (voir Carte 5).

2. 2. Eléments sur l'ampleur des érosions

Dans le bassin méditerranéen, les formes d'érosion les plus souvent observées sont des décapages, du ravinement, des glissements de terrain et des sapements de berges (E. Roose, 1991 (129)). Le ravinement est particulièrement intense dans les formations tendres, où il forme des « bad-lands ». On peut citer en exemples les marnes noires des Alpes du Sud françaises, les grès de l'Ouarsenis, les « calanchi » des Apennins italiens (Y. Veyret et al, 1998 (158)). Les glissements de terrain peuvent se produire lorsqu'il existe des « couches-savons », sur des pentes pas nécessairement très fortes ; des exemples sont connus dans les montagnes maghrébines littorales humides, dans le Rif central et, plus au sud dans les Aurès, ainsi que dans les Alpes françaises (Trièves) et en Italie, où les « frane » sont des versants instables qui se mettent périodiquement en mouvement (Y. Veyret et al, 1998 (158)). Enfin, dans les régions les plus proches du domaine subaride, l'alternance des phases sèches et humides provoquent, la chaleur aidant, la formation de manteaux de débris que les pluies aussi rares que violentes entraînent sous forme de coulées boueuses qui envahissent des vallées démesurément élargies mais au lit très peu encaissé. (J. Bethemont, 2000 (14)).

Au Maroc une étude de Heusch, citée par Roose dans (E. Roose, 1991 (129)) se base sur une analyse géomorphologique pour prévoir les risques d'érosion des terrains : il en ressort les ordres de grandeur suivants :

Tableau 7 : Ordres de grandeur des pertes de sol spécifiques dues aux différents types d'érosion

Type d'érosion	Ordre de grandeur des pertes (t/ha/an)
Erosion en nappe	1
Erosion en rigoles	10
Erosion en ravines	100
Glissement de terrain	1 000
Sapement de berges	10 000

(Source : d'après Heusch cité dans E. Roose, 1991 (129))

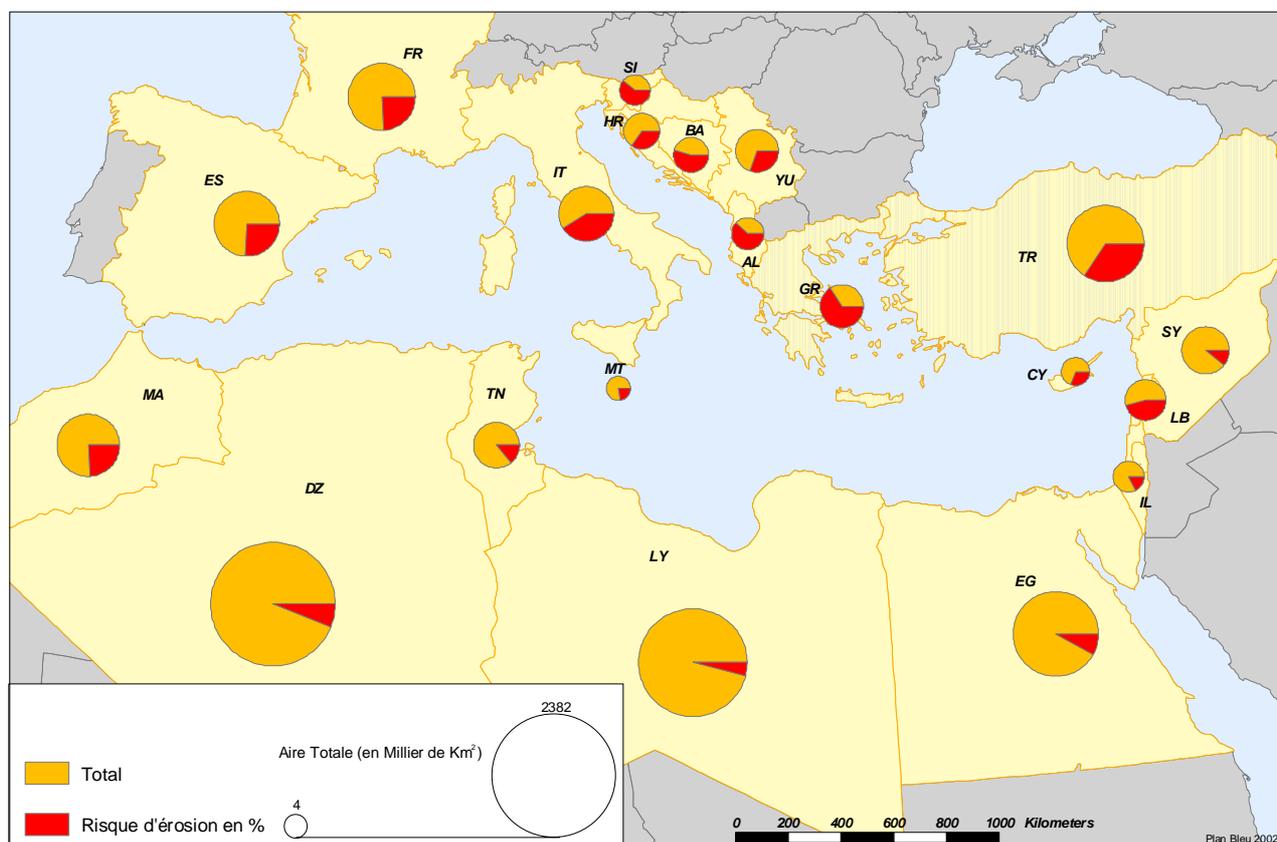
N.B. le nombre d'hectares concernés varie en sens inverse des types d'érosion mentionnés. Rigoles, ravines et sapement sont d'ailleurs des phénomènes linéaires et non surfaciques).

Ces ordres de grandeur ne sont pas tout à fait confirmés par l'analyse des travaux de cartographie des formes d'érosion au Maroc (Maroc, Ministère de l'Agriculture et de la Mise en Valeur Agricole/ Maroc, Ministère Chargé des Eaux et Forêts, 1995/99 (87)) ; ceux-ci signalent néanmoins de grands écarts entre les différents types d'érosion : 800 t/ha/an pour les sapements de berges ; 80 t/ha/an pour les zones ravinées ou soumises à solifluxion ; 5 à 6 t/ha/an pour les versants soumis à l'érosion aréolaire (érosion en nappes).

L'érosion éolienne concerne surtout les zones arides et semi-arides.

Au total en regroupant les différents types d'érosion mécanique, la FAO estime qu'environ 15 % des territoires nationaux entourant la Méditerranée sont concernés par l'érosion. (TERRASTAT)

Carte 5 : Surfaces menacées par l'érosion dans les pays du pourtour méditerranéen



(Source : carte réalisée à partir des données de la FAO, TERRASTAT, 2001)

En Tunisie, une carte de l'érosion, réalisée en 1980, fait ressortir que sur 5,5 millions d'hectares cartographiés, 1,3 millions sont affectés par l'érosion, dont 740 000 ha le sont moyennement à fortement. La stratégie nationale tunisienne de conservation des eaux et du sol mentionne que 3 millions d'hectares, soit le cinquième du territoire, sont soumis au risque d'érosion hydrique, dont la moitié est fortement menacée.

Les risques d'érosion en Turquie affectent, selon certaines estimations (Prime Ministry State Planning Organization, 1998 (143)), environ 81 % du territoire à des degrés différents, dont, pour l'érosion éolienne environ 466 000 km² (soit 61 % du territoire national). Le NEAP estime qu'au total, en moyenne, chaque année, 1 milliard de tonnes de sol sont perdues en Turquie à cause de l'érosion.

En Israël, les pertes de sol par érosion varient entre 0,27 t/ha/an dans les zones karstiques des bassins du Nord du pays, et 1,85 t/ha/an dans les régions couvertes de loess du sud du pays. Une grande partie des sédiments est transportée lors des inondations hivernales. (Y. Gradus et al, 1996 (65)).

Dans une étude réalisée pour le CIHEAM (26), M. Skouri définit la désertification comme « le stade ultime de la dégradation du milieu naturel se traduisant d'une part par une disparition du couvert végétal et d'autre part par une accélération des processus d'érosion engendrant un accroissement de l'aridité de ce milieu et une baisse de la fertilité des sols ». Il cite des estimations effectuées par H.E. Dregne en 1984 sur la base de la compilation de données nationales qui montrent que globalement environ 80 % et 30 % des terres agricoles pastorales sont plus ou moins affectées par la désertification respectivement au sud et au nord de la méditerranée. La différence s'expliquerait en grande partie par le fait que les zones arides et semi-arides (les plus sensibles à la désertification) couvrent la majeure partie des territoires du sud et de l'est de la Méditerranée, alors que ces zones sont peu représentées dans les pays de la bordure européenne, à l'exception de l'Espagne où elles couvrent environ 80 % du territoire et une proportion beaucoup plus faible en Grèce.

Tableau 8 : Terres affectées par la désertification dans la région méditerranéenne (1984)

	Afrique méditerranéenne		Europe méditerranéenne	
	Superficie (millions ha)	% affecté par la désertification	Superficie (millions ha)	% affecté par la désertification
Terrains de parcours	68,0	85	15,0	30
Cultures pluviales	15,0	75	13,0	32
Terres irriguées	0,5	40	1,6	25
Total	83,5	83	29,6	31

(Source : d'après Dregne cité dans Skouri CIHEAM, 1993 (26))

2. 3. Eléments sur la dégradation de la structure, et les pertes de matière organique

En Italie, le tassement est le principal processus de dégradation des sols, surtout dans la Plaine du Pô et le long de la côte Adriatique (Italia, Comitato Nazionale per la Lotta alla Desertificazione/ Italia, Ministero dell' Ambiente, 1999 (73)). Les pertes de matière organique sont localisées surtout le long de la côte Adriatique et en Sicile méridionale. Les causes sont multiples, principalement agricoles : monoculture, élimination des résidus végétaux, travail du sol trop intensif qui provoque l'émiettement de la structure, l'aération excessive et par conséquent la minéralisation et l'oxydation de la matière organique.

En France, les surfaces concernées par le tassement sont, d'après l'IFEN (IFEN, 1999 (71)), impossibles à évaluer avec précision, mais en nette progression du fait de l'augmentation de la mécanisation et de l'utilisation de machines de récolte de plus en plus lourdes, ainsi que de la réduction des apports de matière organique. Des études locales montrent une baisse significative des taux de matière organique dans les sols cultivés au cours de ces dernières décennies. Il n'y a que peu de données sur le milieu méditerranéen français, mais les données existantes indiquent des taux faibles (de 0 à 25 ‰ (IFEN, 1999 (71))). Cette baisse est essentiellement due à l'intensification du travail du sol, à l'irrigation, à la diminution des surfaces

fourragères pérennes au profit des fourrages annuels ou des céréales, ainsi qu'à l'abandon de la culture attelée et au manque de fumier dans les champs.

3. Les impacts

3. 1. Difficultés de l'évaluation des impacts

Dimension espace

L'érosion implique un transfert de matière, et parfois de fertilité, d'un lieu à un autre. Les impacts sont de natures différentes, d'une part sur le lieu même où se produit l'érosion (impacts on-site), avec ablation de matériaux, et d'autre part sur les lieux où ces matériaux sont redéposés (impacts off-site). Ces derniers se situent à l'aval dans les bassins versants (érosion hydrique), ou dans le lit des vents dominants (érosion éolienne). Au point de vue économique, il y a donc aussi une dissymétrie entre l'amont et l'aval : l'utilisateur des terres supporte directement les pertes dues à la dégradation qui a lieu sur place, alors qu'il subit rarement les conséquences de la dégradation en aval de ses terres.

Dimension temps

Événements géologiques exceptionnels mis à part, l'érosion est un phénomène relativement lent à l'échelle humaine. En fonction de l'ampleur du phénomène les effets de l'érosion se font ressentir plutôt à moyen et long terme. Le problème de l'érosion introduit donc un conflit entre les priorités immédiates, et une vision de la durabilité à long terme, au détriment des générations futures. En effet, l'exploitation trop intensive d'un sol peut lui faire produire beaucoup pendant quelques années, et ensuite l'épuiser au delà de toute utilisation, le rendant improductif pour les générations à venir.

Diversité des critères

Les effets négatifs de l'érosion peuvent être mesurés selon différents critères, et notamment en termes de :

- Perte d'épaisseur du sol : elle est inexorable lorsque la vitesse de l'érosion est supérieure à la vitesse de formation du sol. Or la vitesse d'altération de la roche-mère varie entre 1 à 12 t/ha/an, en fonction des processus de pédogénèse, qui dépendent eux-mêmes des caractéristiques du climat, de la nature de la roche en place, et du type de couverture végétale ;
- Perte de productivité des terres : on la constate lorsque, toutes conditions égales par ailleurs, les rendements diminuent d'une année à l'autre ; ou, ce qui revient au même, lorsque le maintien des rendements exige des niveaux d'intrants de plus en plus élevés ;
- Perte de la qualité de l'environnement : sur place il y a dégradation du couvert végétal ; en aval la qualité des eaux est dégradée, et des dépôts d'alluvions peuvent diminuer la capacité des retenues d'eau naturelles ou artificielles, ou encore recouvrir des sols fertiles avec des éléments stériles.

L'ampleur des impacts physiques dépend, entre autres, du type de sol et de sa résistance à l'érosion. Quant aux impacts sociaux et économiques, ils dépendent aussi des usages actuels et potentiels des sols. La dégradation de sols très productifs est plus grave que celle de sols dont le potentiel agricole ou écologique est faible.

La vulnérabilité d'un sol à l'érosion est fonction de sa cohésion, de sa protection contre la pluie par un couvert de végétation ou de cailloux et de la dureté du substrat. La cohésion est favorisée par des taux de matière organique élevés et la présence d'éléments chimiques flocculants les argiles et autres colloïdes. Au contraire, la présence d'éléments dispersants (sodium) est néfaste. En général, les sols méditerranéens sont assez résistants à l'érosion par le vent ou l'eau. Cependant cette résistance peut être amoindrie par le surpâturage ou par une exploitation de type minier, sans aucun apport de matière organique. Dans de tels cas, les sols se

tassent, et peuvent développer des croûtes de battance, surtout s'ils sont limoneux. Dans tous les cas, le ruissellement augmente ; il reste clair tant que les eaux sont ralenties par des mottes, des cailloux ou des touffes d'herbes ; puis les eaux se chargent en sédiments au fur et à mesure qu'elles prennent de la vitesse sous l'action de la pente et du volume ruisselé ; en même temps elles se concentrent dans des rigoles (charge en sédiments de 5 à 20 grammes par litre), puis des ravines et des oueds (charge de 20 à 200 g/L) (E. Roose, 1991 (129)).

Les sols des marges sèches semi-arides du monde méditerranéen sont en équilibre précaire, principalement du fait de leur faible réserve en eau des forts taux d'évaporation. Dans ces secteurs les sols sont particulièrement sensibles aux modifications de la couverture végétale qui constitue leur protection majeure.

3. 2. Les impacts sur le site

Les effets négatifs de l'érosion on-site concernent surtout la perte de productivité des terres. Celle-ci reste faible tant que les sols sont épais, mais devient particulièrement élevée sur les sols superficiels (E. Roose, 1994 (128)). Parfois, la perte de productivité des sols peut-être immédiate, par perte de surface cultivable, par exemple si les parcelles ne sont plus accessibles aux machines à cause des marques béantes des ravines. Cependant, de manière générale, elle a des effets à moyen et long terme. L'érosion en nappe, même si elle ne transporte généralement pas des volumes de sols importants, entraîne en priorité les éléments fins du sol, qui sont souvent les plus fertiles. La perte de fertilité des sols peut être généralement corrigée par l'apport d'intrants, et n'est donc limitante, à court terme, que dans le cas d'exploitants pauvres qui ne peuvent pas payer ces intrants ; pour eux, la perte d'une production marginale, mais vitale pour leur survie et celle de leurs proches, est extrêmement pénalisante. En effet : « L'impact de l'érosion est plus important pour le petit paysan qui va être marginalisé par manque de crédits, d'esprit d'initiative ou de savoir faire. Il ne peut y parer à moins de changer radicalement son système de production (production à haute rentabilité). Spirale d'appauvrissement pour les pauvres et recherche de solutions nouvelles pour ceux qui en ont les moyens ! » (E. Roose, 1991 (128)).

Mis à part la perte d'éléments fins (souvent les plus fertiles), parmi les conséquences de l'érosion éolienne sur le site on compte : l'abrasion, la corrosion, et la déflation.

La perte d'éléments fertiles n'est pas facilement quantifiable, surtout parce qu'elle est souvent associée à des pertes de volume relativement faibles. Néanmoins, au **Maroc** le problème est considéré comme la plus sérieuse menace pour la productivité potentielle de l'agriculture. Tout en restant très prudents quant à la fiabilité de leur résultats, des experts marocains estiment que les pertes en éléments fertilisants sont équivalentes à 5 % environ de la surface cultivable (Maroc, Ministère de l'Environnement, Observatoire National de l'Environnement du Maroc (ONEM) / ECODIT, 1995 (88)).

Encadré 5 : Conséquences économiques négatives de l'érosion hydrique sur les lieux érodés (on-site)

• Pertes immédiates d'eau, d'engrais et pesticides :

• Perte de production immédiate au niveau :

régional : 2 à 10 % de la production : compensation possible par apport d'intrants

local : 2 à 50 % = catastrophe individuelle = perte de la marge bénéficiaire

• Perte de surface cultivable au niveau

mondial ... 7 à 10 millions d'hectares par an

régional ... jusqu'à 2 à 5 % de la surface cultivable

parcelles ... jusqu'à 20 à 100 %

• Pertes de productivité à long terme

Diminution de l'épaisseur de l'horizon humifère

Diminution du stockage d'eau et de nutriments

Diminution de l'efficacité de la pluie et des intrants

Diminution de la rentabilité

(Source : d'après E. Roose, 1994 (128))

3. 3. Impacts en aval du site érodé

Ces impacts résultent du transport des sédiments. En règle générale les sédiments dégradent la qualité de l'eau qui les transporte, par la présence d'une masse plus ou moins importante de matières minérales ou organiques en suspension, et par la présence fréquente de polluants liés à ces matières (phosphates, pesticides, métaux lourds etc.). Lorsqu'ils se déposent, ils réduisent la capacité de transport des cours d'eau (augmentant ainsi les risques d'inondation), des fossés de drainage, des canaux d'irrigation ; ils réduisent également la capacité de stockage des réservoirs naturels ou artificiels. Plusieurs ouvrages de production hydroélectrique ou d'irrigation ont ainsi été ruinés à cause de l'érosion du bassin versant amont.

Encadré 6 : Conséquences économiques négatives de l'érosion hydrique en aval des lieux érodés (off-site)

* Dégradation de la qualité des eaux :

- augmentation des matières en suspension (MES) ;

- pollution des rivières ;

- eutrophisation des eaux et mort des poissons ;

- augmentation du coût de traitement de l'eau potable.

* Sédimentation :

- envasement des réservoirs et des autres ouvrages hydrauliques ;

- envasement des ports et de certains littoraux

- réduction de la capacité d'évacuation des crues par les cours d'eau et les fossés

* Catastrophes « naturelles » :

- augmentation des débits de pointe des rivières ;

- Inondations des zones habitées ;

- coulées boueuses ;

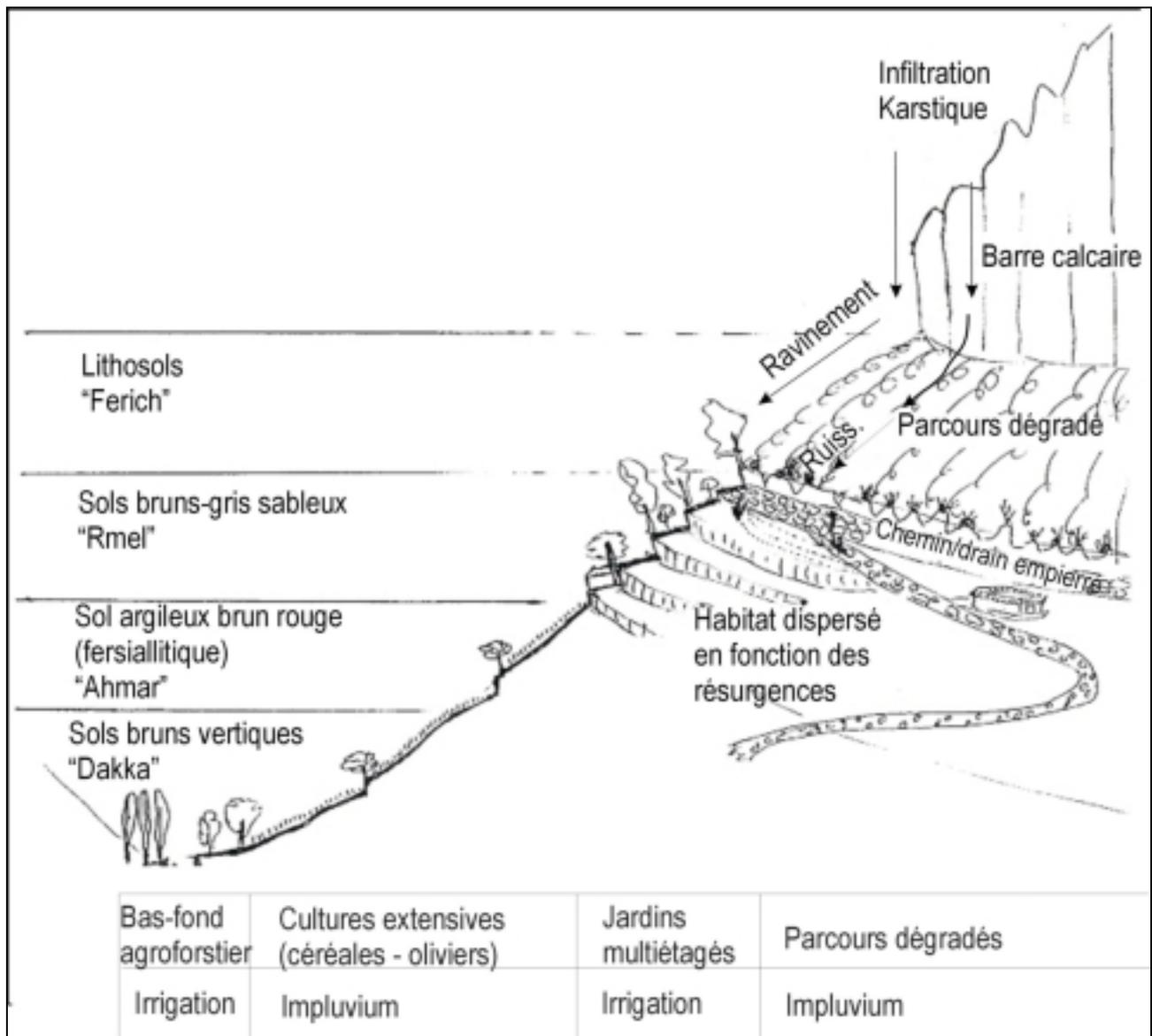
- destruction des ouvrages d'art, ponts, etc. ;

(Source : d'après E. Roose, 1994 (128))

L'ampleur des impacts en aval de l'érosion dépend, évidemment, du volume des matériaux transportés ainsi que de la sensibilité propre des structures concernées.

Dans certains cas, il peut arriver que les conséquences de l'érosion soient regardées comme bénéfiques, par exemple lorsque les sédiments qui se déposent jouent le rôle d'amendement. La fertilisation de l'Égypte par la crue du Nil, jusqu'à la construction du haut barrage d'Assouan, est un exemple célèbre depuis l'antiquité. A une échelle plus réduite, une étude de l'ORSTOM, au Maroc, a décrit un système intéressant où des agriculteurs exploitaient l'érosion et le ruissellement en amont pour fertiliser des terres en aval.

Figure 2 : Coupe schématique du versant à hauteur de Bettara (Rif Marocain)



(Source : d'après E. Roose et al, 2000 (130))

En **Italie**, des estimations ont été faites sur l'envasement moyen des réservoirs (Chisci et Bazoffi cités par Andrea Giordano dans PAP-RAC, 2000 (145)). Les grands barrages perdent annuellement jusqu'à 1 % de leur capacité dans certaines régions à la fois boisées et agricoles. Les petits barrages perdent en moyenne 0,3 % dans les zones boisées et 2 % dans les zones d'agriculture intensive. Une étude sur 268 réservoirs italiens montre que 1,5 % d'entre eux sont entièrement envasés, 4,5 % ont leur capacité réduite de plus de 50 %, et 17,5 % ont perdu plus de 20 % de leur capacité (PAP-RAC, 2000 (145)).

Au **Maroc**, la sédimentation est à l'origine de réductions considérables dans la durée de vie des barrages (voir Encadré 7). Elle constitue aussi une cause de dégradation pour certaines zones sensibles et protégées : la pollution des lagunes côtières par des sédiments infestés de pesticides répandus sur les terres cultivées avoisinantes met en danger leurs écosystèmes fragiles. (Maroc, Ministère de l'Environnement, Observatoire National de l'Environnement du Maroc (ONEM) / ECODIT, 1995 (88))

Encadré 7 : Ampleur de l'envasement des barrages au Maroc en 1995

L'envasement des barrages augmente chaque année de 50 millions de m³, soit 0,5 % de la capacité de stockage totale de 10 milliards de m³. Ceci équivaut à l'envasement d'un barrage tous les 2,4 ans, si on considère que la capacité moyenne d'un barrage au Maroc est, en 1995, de 120 millions de m³ (chiffres calculés à partir des données rassemblées par le Plan Bleu, 1999 (86)). Tous les barrages construits depuis plus de 20 ans sont envasés à plus de 10 % de leur capacité initiale. La capacité perdue par les barrages à grandes retenues dépasse maintenant 820 millions de m³. L'envasement des barrages pourrait passer à 100 millions de m³ par an, en supposant que l'érosion s'aggrave par une sollicitation accrue des sols et du couvert végétal sous l'effet de la pression démographique et de l'irrigation. La perte de production des usines hydroélectriques suite à l'envasement des retenues est estimée à 60 millions de kWh en 2000 et pourrait atteindre 300 millions de kWh en 2030. Les prévisions de réduction de la disponibilité en eau potable et industrielle sont de 40 millions de m³ par an en 2000 et pourraient être de plus de 200 millions de m³ par an en 2030. Enfin la diminution de la capacité des barrages entraîne chaque année une perte de surfaces irriguées équivalente à environ 5 000 ha.

(Source : Maroc, Ministère de l'Environnement Observatoire National de l'Environnement du Maroc (ONEM) / ECODIT, 1995 (88))

Encadré 8 : Exemples de calculs des coûts annuels de l'érosion au Maroc.

Des analyses ont porté, au Maroc, sur les coûts dus à l'érosion, du fait de l'envasement des barrages et des pertes de production agricole. Ces coûts varient dans une grande proportion suivant les sites et les régions agricoles.

Le coût annuel des pertes agricoles a été calculé comme la différence entre le revenu net à l'hectare théorique et le revenu net avec érosion. Les chiffres varient entre 2 et 152 Dirhams/ha/an (environ 0,2 et 15,2 \$/ha/an) en fonction des régions.

Le coût des envasements a été estimé en comparant une situation sans accélération de l'envasement avec une situation avec accélération de l'envasement. Ce coût est calculé comme la valeur de la production perdue à l'aval (agricole, énergétique, ...) tant que le site n'est pas menacé, et comme la valeur des investissements nécessaires pour rétablir les fonctions du barrage lorsque l'envasement atteint des seuils critiques. Les simulations à l'horizon 2030 ont été effectuées pour mesurer l'impact de l'envasement sur chaque site. Là aussi, les résultats sont très variables en fonction des barrages, de leur rythme d'envasement, et du coût du désenvasement lorsque celui-ci est nécessaire. Les chiffres trouvés varient de 0,38 à 10,5 Dirhams/ m³ sur une période de 40 ans (1990 à 2030) soit 0,038 à 1,05 \$/ m³.

(Source : Maroc, Ministère de l'Agriculture et de la Mise en Valeur Agricole/ Maroc, Ministère Chargé des Eaux et Forêts, 1995/1999 (87))

Tableau 9 : Envasement des barrages dans l'est Algérien

Bassins	Oued	Barrage	Superficie du bassin (km ²)	Pluie moyenne (mm)	Teneur en MES T (g/l)	DS (t/ha/an)	Durée d'envasement total
Saf Saf	Saf Saf	Zardezas	300	863	5,0	1 2,50	20 ans
Garaet el Tarf	Guiness	Foum el Guiness	156	520	9,3	6,70	27 ans
Djen Djen	Djen Djen	Erraguène	134	1 350	23,0	22 0	3 ans
Chelif	Mina	Bakhadda	1 300	500	5,6	3,10	16 ans
Chelif	Chelif	Ghrib	2 800	345	33,0	1 7	29 ans

(Source : Y. Veyret, 1998 (158))

T représente les teneurs moyennes en matières en suspension (MES) des eaux arrivant au barrage
DS la dégradation spécifique est le volume de l'érosion moyenne annuelle dans le bassin versant.

3. 4. Impacts de l'érosion éolienne

L'érosion éolienne entraîne la formation de regs, et l'ensablement, en aval du site. Les problèmes d'ensablement ont pris une grande acuité dans les pays arides et semi-arides, particulièrement au Maghreb (voir Encadré 9). Au **Maroc**, les palmeraies menacées d'ensablement sont estimées à 30 000 ha pour 80 000 habitants dans la province de Ouarzazate et à 25 000 ha pour 200 000 habitants dans la province d'Errachidia. (Maroc, Ministère de l'Intérieur, 1993 (90))

Encadré 9 : Localisation de l'ensablement au Maghreb

Au Maroc le phénomène d'ensablement se développe surtout dans le Sud et le Sud-Est du pays : à l'Est du Haut Atlas dans le bassin du Ziz moyen et du bas Ziz, autour d'Errachidia, Goulmina, Erfoud et vers le Sud dans le Tafilalt, le bassin du Draa, les zones de Ouarzazate, entre Zabora et Mohamid el Gozlam, puis surtout la zone Tarfaya-Laayoune.

En Algérie, en dehors de la zone saharienne, ce sont surtout les hautes plaines qui sont les plus touchées par le phénomène. 500 000 ha de formations éoliennes s'étendent au Nord de l'Atlas saharien dans les trois bassins endorhéiques des Chotts Chergui, Zahrez el Gharbi, zahrez el Chergui et du Hodna. Le plus important des cordons dunaires ainsi formé atteint 200 km de long, 5 à 7 km de large et 15 m de haut ; il est composé de dunes vives très mobiles qui déplacent un grand stock de sable.

En Tunisie, c'est la zone présaharienne et la Djeffara qui sont les plus touchées par l'ensablement. Mais après les inondations de 1969, des formations dunaires sont aussi apparues dans la région de Kairouan.

En Libye, la zone côtière du Nord Ouest est la plus touchée, dans l'axe de la Djeffara mais aussi dans la zone centrale du pays.

En Egypte, les zones sensibles se concentrent aux alentours des oasis du désert occidental et dans le désert oriental, entre Port-Saïd et Suez.

(Source : G. Coude-Gaussen et al, 1995 (31))

4. Quelles réponses à l'érosion et aux pertes de fertilité ?

4. 1. Réponses techniques

Les méthodes techniques de lutte contre l'érosion peuvent être réparties en trois catégories, selon qu'elles sont fondées sur la gestion du sol, sur des interventions avec des engins mécaniques lourds, ou sur l'emploi de la végétation.

Gestion du sol

Les méthodes fondées sur la gestion du sol ont pour objectif d'améliorer les façons de préparer le sol afin d'accroître sa résistance à l'érosion. Elles incluent l'apport de fertilisants et de matière organique pour améliorer la structure et la fertilité chimique (R.P.C. Morgan, 1996 (96)). Parmi des mesures de protection contre l'érosion éolienne on compte l'aspersion du sol avec des composants stabilisants tels que des huiles ou de l'écorce broyée. (R.P.C. Morgan, 1996 (96))

En **Tunisie** plusieurs techniques culturales ont été mises en œuvre pour limiter les risques d'érosion sur les terrains arides : par exemple le remplacement de la charrue à disques par la déchaumeuse à socs ou un outil à dents ; l'association du travail du sol à l'apport de résidus de végétation pour améliorer la rugosité du sol ; le labour perpendiculaire aux vents dominants actifs, là où l'érosion éolienne est la plus importante. (G. Coude-Gaussen et al, 1995 (31))

Interventions mécaniques lourdes

Ces techniques sont fondées sur des travaux de terrassement (banquettes, terrasses, barrages, fossés, structures de protection des ravines, jessours, meskats etc.) pour remodeler la surface du sol, afin de ralentir le ruissellement, de retenir les sédiments et de faciliter l'infiltration de l'eau dans le sol. A elles seules, elles ne suffisent pas à supprimer le processus de détachement des particules du sol. La revégétalisation est un complément indispensable.

Au **Maghreb** la politique de défense et restauration des sols (DRS) a mis en place de vastes réseaux de banquettes, comportant une bande de culture, un fossé et un bourrelet de terre. Ces travaux ont concerné 375 000 ha en **Algérie**, 100 000 ha en **Tunisie**, 300 000 ha au **Maroc** entre 1960 et 1990 (Y. Veyret et al, 1998 (158)).

Techniques de végétalisation

Elles utilisent la végétation pour protéger le sol contre l'érosion, améliorer sa structure et par conséquent sa fertilité. Pour arrêter la dégradation du couvert végétal et favoriser sa restauration, diverses solutions sont envisageables en fonction de la nature du couvert et de la cause de la dégradation.

Lorsqu'il s'agit de terrains agricoles, ces mesures combinées avec une bonne gestion du sol peuvent réduire le détachement et le transport des particules. Parmi les techniques les plus connues on peut citer : le paillage, la rotation des cultures, et le maintien de bandes de végétation (naturelle ou non) entre les rangs de cultures. Des solutions courantes contre l'érosion éolienne sont les rideaux-abris et les brise-vent (R.P.C. Morgan, 1996 (96)).

La lutte contre la dégradation des espaces forestiers inclut la définition précise des droits fonciers et des droits d'usage, l'aménagement des forêts selon les principes de la gestion durable, la lutte contre le surpâturage et la surexploitation du bois de feu (y compris en développant des fours plus économes en énergie, ou en substituant au bois des sources d'énergie alternatives), la limitation du grignotage des forêts par les cultures et les villes (au travers notamment de politiques foncières), la défense contre les incendies et, dans certains cas, le reboisement (J. de Montgolfier, 2002 (94)).

La régénération de la végétation naturelle sur des terrains de parcours peut s'obtenir par une diminution de la charge en animaux, ou même, sur des terrains très dégradés, par une interdiction totale du pâturage, plus ou moins prolongée (mise en défens). L'efficacité de cette mesure est variable en fonction de l'état de dégradation de la végétation et de la nature du substrat. En **Tunisie**, la mise en défens de la steppe est efficace dans les zones sableuses alors qu'elle est peu efficace sur croûte gypseuse ou sur glacis limoneux, car la présence de croûtes limite les chances de réussite de la régénération. A Bengardane et à Chahbania la mise en défens de nebkas, pour la fixation de sable, a permis d'augmenter de 42 % la production des espèces annuelles pâturées et de multiplier par 5 la production des espèces pérennes ; la mise en défens de steppes encore en bon état n'a pas eu d'influence sur la production des espèces annuelles, alors qu'elle a permis de multiplier par 5,3 la production des espèces pérennes (G. Coude-Gaussen et al, 1995 (31)).

Le choix des techniques

Lorsqu'il y a dégradation d'un sol, il est rare que le problème à régler soit simple. Au contraire, il y a en général des interactions entre un ensemble de phénomènes complexes (baisse du taux de matière organique, dégradation de la structure, perte de fertilité, érosion mécanique sèche, érosion en nappe, en ravines, glissements de terrain) eux-mêmes dus aux interactions complexes de processus physiques, sociaux et économiques, dont certains ont lieu en amont. Pour entreprendre une lutte efficace contre la dégradation, il faut donc partir d'une sérieuse analyse de tous les tenants et aboutissants de l'érosion, et disposer d'une vision claire des enjeux ainsi que des objectifs.

L'érosion étant un phénomène naturel, il n'est pas souhaitable, ni même possible, de l'enrayer totalement, mais il convient plutôt de la limiter à un niveau « tolérable » (E. Roose, 1994 (128)) (voir Encadré 1). Ce niveau est souvent délicat à déterminer ; il varie en fonction des types de sols et des usages qui en sont faits ou prévus. Le seuil de tolérance accepté déterminera le moment où il faut intervenir ainsi que le type de réponse à apporter. Il est fréquent que la conservation d'un sol passe par l'application de plusieurs mesures combinées (par exemple travaux mécaniques et techniques végétales).

Le choix des techniques à appliquer dépend évidemment du type de sol (nature pédologique, caractéristiques physiques et chimiques, pente, exposition...). Par exemple, l'aménagement de banquettes peut être très efficace sur des sols limoneux soumis à des orages violents et brefs, mais se révéler aggravant sur des sols argileux rapidement saturés : dans ce dernier cas, il augmente les risques de glissement de terrain, de ravinement des exutoires et de sapement des berges en aval.

Dans le choix des techniques, il faut aussi accorder une attention majeure au contexte social et économique ; il faut prendre en compte l'usage qui doit être fait du sol (s'agit-il d'un sol que l'on veut cultiver, ou au contraire d'un sol improductif que l'on doit stabiliser pour éviter des dégâts en aval ?), les moyens disponibles pour assurer la réalisation et la maintenance des ouvrages (présence d'une main d'œuvre importante, moyens financiers) et surtout la motivation et les comportements prévisibles de ses utilisateurs futurs.

Afin que les réalisations soient efficaces il faut qu'elles soient entretenues dans la durée, faute de quoi elles peuvent être à l'origine d'une dégradation encore plus importantes que si elles n'avaient pas existé (les ouvrages mécaniques en particulier demandent un entretien soutenu). En pratique, seule une approche participative associant effectivement les utilisateurs à la conception et à la réalisation des ouvrages est garante de leur durabilité et de leur efficacité à long terme (J. de Montgolfier, 2002 (94)).

4. 2. Historique des stratégies de conservation

Les différentes civilisations qui se sont succédées, au cours des siècles, autour de la Méditerranée ont appliqué, dans le cadre de leurs systèmes agraires, des méthodes de conservation des sols plus ou moins élaborées, et plus ou moins efficaces. A partir du milieu du XIX^{ème} siècle, certains états modernes ont commencé à mettre en œuvre des politiques de conservation des sols. Ces politiques d'état ont généralement connu leur apogée dans des périodes de pouvoir centralisé, autoritaire ou colonial. Aujourd'hui on assiste

souvent à un désengagement de la part des états et à une augmentation de la prise en charge par les pouvoirs locaux.

La restauration des terrains de montagne

Le principe de la RTM a été établi en France dans la deuxième moitié du XIX^{ème} siècle, par l'administration des Ponts et Chaussées, puis par celle des Eaux et Forêts, pour restaurer, en montagne, des sols dégradés par le surpâturage, la surexploitation du bois ou la mise en culture de sols trop fragiles. L'objectif principal était la protection contre les inondations catastrophiques des villes, des voies de communication et des terrains agricoles situés en aval de ceux des bassins versants où l'érosion était la plus active. Un préalable aux travaux était l'expropriation, pour cause d'utilité publique, des terrains les plus érodés, qui étaient ensuite regroupés en « périmètres RTM », propriété de l'Etat.

« Des travaux exemplaires (reforestation des hautes vallées, correction des lits des torrents) ont été réalisés dans les Alpes et dans les Pyrénées pour protéger les axes de circulation et l'aménagement des vallées (irrigation, villes, industries. Les problèmes des éleveurs pauvres ont été « résolus » par l'émigration vers les villes industrielles et les colonies. » (Source : Roose et al dans un article rédigé pour l'ORSTOM, 1998 (135)).

Les techniques de type RTM sont fondées sur :

- la construction de « barrages RTM » en matériaux durables (béton armé, enrochement), souvent assez importants (de l'ordre de 1 à 10 mètres de haut) dans le lit des torrents principaux, afin de stopper le creusement et l'approfondissement du lit par l'érosion régressive. En outre, ils peuvent retenir des sédiments à leur amont. Beaucoup de torrents ont ainsi été traités par de véritables « escaliers » de barrages RTM ;
- le traitement des ravines élémentaires qui alimentent les torrents, par des petits ouvrages en matériaux plus légers (fascines de branchages par exemple) ;
- le boisement, ou la végétalisation des pentes des bassins versants ; en règle générale, tout essai de boiser une pente en érosion active est voué à l'échec si l'érosion régressive continue à enfoncer le lit du torrent qui coule au pied de la pente ; inversement, dans certains cas, il peut y avoir boisement naturel spontané des pentes, une fois que le creusement du lit par l'érosion est stoppé par des barrages RTM.

Par son ancienneté, la RTM constitue une référence pour toute politique de conservation des sols. Depuis l'époque de sa conceptualisation et de sa réalisation dans les montagnes méditerranéennes françaises, d'Afrique du Nord, du Proche Orient (Turquie, Syrie, Liban) et du Moyen Orient (Iran...), la RTM a cédé du terrain face au développement du concept de gestion intégrée. Cependant, même si le contexte institutionnel (expropriation par l'Etat) a changé, nombre des techniques (construction d'ouvrages et de dispositifs de correction) qui lui sont liées restent d'actualité pour la stabilisation des sols des bassins torrentiels.

La conservation de l'eau et des sols

Cette stratégie a été mise au point aux Etats Unis depuis les années 1930, par des agronomes. Elle repose depuis 50 ans sur une organisation articulée autour d'un service de conservation de l'eau et des sols, présent dans chaque district. Celui-ci conseille les fermiers qui le demandent, et peut leur apporter une aide technique et financière pour aménager leurs terres. L'action des services de terrain s'appuie sur un service central, où travaillent des agronomes et des hydrologues. Ce service effectue les études des divers processus d'érosion et de ruissellement, et les évaluations qui servent de bases aux projets. Plusieurs pays méditerranéens ont organisé leurs services de conservation des sols de cette façon.

La défense la restauration des sols

La défense et restauration des sols (DRS) a été développée en Algérie, puis autour du bassin méditerranéen, vers les années 1940-1960, pour faire face à de graves problèmes de sédimentation dans les retenues artificielles et de dégradation des routes et des terres. Il s'agissait avant tout de remettre en état de produire

des terres dégradées par le surpâturage et le défrichement, et de restaurer leur potentiel d'infiltration. Souvent des terrassements considérables étaient entrepris, avec d'énormes moyens mécaniques et une main d'œuvre locale abondante : ils consistaient à couvrir les pentes de banquettes parallèles aux courbes de niveau, chaque banquette étant constituée d'une bande de culture, d'un fossé d'infiltration, et d'un bourrelet de terre, souvent planté d'arbres. La préoccupation première des forestiers créateurs de la DRS était de régénérer l'agriculture, dans le cadre de la « Rénovation rurale ». La place faite à l'agriculture était donc tout à fait essentielle, à la différence de ce qui était la pratique usuelle de la RTM (Source : E. Roose et al dans un article rédigé pour l'ORSTOM, 1998 (135)).

4. 3. Limites des stratégies de conservation

Les stratégies de conservation menées par le passé ont connu des succès divers. Au Nord de la Méditerranée, l'exode rural a très fortement allégé les pressions qui s'exerçaient sur les terres fragiles. Aux efforts de la RTM se sont ajoutés les effets du reboisement naturel spontané qui succède généralement à la déprise agricole et pastorale. Le résultat est que, au Nord, l'érosion est en général bien moins catastrophique aujourd'hui qu'au XIX^{ème} siècle.

Au Sud, il n'en va pas de même ; la pression reste extrêmement forte, et on constate des échecs relatifs des stratégies de conservation appliquées dans ces pays (voir Encadré 10).

Encadré 10 : L'échec relatif de la DRS en Algérie

En Algérie, une enquête menée par l'équipe INRF-ORSTOM avec la collaboration des Eaux et Forêts, a fait ressortir que sur 350 000 ha aménagés, plus de 20 % ont disparu, plus de 60 % se sont dégradés car jamais entretenus ; quant aux aménagements en bon état, il n'est pas démontré que l'érosion y ait posé des problèmes majeurs. On peut toujours penser que sans ces aménagements imparfaits la situation aurait été pire, mais les chercheurs constatent que malgré 40 années d'investissements lourds pour imposer la DRS, les terres continuent à se dégrader, les barrages à s'envaser rapidement (durée de vie de 30 à 50 ans) et le bois de feu à manquer cruellement.

(Source : E. Roose et al., l'ORSTOM, 1998 (135))

Les raisons de ces échecs sont multiples. Il y a tout d'abord le fait que ces politiques ont été conçues dans un cadre colonial (DRS). Dans les plus simples des cas, l'absence de résultats positifs des projets est liée à leur mauvaise conception technique : les méthodes de conservation choisies étaient non adaptées au sol ou au climat. Cependant, trop souvent, l'échec relatif des projets de conservation est lié à une combinaison d'erreurs qui, faute de suivi et d'évaluation des projets, se répètent d'un projet à l'autre. Dans la majorité des cas une approche systémique, qui aurait intégré les différentes dimensions naturelles, sociales et économiques, a fait défaut, sans doute du fait de la complexité d'une telle approche. Les principales raisons citées pour expliquer les échecs sont :

Une mauvaise planification, une réalisation peu soignée ou une absence de suivi des projets.

Les ouvrages de conservation sont abandonnés après leur mise en place, et se dégradent faute d'entretien. Les conséquences sont plus ou moins graves selon le type d'ouvrage. Outre le gaspillage d'un investissement fait « pour rien », il arrive que la dégradation des ouvrages soit à l'origine d'une érosion plus importante que s'ils n'avaient pas existé. Pour éviter une telle issue, les projets de conservation doivent faire l'objet d'un suivi dans le temps et d'une maintenance qui implique les acteurs locaux.

Une mauvaise implication des acteurs locaux.

Or cette appropriation par les acteurs locaux est souvent problématique. Les projets, n'ont pas souvent pris en compte ces acteurs, et ils les impliquent trop rarement et insuffisamment dans les processus de décision, d'aménagement, de maintenance, de développement. Une bonne prise en compte des situations sociales et économiques, et plus encore une véritable participation des bénéficiaires sont les clefs du succès d'un projet.

Des contradictions entre les projets de conservation et d'autres politiques touchant à la gestion des sols.

D'autres signaux « politiques » sont parfois en contradiction avec une meilleure conservation des sols : Par exemple, les subventions accordées en Europe pour la culture de l'olivier poussent, d'après de Graaf et al (W. Valk, 1997 (154)), à une extension de la culture de l'olivier sur des terrains marginaux, sans inciter les agriculteurs à appliquer les mesures de conservation nécessaires. Si les incitations, notamment financières, de ces politiques sont plus intéressantes que celles des politiques de conservation, les agriculteurs ont généralement vite fait leur choix...au détriment de leurs sols.

De manière générale, les intérêts à court terme sont contradictoires avec l'objectif de conservation des sols. Ceci est particulièrement vrai pour les petits paysans qui ont peu de moyens et pour qui la survie immédiate est la première priorité. La pression à la baisse sur les prix agricoles (à la suite par exemple d'une libéralisation du marché) pourrait être un élément supplémentaire d'échec des politiques de conservation à long terme, en augmentant encore l'urgence et l'acuité des problèmes de survie que rencontrent les agriculteurs pauvres.

Des objectifs mal définis

Le manque d'identification claire des enjeux et des objectifs des politiques de conservation nuit à leur cohérence et à leur efficacité. Par exemple, certains travaux semblent avoir davantage pour objectif de donner du travail à des chômeurs ruraux, plutôt que de réduire vraiment la dégradation des sols. Dans les faits, les projets de conservation sont trop souvent dispersés, ponctuels (parcelles morcelées et isolées), ou ne sont pas réalisés à la bonne échelle ; par conséquent, ils affectent peu l'état de dégradation global des terres. On observe trop souvent un manque de coordination des politiques d'aménagement et de conservation aux différentes échelles du territoire (national, bassin versant, sous-bassin, littoral), et une mauvaise répartition des coûts et avantages entre les communautés en amont et en aval. En effet, l'aval bénéficie presque toujours des avantages des mesures de conservation mais supporte rarement les coûts, qui retombent en général sur l'amont. De plus, les politiques de conservation des sols sont trop souvent découplées de celles de conservation de l'eau et de la biodiversité, alors qu'elles devraient en être indissociables.

4. 4. Une nouvelle approche : la gestion conservatoire de l'eau, de la biomasse, et de la fertilité des sols (GCES)

Depuis les années 1975-1980, de nombreuses critiques se sont élevées de la part de chercheurs, de socio-économistes et d'agronomes qui, constatant l'échec fréquent, par le passé, des politiques de conservation, ont mis en cause le manque de prise en compte de l'avis des populations (Lovejoy et Napier dans Plan Bleu, 1996 (79)). Pour pallier ces critiques, une nouvelle stratégie a été élaborée, qui devrait mieux prendre en compte les besoins des utilisateurs et des gestionnaires des terres, tant agriculteurs qu'éleveurs. Cette nouvelle approche - dite gestion conservatoire de l'eau, de la biomasse, et de la fertilité des sols (GCES) - propose des méthodes qui améliorent à la fois la capacité d'infiltration du sol, sa fertilité et ses rendements potentiels, et, par conséquent, la marge bénéficiaire des paysans (E. Roose dans Plan Bleu, 1996 (79)). Elle repose sur la complémentarité des rôles de l'Etat et des acteurs locaux. L'Etat reste responsable de la lutte contre les érosions catastrophiques entraînant ravinements, glissements de terrain, et envasements des barrages, ainsi que de la sauvegarde de la qualité des eaux ; les paysans deviennent responsables du maintien de la productivité de leurs terroirs, en pilotant eux-mêmes la gestion conservatoire de l'eau, de la biomasse et de la fertilité des sols. (E. Roose, 1994 (128))

La mise en œuvre de cette approche comporte trois étapes : les dialogues préparatoires entre paysans, chercheurs et services techniques ; des expérimentations sur le terrain ; un plan d'aménagement global. Elle est actuellement expérimentée par la FAO dans différents pays d'Afrique. Pour l'instant, on ne trouve pas encore de bilan de cette approche dans la bibliographie.

PARTIE 4 : LES DEGRADATIONS DES SOLS PAR LES POLLUTIONS

Les sources de pollution anthropiques sont aussi anciennes que les activités humaines. Cependant, depuis les débuts de la civilisation industrielle, au milieu du 18^{ème} siècle, elles n'ont cessé de croître en nombre et en importance, et les phénomènes de pollution se sont accrus de façon parfois exponentielle jusqu'à nos jours. Parmi les sources principales de pollution des sols on dénombre (EEA, 1999 (43)) :

- l'agriculture moderne, par suite de l'usage systématique d'engrais chimiques et de pesticides, et de l'intensification non raisonnée de l'irrigation qui peut mener à l'accumulation dans le sol de substances toxiques à fortes doses ;
- l'industrie, non seulement par les pollutions localisées dues aux usines, ou aux mines, au moment de la production, mais aussi par les pollutions diffuses liées aux usages et à la consommation des produits ;
- les décharges de déchets agricoles, industriels ou ménagers.

Comme pour tous les problèmes de dégradation des sols, la prévention est toujours moins coûteuse que la réhabilitation d'un sol pollué. En effet la pollution est parfois irréversible, ou peut avoir des effets majeurs à retardement.

Les données qui concernent la pollution des sols en Méditerranée sont rares et ponctuelles. Celles rapportées par la FAO (base de données TERRASTAT, voir Carte 6), montrent que les superficies concernées sont relativement limitées par rapport à celles atteintes par l'érosion ou par l'artificialisation. Néanmoins, il ressort de l'étude bibliographique un certain nombre de phénomènes récurrents au niveau du bassin méditerranéen. Parmi les types de pollution des sols les plus souvent signalés en Méditerranée, on trouve : la salinisation, et la pollution par les métaux lourds. La pollution par les nitrates, les phosphates et les pesticides est mal documentée.

1. Salinité et alcalinité

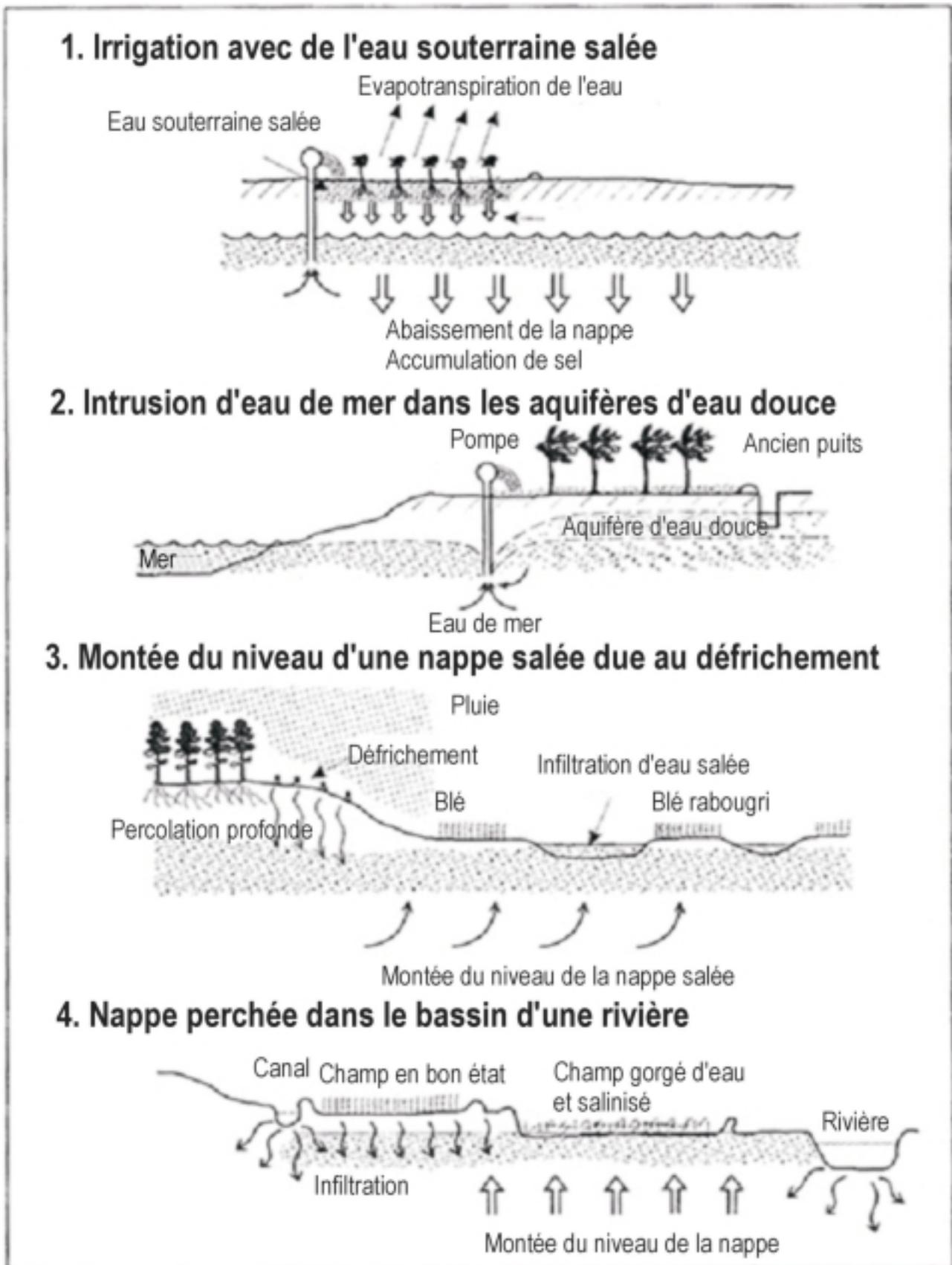
1. 1. Le phénomène et ses causes

On distingue d'une part la salinité primaire, d'origine naturelle, due à la proximité de la mer, ou à l'existence de dépôts salins géologiques ou parfois actuels, et, d'autre part, la salinité secondaire due à des processus de salinisation liés à des activités anthropiques, en particulier à l'irrigation mal conduite dans certaines zones agricoles. Les sols naturellement salins sont fréquents dans les zones arides, parce que l'évaporation potentielle du sol dépasse largement la quantité d'eau qui arrive au sol, ce qui permet aux sels de s'accumuler près de la surface. La salinité secondaire concerne des surfaces plus réduites que la salinité primaire mais a des conséquences économiques plus importantes car elle peut dégrader gravement la fertilité de zones cultivées. Les marais salants, liés à l'exploitation séculaire du sel en Méditerranée, sont un cas intermédiaire.

Les principaux facteurs responsables de la salinisation des terres cultivées sont illustrés dans la Figure 3. Ce sont principalement : l'irrigation des terres avec de l'eau salée ; l'intrusion d'eau de mer dans les aquifères d'eau douce (surtout en zone côtière) ; la montée du niveau d'une nappe salée, même en l'absence d'irrigation, à cause du déséquilibre du bilan hydrique, par exemple à la suite d'un défrichement ; la montée du niveau d'une nappe salée à cause d'une irrigation trop abondante ou d'un mauvais drainage. Ce dernier cas est malheureusement trop fréquent et conduit à de graves dégradations, par exemple dans la vallée du Nil.

La présence de sels solubles dans le sol exerce un effet dépressif sur la croissance des plantes, à partir d'un certain seuil, qui varie d'une espèce à l'autre.

Figure 3 : Quatre principaux modes de salinisation des sols

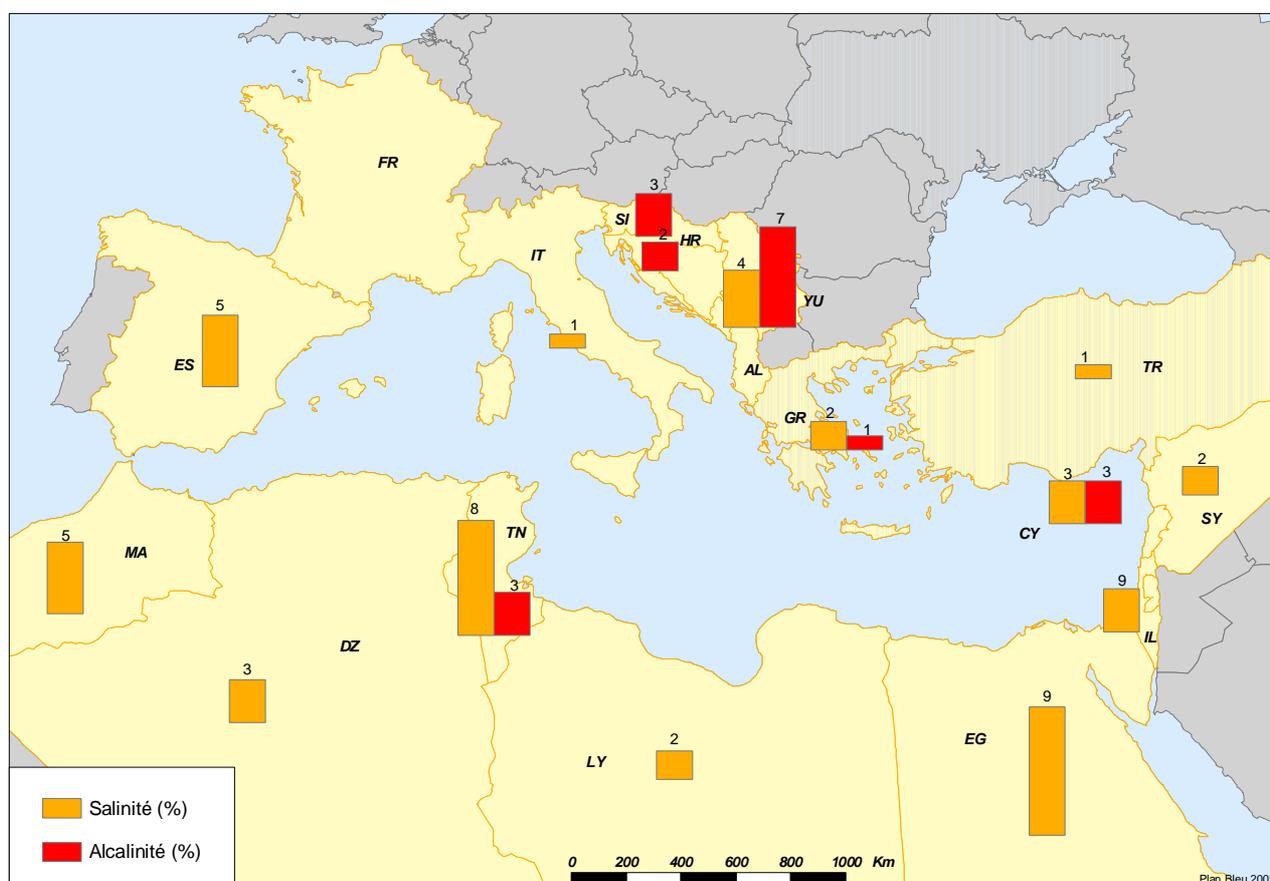


(Source : N. Middleton et al, 1997 (93))

L'**alcalinisation** d'un sol correspond à l'adsorption de sodium à la place d'autres cations (potassium, calcium notamment) sur ses minéraux argileux. Elle peut conduire à une grave dégradation de sa structure par dispersion des substances colloïdales, argileuses ou organiques. Un sol alcalin a généralement une faible perméabilité à l'eau et à l'air, et un pH élevé (dépassant 8,2) ce qui inhibe la croissance de la plupart des plantes, à l'exception de quelques espèces adaptées à ces milieux très particuliers. Comme la salinité, l'alcalinité peut être soit primaire et naturelle, soit secondaire et induite par l'homme (N. Middleton et al, 1997 (93)). Elle se rencontre notamment sur des sols dessalés en bordure de mer, ou, depuis peu, sur les terrains agricoles qui ont reçu de forts épandages d'effluents agricoles riches en sodium (IFEN, 1999 (71)).

1. 2. Les chiffres en Méditerranée

Carte 6 : Surfaces salinisées ou alcalinisées dans plusieurs pays méditerranéens (en % du territoire national)



(Source : carte réalisée à partir de données TERRASTAT, 2001)

Les données de la FAO rapportées par la base de données TERRASTAT ne font pas de distinction entre les surfaces naturellement salines (salinité primaire) et les surfaces salinisées par l'homme (salinité secondaire liée par exemple à une mauvaise gestion de l'irrigation). Par rapport aux surfaces concernées par l'érosion, les chiffres sont relativement faibles. Dans la base de données AQUASTAT on trouve des données concernant les surfaces salinisées par l'homme, mais les chiffres ne sont disponibles que pour l'Albanie, Chypre, l'Egypte, Malte, la Slovénie et la Syrie. Pour tous ces pays les surfaces salinisées par l'homme sont considérées comme nulles sauf en Egypte : 1 210 000 ha (12 100 km², soit 1 % du territoire national), et en Syrie : 60 000 ha (600 km² soit 0.3 % du territoire national).

L'alcalinité des sols concerne des surfaces très réduites et au total, sur l'ensemble des pays où les données sont disponibles, l'alcalinité affecte moins de 1 % du territoire.

Dans la littérature, on trouve souvent, pour la salinisation et l'alcalinisation des terres dans les pays méditerranéens, des chiffres très différents des chiffres officiels de la FAO donnés ci-dessus. Les paragraphes qui suivent reprennent des chiffres trouvés dans la littérature. En fonction des sources, ces chiffres sont très

variables. Les écarts sont déconcertants et difficiles à expliquer. Néanmoins, les causes évoquées sont toujours les méthodes d'irrigation et de drainage peu durables, parce que mal raisonnées et mal adaptées aux terres sur lesquelles on les applique.

D'après (N. Middleton et al, 1997 (93)), la salinité et l'alcalinité secondaires touchent surtout les périmètres irrigués qu'elles stérilisent peu à peu : un tiers des 2,5 Millions d'hectares de terres irriguées dans la région méditerranéenne seraient affecté.

En **Egypte**, le passage d'une irrigation saisonnière à une irrigation permanente, grâce à la construction du haut barrage d'Assouan, a provoqué une augmentation du niveau des nappes et de leur salinité dans les sols de la vallée du Nil. De même dans le delta du Nil, suite à un projet ambitieux d'irrigation qui avait été développé pour mettre en culture les polders de Mansour et de Zawia, environ la moitié des terres a été abandonnée ou n'a pas pu être cultivée pour cause de salinisation (N. Middleton et al, 1997 (93)). Dans ce pays, environ 35 % des terres cultivées souffrent de salinité (EEAA, 1997 (44)) (d'après la FAO, 87 000 km², seraient touchés par la salinisation, y compris les terres naturellement salées et incultivables de ce fait, ce qui représente au total presque 2,5 fois la surface cultivée de l'Egypte en 1994).

En **Afrique du Nord** la salinisation affecte surtout les régions irriguées et les parties basses sujettes à des taux d'évaporation importants. Dans ces régions il existe un risque important de salinisation des nappes (A. Conacher et al, 1998 (30)). En **Algérie** des sebkhas et chotts couvrent plusieurs milliers d'hectares, là où il y a moins de 100 ans étaient encore cultivés les pistachiers de l'Atlas (les bétoums) (Université de Nice 1992 (152)) (FAO : salinité primaire plus secondaire : 72 000 km², soit 90 % de la surface cultivée du pays en 1994).

En **France** salinité et alcalinité concernent environ 1 000 km² (IFEN, 1999 (71)) (2 000 km² d'après les chiffres de la FAO, soit 1 % de la surface cultivée du pays en 1994), la Camargue est une région connue pour sa salinité, il s'agit là d'une salinité primaire. La salinisation secondaire ne concerne pas de grandes surfaces car les eaux des nappes sont généralement peu minéralisées (IFEN, 1999 (71)).

La salinisation en **Italie** est un phénomène important, surtout en Toscane, en Sardaigne et dans les plaines côtières (Val di Corribia, Val di Cecina, Pianura Versiliese) (Italia, Ministero dell' Ambiente, 1997 (74)). L'apparition de croûtes sur des sols salins en période de sécheresse affecte en Italie environ 8 000 km² (A. Conacher et al, 1998 (30)) (d'après la FAO 3 000 km² seraient en Italie touchés par la salinisation, soit 3 % de la surface cultivée du pays en 1994).

En **Grèce** 1 500 km² de sols de plaine, en particulier près des côtes, ont des taux de salinité trop élevés pour qu'ils soient utilisés tels quels sans aménagement (FAO : 3 000km², soit 9 % de la surface cultivée du pays en 1994).

En **Espagne**, les sols salins couvrent une surface d'environ 1 900 km² (A. Conacher et al, 1998 (30)) (FAO : 24 000 km², soit 12 % de la surface cultivée du pays en 1994).

En **Israël** l'irrigation continue sans drainage satisfaisant a causé la salinisation d'environ 300 ha, et l'intrusion marine dans les nappes d'eau douces met en péril les sols des zones côtières (Y. Gradus, 1996 (65)) (D'après la FAO en Israël, 1 000 km² sont touchés par la salinité, soit 25 % de la surface cultivée du pays en 1994).

1. 3. Les réponses spécifiques

La meilleure réponse pour lutter contre la salinisation secondaire est souvent une irrigation raisonnée, où les apports d'eau, à condition qu'il s'agisse d'une eau non salée, ne dépassent pas les besoins des cultures. Ce type de conduite de l'irrigation est facilité par le développement de techniques modernes de micro irrigation, et de techniques avancées permettant le suivi régulier et précis des besoins en eau des cultures. Il faut veiller à ce que les terrains irrigués soient propices à cette pratique. Par exemple les sols ayant de très mauvaises capacités de drainage ou une texture très fine ne devraient pas être irrigués.

Lorsque l'eau d'irrigation est légèrement chargée en sels, il faut au contraire apporter un excès d'eau, et assurer un drainage efficace qui permette au sel apporté par l'eau d'irrigation de repartir avec l'eau de drainage. Lorsque le principal risque est la remontée du niveau d'une nappe salée, il faut soigneusement éviter le contact entre nappe salée et eau d'irrigation, en drainant la nappe, et en limitant les apports d'eau d'irrigation.

D'un point de vue strictement technique il est possible de régénérer des sols salins ou alcalins, mais ces méthodes sont généralement coûteuses :

- Certains sols alcalins peuvent être récupérés grâce à l'application de gypse et d'autres amendements calcaires : le cation calcium s'adsorbe sur les particules argileuses, ce qui permet d'améliorer la structure des sols. L'apport en complément de matière organique augmente les chances de réussite. Afin d'être efficaces, les apports doivent être de l'ordre de la tonne par hectare. L'amélioration de la structure du sol est temporaire et l'application des amendements doit généralement être répétée à quelques années d'intervalle (N. Middleton et al, 1997 (65)).
- Certains sols salins peuvent être récupérés par lessivage, c'est à dire par l'application de très forte doses d'irrigation, accompagnées d'un drainage efficace. Le sel en excès est alors évacué avec les eaux de drainage. Pour que cette technique soit applicable il faut impérativement que les sols soient bien drainés ; or c'est justement souvent la mauvaise capacité de drainage des sols qui est à l'origine de leur salinité. Il faut donc préalablement s'assurer qu'il existe un système efficace de drainage, de collecte et d'évacuation des eaux, ou mettre en place un tel système. Souvent, ceci impose une restructuration totale des périmètres irrigués. Le coût de telles opérations peut dépasser largement les 1 000 \$ par ha (N. Middleton et al, 1997 (65)).

2. L'acidification des sols

2. 1. Le phénomène

Il existe plusieurs causes d'acidification des sols :

- l'apport par l'agriculture de certains fertilisants acidifiants ;
- des retombées, sèches ou par l'intermédiaire des pluies dites acides, de polluants (dioxyde de soufre, oxydes d'azote...) émis par les véhicules, les chaudières, les centrales thermoélectriques et certaines industries ;
- la plantation massive de certains résineux (épicéas) et de certains feuillus (eucalyptus).

L'acidification peut mener à l'appauvrissement du sol en minéraux tels que le magnésium, le potassium, le calcium, ou au passage d'autres minéraux, comme l'aluminium et le manganèse, sous une forme toxique pour les plantes. A l'aval des bassins versants acidifiés, une acidification des cours d'eau peut se produire, ce qui perturbe leur faune et flore (IFEN, 1999 (71)).

2. 2. Les chiffres en Méditerranée

C'est un phénomène peu mesuré, et donc peu observé en Méditerranée. En **France** il n'a été signalé que dans l'Est du pays (IFEN, 1999 (71)). En **Italie** le phénomène est considéré comme inexistant du fait de l'abondance des sols carbonatés qui permettent de tamponner l'acidité (Italia, Comitato Nazionale per la Lotta alla Desertificazione/ Italia, Ministero dell' Ambiente, 1999 (73)). En **Grèce** il n'y a pas de chiffres disponibles dans la littérature, mais il est rapporté que l'augmentation de l'utilisation de fertilisants riches en azote a généré une augmentation de l'acidité de certains sols (A. Conacher et al, 1998 (30)).

2. 3. Les réponses

La fertilisation raisonnée, en réduisant l'apport des intrants acidifiants, peut limiter l'acidification et ses effets, mais ne permet pas de restaurer la capacité tampon du sol. Le chaulage est envisageable pour augmenter le pH mais peut avoir des effets indésirables sur la microfaune et la microflore du sol et accélérer la minéralisation de l'humus du sol. Dans tous les cas le chaulage doit être réalisé de manière à augmenter le pH de façon progressive, de préférence avec des calcaires à dissolution lente, ou de la dolomie. (D. Stanners et al, 1995 (134))

3. Les pollutions par les pesticides, les nitrates et les phosphates

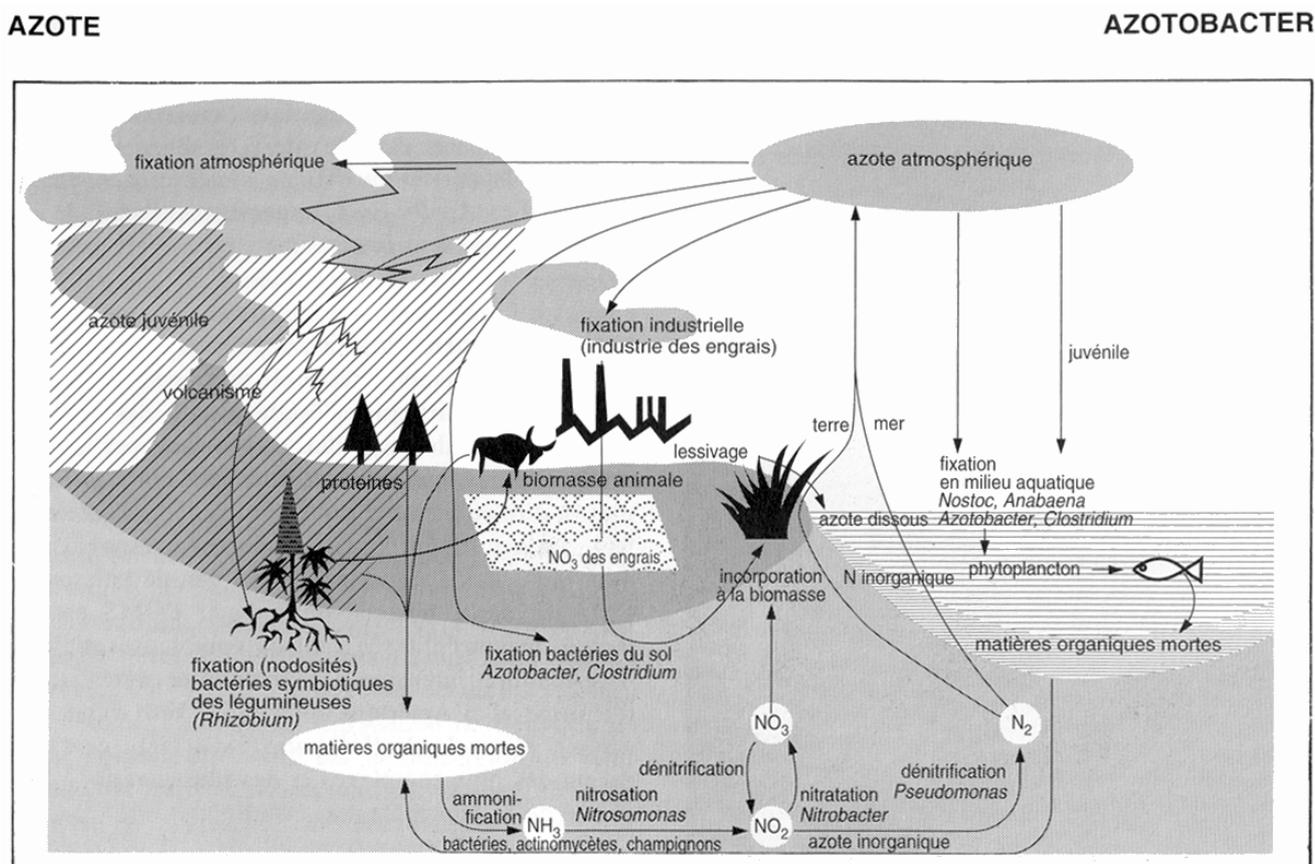
3. 1. Les phénomènes

Les apports par l'agriculture de pesticides, de nitrates et de phosphates modifient les équilibres biochimiques des sols et par conséquent, leurs propriétés. Les impacts positifs de ces modifications (augmentation de la fertilité, diminution des maladies) sont bien évidemment les effets visés par les agriculteurs. Mais il peut aussi y avoir des impacts négatifs, qui, en cas d'excès d'apports, deviennent de véritables pollutions. Ces pollutions peuvent se manifester sur place, on-site, ou à l'aval, off-site, après transport des produits. En règle générale, les nitrates sont transportés à l'état de sels dissous, par les eaux de ruissellement ou d'infiltration ; les phosphates et les pesticides sont transportés à l'état de molécules ou de cristaux liés aux particules de sol arrachées par l'érosion.

Les nitrates modifient fortement le cycle de l'azote (voir Figure 4), notamment le rapport C/N, le degré de décomposition de la matière organique, et par suite la structure des sols et leur capacité de stockage de l'eau. En cas de fertilisation mal conduite, il peut y avoir des dégradations locales des sols (acidification, croûte de battance...). Quant aux nitrates emportés par les eaux, ils polluent les cours d'eau de surface et les nappes souterraines. Ils peuvent causer une eutrophisation plus ou moins grave des rivières, des plans d'eau, des zones côtières, entraînant des dégradations de la biodiversité, des ressources piscicoles et du paysage ; ils sont à l'origine de coûts supplémentaires pour le traitement des eaux (EEA, 1999 (43)), et peuvent même rendre les eaux impropres à la consommation.

Les phosphates sont aussi une cause très importante d'eutrophisation. Lorsque l'érosion a déposé au fond des plans d'eau, naturels ou artificiels, des sédiments riches en phosphore, il est très difficile de les éliminer. Il y a un véritable piègeage des phosphates dans ces sédiments, ce qui constitue une menace permanente d'eutrophisation par relargage.

Figure 4 : Le cycle de l'azote



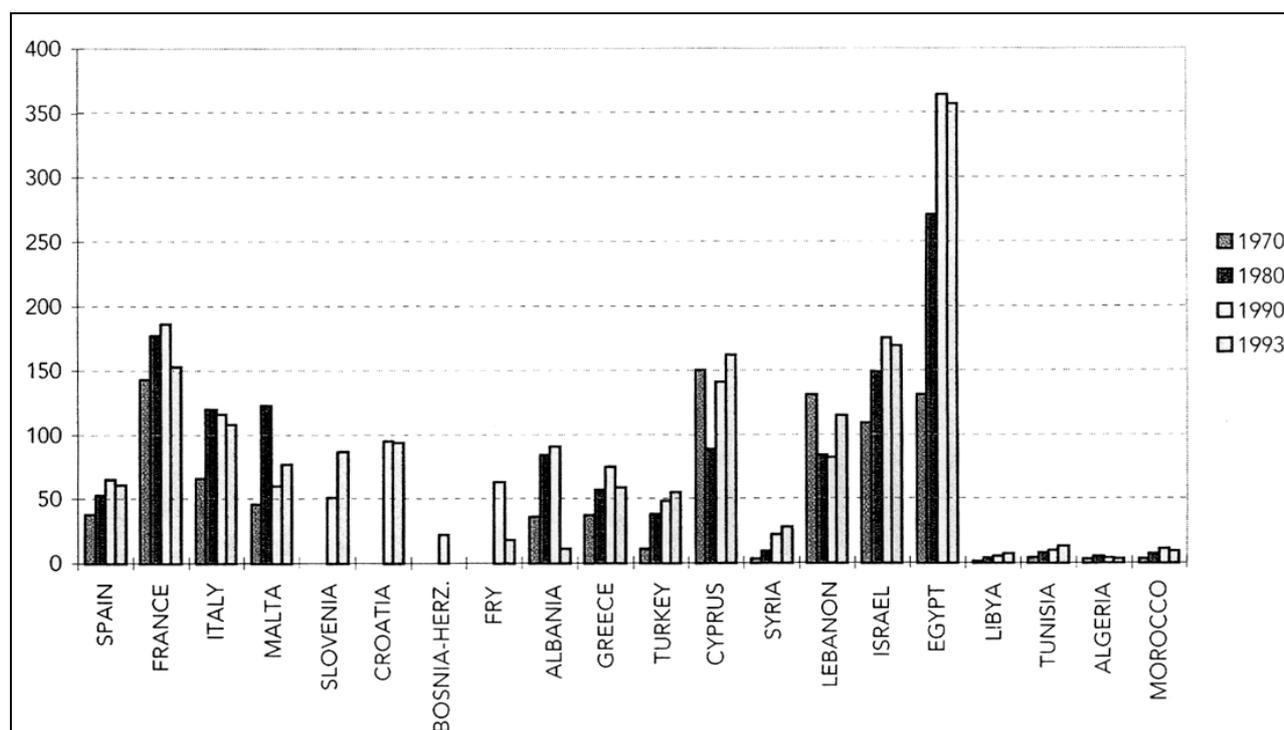
(Source : F. Ramade, 1993 (125))

La pollution par les pesticides peut entraîner la pollution des eaux de surface contaminées par le ruissellement, ainsi que celle des nappes phréatiques. De graves dangers pour la santé humaine peuvent en résulter. L'entraînement des matières actives dépend de la structure du sol, de sa capacité à les absorber, de l'abondance des pluies qui suivent le traitement (des pluies survenant juste après un traitement peuvent entraîner le lessivage de 20 voire 30 % de la dose appliquée). L'entraînement des pesticides en profondeur est moins intense mais plus continu (environ 1 % des doses) ; il est parfois suffisant pour rendre l'eau des aquifères impropre à la consommation humaine.

3. 2. Les chiffres en Méditerranée

La Figure 5 montre l'évolution de la consommation de fertilisants dans les pays méditerranéens. Il apparaît que les pays de l'Est de la Méditerranée (Liban, Israël, et Egypte) sont les plus gros consommateurs de fertilisants. On peut raisonnablement supposer que les problèmes de pollution et d'eutrophisation y sont par conséquent aussi plus élevés.

Figure 5 : Consommation de fertilisants dans les pays méditerranéens de 1970 à 1993



(Source : EEA, 1999 (43))

En France et au Maroc on estime qu'entre 8 et 10 % de l'azote incorporé dans les sols n'est pas utilisé par les plantes (IFEN, 1999 (71) et Maroc. Ministère de l'Intérieur, 1993 (90)). En Espagne de graves problèmes sont dus à l'utilisation excessive de fertilisants dans les zones de cultures maraîchères très intensivement irriguées.

3. 3. Les réponses

La meilleure façon pour lutter contre la pollution des sols par les fertilisants et par les pesticides est une application raisonnée de ces produits, ne dépassant pas les besoins des plantes.

Moyens de réduire les pollutions par les pesticides (D. Stanners et al, 1995 (134)) :

- Respect des doses à appliquer (limiter les surdosages) ;
- Lutte intégrée (biologique) contre les organismes nuisibles ;
- Sélection de cultures résistantes aux organismes nuisibles ;
- Purification des ingrédients actifs qui permet de diminuer les doses à appliquer ;
- Interdiction des pesticides persistants et très mobiles ;
- Interdiction des pesticides à large spectre d'utilisation (ayant aussi des effets sur des organismes autres que les cibles) ;
- Amélioration des techniques d'application (ce qui permet également de réduire les doses) ;
- Développement des biotechnologies.

Moyens de réduire les pollutions par les nitrates et les phosphates (D. Stanners et al, 1995 (134))

- Sélection de plantes moins exigeantes en nutriments ;
- Application des fertilisants à la bonne période afin d'en augmenter l'efficacité ;
- Amélioration des méthodes d'application ;

- Evaluation plus précise des quantités de fertilisants à appliquer en fonction des besoins des plantes et de la quantité d'azote déjà présente dans le sol (avec évaluation plus précise de l'azote grâce aux méthodes modernes) ;
- Minimisation des pertes par lessivage en intégrant des cultures dérobées permettant de fixer l'azote en hiver ;
- Diminution de la charge en animaux dans les régions d'élevage très intensif.

4. La contamination par les métaux lourds

4. 1. Le phénomène

Les sols contiennent naturellement de très nombreux éléments chimiques, notamment des métaux. Certains sont sans effets biologiques marqués. D'autres (le cuivre par exemple) constituent à faible dose des micronutriments indispensables au développement des plantes, mais à plus forte concentration ils peuvent devenir toxique et constituer une menace pour la chaîne alimentaire et pour la santé. D'autres encore (le mercure par exemple) sont toujours toxiques. La concentration de métaux lourds dans les sols peut être très variable. Une forte concentration de métaux lourds peut-être soit naturelle (due au substrat géologique par exemple), soit anthropique, due à des apports directs ou indirects liés aux activités humaines (EEA, 1999 (43)). Les causes les plus fréquentes sont : l'épandage d'engrais phosphatés (cadmium), de lisier de porc (cuivre et zinc) ou de boues de station d'épuration ; les pollutions industrielles ; les pollutions liées au trafic automobile (plomb). Les métaux lourds d'apport anthropique sont souvent présents sous une forme plus réactive et donc plus dangereuse que les minéraux naturels.

Les éléments les plus dangereux pour l'homme et les animaux sont le mercure (Hg), le plomb (Pb), le cadmium (Cd) et l'arsenic (As). Le cuivre (Cu), le nickel (Ni) et le cobalt (Co) ne sont dangereux qu'en concentrations élevées. Le niveau de toxicité de ces éléments dépend de leur concentration (les seuils critiques sont différents d'un élément à un autre), de leur forme chimique, des caractéristiques du sol (capacité tampon), de la végétation et du climat, qui conditionnent les processus biochimiques de l'évolution des métaux dans le sol (piégeage sous forme insoluble, ou au contraire relargage dans l'environnement) (EEA, 1999 (43)).

4. 2. Les chiffres en Méditerranée

Le manque d'un cadre commun de définition et de suivi des sites contaminés ne permet pas de dresser une comparaison entre les différents pays du bassin méditerranéen. Dans le sud de la **France**, de nombreuses zones de viticulture ou d'arboriculture sont contaminées depuis longtemps par le cuivre de la « bouillie Bordelaise ». les parcelles cultivées de manière intensive peuvent être contaminées par des métaux liés aux produits phytosanitaires (Zn, Hg, Pb, Cu, As) ou aux fertilisants (Cd). (IFEN, 1999 (71)). Dans le Sud ouest de la **Sardaigne**, le plus grand bassin minier du bassin méditerranéen apporte plomb, zinc, chrome, et cadmium dans les sols ainsi que dans l'eau des nappes, des lacs, des lagunes, et de la mer. En **Europe**, et à fortiori dans l'ensemble du bassin méditerranéen, des sources de contamination importantes sont constituées par : les décharges mal contrôlées et recevant des déchets toxiques, le mauvais retraitement de certains déchets industriels, ainsi que l'abandon d'infrastructures industrielles, minières ou militaires.

4. 3. Les réponses

La réduction des émissions de métaux lourds est le meilleur moyen de réduire l'accumulation de ces éléments dans le sol. Dans les pays européens l'utilisation d'essence sans plomb a permis de réduire les émissions de plomb dans l'air malgré l'augmentation considérable du parc automobile.

Pour les sols agricoles l'apport de métaux lourds dans le sol peut-être réduit par (D. Stanners et al, 1995 (134)) :

- l'utilisation de fertilisants à faible concentration en métaux lourds et la fertilisation raisonnée ;

- l'utilisation moins fréquente de compléments pour l'alimentation animale et la réduction de leur teneur en métaux lourds (par exemple en évitant l'adjonction de cuivre pour améliorer l'assimilation des aliments) ;
- Le remplacement de pesticides inorganiques (par exemple la bouillie bordelaise...) par des produits organiques biodégradables ;

Les coûts de restauration des sols pollués par les métaux lourds sont presque toujours extrêmement élevés. Les techniques utilisées vont de l'excavation des sols avec élimination des déchets hors site, au recouvrement du sol avec un matériau imperméable pour éviter le contact avec l'eau et réduire les risques de lessivage des polluants vers les nappes souterraines. La dépollution de l'eau implique le plus souvent le pompage et le traitement de l'eau. Des technologies plus avancées telles que le traitement in situ des sites contaminés ne sont pas très répandues du fait de leur faible taux de réussite.

Les sites pollués font l'objet de repérages dans certains pays, notamment en France où l'ADEME recense les sites pollués, et en Italie où les autorités ont identifié les sites à réhabiliter mais où ces opérations sont tellement coûteuses que pour l'instant peu de sites ont été réhabilités.

En raison des coûts de traitement, les mesures de prévention sont à recommander dans tous les cas.

PARTIE 5 : LES DISPOSITIONS INSTITUTIONNELLES POUR LA PROTECTION DES SOLS ET LEURS INSUFFISANCES

1. La prise de conscience de la nécessité de protéger les sols

La **charte des sols** adoptée par la Commission des Ministres du **Conseil de l'Europe**, lors de la conférence de Stockholm de **1972**, fut un premier pas vers la reconnaissance au niveau international du caractère fragile et limité des sols, et de la nécessité de les protéger. Elle officialisa l'idée que l'environnement, et la gestion des ressources naturelles, doivent être appréhendés de façon systémique, en intégrant les causes directes et indirectes de leur altération (pollution, et exploitation excessive des ressources naturelles), et pas seulement de façon purement analytique, comme cela se pratiquait usuellement jusqu'alors.

A une échelle globale, la **charte mondiale des sols**, élaborée en **1981** préconise la définition d'un ensemble de principes de référence, en vue d'une utilisation plus rationnelle des ressources en sols, et de leur protection contre des dégradations irréversibles. Elle recommande que les décisions concernant l'exploitation et la gestion des terres soient prises dans une optique à long terme, et souligne la nécessité, pour les états, d'élaborer des politiques et une législation assurant la protection indispensable des sols.

Cependant, la grande prise de conscience mondiale de la nécessité de gérer de manière durable l'environnement en général, et les sols en particulier, fut la Conférence des Nations Unies sur l'environnement et le développement, dite **Sommet de Rio**, tenue en **1992**. Elle a fait ressortir l'importance d'une gestion écologiquement viable des ressources en sols, dans le cadre du développement durable, par la prise en compte globale et à long terme des liens entre l'économie et l'environnement. Parmi les thèmes abordés lors de la Conférence et touchant à la conservation des sols, figuraient la désertification, les impacts de l'agriculture, le déboisement et l'utilisation du sol. La Conférence a donné lieu à un document d'orientation détaillé, intitulé « Action 21 » (« Agenda 21 » en anglais), qui reprend les objectifs d'environnement et de développement et propose un large éventail d'initiatives privées et publiques pour y parvenir au 21^{ème} siècle.

2. Les actions internationales

2. 1. Les plans Action 21 et Action Med 21

Le plan « Action 21 », adopté et signé lors de la conférence de Rio, comprend sept volets, chacun concernant une partie du futur souhaité pour la planète. La gestion des sols est abordée dans le volet pour un monde fertile, qui comprend les mesures destinées à assurer l'utilisation efficiente des ressources naturelles en rationalisant les systèmes de production.

En novembre 1994, un certain nombre de ministres de l'environnement des pays méditerranéens ont participé dans le cadre du Plan d'Action pour la Méditerranée (PAM) à une conférence à Tunis sur le thème Med21, visant le développement durable dans le bassin méditerranéen. Le produit de cette conférence a été la rédaction du plan « **Action MED 21** », version méditerranéenne d'Action 21.

2. 2. L'UNCCD et les plans de lutte contre la désertification³

La première Conférence des Nations unies sur la désertification (CNUD) s'était tenue à **Nairobi en 1977**. Elle avait lancé le premier appel contre la désertification et adopté un Plan d'action pour la lutte contre la désertification (PACD).

³ D'après la définition officielle de L'UNCCD "le terme 'désertification' désigne la dégradation des terres dans les zones arides, semi-arides et subhumides sèches par suite de divers facteurs, parmi lesquels les variations climatiques et les activités humaines; l'expression 'lutte contre la désertification' désigne les activités qui relèvent de la mise en valeur intégrée des terres dans les zones arides, semi-arides et subhumides sèches, en vue d'un développement durable" (article 1 de la CCD)

Lors de la Conférence de Rio en 1992, le thème de la désertification fut abordé comme un problème important et urgent à traiter. La CCD élargit ses compétences à l'ensemble des pays touchés par la désertification, dont l'Europe méditerranéenne. Elle préconisa une nouvelle approche intégrée du problème, visant essentiellement à mettre en évidence les rapport entre le développement économique et la protection de l'environnement, tout en impliquant pleinement les populations et la société civile, afin de rendre plus efficaces les programmes de lutte.

La **Convention des Nations-Unies pour la lutte contre la désertification (UNCCD)** est un instrument juridique international qui engage tous les pays signataires à coopérer dans la lutte contre la désertification. Elle est entrée en vigueur en **1996**. Aujourd'hui 175 états y ont adhéré ; ils sont répartis en quatre zones géographiques : l'Afrique (Annexe I de la Convention), l'Asie (Annexe II), l'Amérique Latine et les Caraïbes (Annexe III), et le Nord de la Méditerranée (Annexe IV). Le bassin méditerranéen est donc partagé entre les annexes I et IV.

Pour structurer les politiques, le PNUE a demandé aux pays de rédiger des Plans d'Action Nationaux qui établiraient les stratégies à long terme, préciseraient les mesures à prendre et s'attaqueraient aux causes sous-jacentes de la désertification.

2. 3. Les programmes au niveau du bassin méditerranéen

Le PAM, et la CMDD : une approche transversale de la dégradation des sols

Le Plan d'Action pour la Méditerranée (PAM) a été créé en 1975 sous l'égide du PNUE. Les résultats de ses travaux, en particulier ceux conduits par le Plan Bleu (qui est un des Centres d'activités régionales du PAM) figurent parmi les éléments qui conduisirent, en 1994, à Tunis, à l'élaboration du programme Action MED 21, ainsi qu'à la décision, prise à Montpellier en 1996, de mettre en place une Commission Méditerranéenne du Développement Durable (CMDD). La révision du PAM lui-même avait été menée à bien à Barcelone en 1995 (PAM II)). Depuis 1995, le PAM place la lutte contre l'érosion et la désertification parmi les objectifs principaux pour le développement durable de la région.

Le partenariat EUROMED et la gestion des sols

Les relations des pays du Nord de la Méditerranée avec les pays du Sud et de l'Est méditerranéens, n'étaient, jusqu'en 1995, gérées que dans le cadre d'accords bilatéraux. Ces accords ont été progressivement remplacés par des Accords d'Association dans le contexte du Partenariat Euro-méditerranéen⁴ (PEM), qui a été établi lors de la Conférence Euro-méditerranéenne, tenue à Barcelone, en 1995.

Le programme MEDA est le principal outil financier de ce partenariat. Le Programme d'actions prioritaires à court et moyen termes pour l'environnement (SMAP) est la composante environnementale du PEM. Il permet des actions conjointes au niveau Méditerranéen ; il fournit des orientations pour les politiques et les financements dont le but est d'assurer des synergies avec d'autres programmes et instruments existants. Un des cinq champs d'action prioritaires du SMAP concernent la question de la désertification.

Les ONG

De nombreux programmes régionaux ont également été lancés en coopération avec d'autres organismes multilatéraux ou des ONG internationales actives dans la région. On peut citer notamment l'Observatoire du Sahara et du Sahel (OSS), créé en 1992, dont la mission s'exerce dans le cadre de la mise en œuvre de la CCD et de l'Agenda 21 en Afrique. Son objectif principal est de favoriser le développement et la valorisation du capital informationnel de ses partenaires, en vue d'une utilisation optimale des moyens destinés à la lutte contre la désertification.

⁴ Les 27 partenaires euro-méditerranéens sont : les 15 membres de l'UE et 12 Pays de la Méditerranée : Algérie, Chypre, Egypte, Israël, Jordanie, Liban, Malte, Maroc, Syrie, Tunisie, Turquie et Autorité Palestinienne

Des réseaux permettent aux ONG de coordonner leurs actions et de partager leurs expériences dans les domaines qui les concernent à l'exemple des réseaux méditerranéens comme MEDFORUM⁵ qui regroupait en septembre 2001 115 organisations de 23 pays) et le Mediterranean Information Organisation.

2. 4. Un bilan mitigé des actions internationales L'exemple de l'UNCCD

Les principales critiques adressées à l'UNCCD concernent tout d'abord la faiblesse du dossier scientifique de la convention. En effet, alors que des programmes scientifiques sur les zones arides avaient déjà débuté à la fin des années 1960, les réponses proposées par les scientifiques sur les questions de dégradation des sols étaient encore controversées et divergentes, voire assez souvent contradictoires. Les désaccords portaient à la fois sur les définitions du phénomène, sur les mécanismes en jeu, sur l'ampleur de son évolution, et sur les stratégies de lutte à favoriser. En 1991, le PNUE concluait que le problème de dégradation des terres dans les zones arides, semi-arides et sub-humides sèches s'était aggravé.

De plus, certaines réticences sont apparues pour le financement des Plans d'Action Nationaux pour la lutte contre la désertification. Elles seraient liées à la faiblesse du dossier scientifique de la convention, et à une certaine tendance à dramatiser les risques de désertification sans se doter par ailleurs de vrais moyens d'action quand il s'agit de fixer les objectifs prioritaires de la lutte. En outre, le travail demandé aux pays pour la rédaction des Plans d'Action Nationaux serait trop important ; dans le bassin méditerranéen, les efforts n'ont abouti qu'à des propositions que certains ont jugées dispersées, irréalistes et sans évaluation financière, à l'exception notable de la Tunisie. Il semblerait qu'une raison de fond ait son origine dans la diversité géographique et politique qui rend difficile le choix d'une stratégie commune acceptable au sein de la CCD. (P. Rognon, 2001 (127)).

Enfin, l'essentiel des crédits débloqués pour la lutte contre la désertification aurait été absorbé par des institutions, des ONG, et des réunions autour du thème de la désertification, ne laissant que peu de moyens pour des programmes et des projets d'action ou pour des recherches concrètes à long terme sur la désertification. Au total, moins de 10 % des sommes dépensées auraient été affectés à des projets de lutte concrets ou à la recherche à long terme. Or, l'aide au développement est en crise. Les objectifs définis à la conférence de Rio étaient de lui affecter 0,7 % du PIB. En pratique, la France y consacre, en 1999, à 0,38 %, et les USA 0,1 %.

Malgré ces critiques la lutte contre la désertification reste plus que jamais considérée comme un enjeu majeur ce qui a conduit à la recommandation formulée lors du sommet du développement durable de Johannesburg, d'envisager de désigner la dégradation des sols (désertification et déforestation) comme domaine d'intervention du Fonds pour l'Environnement Mondial de manière à permettre à ce dernier de promouvoir l'application effective de la convention des Nations unies sur la Lutte Contre la Désertification.

3. Les actions nationales

Celles-ci sont trop diverses pour en donner ici une présentation exhaustive. Mais il est remarquable que, pratiquement dans tous les pays, elles fassent l'objet de critiques graves et convergentes de la part de nombreux auteurs qui soulignent que, trop souvent, les questions environnementales, et tout particulièrement celles concernant les sols, ne sont pas systématiquement intégrées dans la formulation des politiques gouvernementales.

Dans la plupart des pays méditerranéens, la répartition des responsabilités concernant l'utilisation de la ressource sol est dispersée entre plusieurs organismes qui interviennent à différents niveaux géographiques. Le manque de cohérence et de coordination entre les politiques sectorielles, le manque d'information en ce qui concerne la gestion des sols ainsi que les déséquilibres entre les différents groupes de pression (urbains,

⁵ Réseau d'ONG de la Méditerranée pour l'Écologie et le Développement durable

agriculteurs, environnementalistes...) limitent l'efficacité de l'intervention des pouvoirs publics et génèrent des contradictions, voire des conflits, qui affaiblissent les politiques de conservation adoptées.

3. 1. Des contradictions entre les politiques sectorielles

Il existe fréquemment des contradictions entre d'une part les modalités concrètes des interventions en vue de l'amélioration de la production agricole et, d'autre part, les objectifs affichés de lutte contre la dégradation des sols.

Par exemple, dans **les pays méditerranéens de l'UE**, les subventions à la production d'olives, étaient, il y a quelques années, proportionnelles aux quantités produites ; elles allaient ainsi à l'encontre de la conservation des sols dans les zones marginales, car elles incitaient les producteurs à intensifier leur production sur des parcelles où l'intensification n'était pas adaptée. Ce mécanisme a été réformé et remplacé par un système de subventions proportionnelles au nombre d'arbres. Ce nouveau système n'a pas résolu le problème, car il incite les agriculteurs à défricher et à planter des terres à potentiel de production très faible, afin de toucher plus de subventions. Ni l'ancien ni le nouveau système n'encouragent la prise en compte des facteurs de l'environnement et de la conservation des sols (De Graaff, 1996 (64)).

Un rapport de l'**OCDE** (OCDE, 1994 (99)) établit que dans de nombreux pays membres, dont la **Turquie**, les différents types de dégradation sont le plus souvent analysés et traités indépendamment les uns des autres, et que les mesures de conservation sont aussi nombreuses et dispersées que les facteurs incriminés, alors que, souvent, les différents phénomènes de dégradation sont en interaction, voire se conjuguent, et que les mesures devraient être intégrées.

3. 2. Une mauvaise coordination entre organismes

Un système trop complexe et confus au niveau institutionnel, avec une mauvaise intégration verticale, peut avoir comme résultat le non-traitement de problèmes essentiels concernant les ressources naturelles.

En **Turquie**, il n'y a pas de coordination structurelle entre les institutions très nombreuses qui se partagent les missions de conservation des sols. Ainsi, au niveau central, selon (Orhan Dogan – PAP-RAC, 2000 (145)) : « il manque un Bureau de conservation des sols, et aux niveaux régional et départemental il faudrait que la Direction de conservation des sols (abolie en 1984) soit ré-instaurée pour développer et poursuivre les travaux concernant les ressources en sols, les inventaires, les études, la cartographie, le contrôle de l'érosion, l'irrigation, le drainage, le remembrement et les recherches fondamentales qui de nos jours ne sont pas assurés correctement. »

De même, au **Maroc** il y a des problèmes de coordination et d'arbitrage entre les institutions chargées de la gestion des terres. La délimitation des responsabilités des différents intervenants n'est pas assez clarifiée. Selon (Laouina – PAP-RAC, 2000 (145)) le Ministère de l'Intérieur conserve la tutelle des collectivités locales ; la réalisation des aménagements hydrauliques est du ressort du Ministère de l'Équipement ; l'administration des Eaux et Forêts, chargée de la conservation des sols et l'aménagement des bassins versants, est peu soutenue par l'autorité locale et par la justice, et les municipalités sont souvent en désaccord avec les « Jma'a » traditionnelles ; à cet arsenal institutionnel complexe s'ajoutent des institutions de concertation comme le Conseil supérieur de l'eau et du climat et le Conseil national forestier qui émettent des recommandations. Les structures de représentation des bénéficiaires ne sont pas réellement opérationnelles (problèmes de constitution et de financement) ; par contre le mouvement associatif est en pleine expansion, favorisé par les bailleurs de fonds, mais il se pose des problèmes de capacité à jouer le rôle d'intermédiaire et d'ancrage dans les terroirs.

En **Tunisie**, la situation se caractérise par une grande multiplicité des centres de décision et des intervenants sur les mêmes territoires ; les nombreux textes juridiques sectoriels sont difficiles à coordonner et à mettre en œuvre, ce qui peut être à l'origine de projets et de programmes sectoriels non intégrés, même au niveau d'un bassin versant.

3. 3. Une mauvaise intégration des différents niveaux géographiques

Au **Maroc**, outre la mauvaise coordination entre institutions, le fait que l'action publique se soit surtout orientée vers des opérations de vaste envergure et n'ait pas acquis assez de capacité d'intervention souple à petite échelle constitue une entrave à la bonne réalisation des politiques de conservation (PAP-RAC, 2000 (145)).

Les pays examinés par l'OCDE, dont les pays européens méditerranéens et la Turquie, s'orientent vers une plus grande décentralisation et une déconcentration accrue de la prise de décisions en matière de conservation des sols (OCDE, 1994 (99)). Par exemple, la création d'agences de bassin en **Italie**, devrait améliorer les liens entre les niveaux local (provinces), national (ministères) voire international (Action 21).

3. 4. L'absence d'une législation adaptée

Les différents pays n'en sont pas tous au même point dans l'élaboration des cadres juridiques pour la gestion intégrée des sols. Dans la majorité des pays méditerranéens, la volonté de compléter et de mieux coordonner la législation sur les sols, en s'appuyant sur un processus dynamique d'examen et de réforme, est insuffisante.

L'AEE a fait une analyse de la gestion des sols européens, qui est une des priorités affichées dans le 5^{ème} Programme communautaire d'action pour l'environnement (5PAE). Il en ressort que, contrairement à celles de l'air ou de l'eau, la protection des sols ne fait pas l'objet de politiques spécifiques. Il n'y a pas de législation la concernant directement (protection primaire) ; elle est plutôt visée indirectement à travers des mesures sectorielles de protection de l'eau et de l'air (protection secondaire), incluses, par exemple, dans la directive sur les nitrates, ou celle sur les boues de station d'épuration. L'AEE conclut que, au niveau européen et dans les pays membres et candidats, il manque une politique qui reconnaîtrait les rôles des sols, prendrait en compte les problèmes issus de la compétition entre leurs différents usages, et viserait au maintien de leurs fonctions multiples. Une telle politique favoriserait une amélioration considérable de l'environnement en Europe.

Dans certains pays, la création d'une législation spécifique pour la protection des ressources en sols remettrait en cause des lois existantes touchant aux terres qui, faute d'être revues, entraveraient la réalisation des objectifs de conservation. Par exemple, en **Turquie**, les lois existantes favorisent le morcellement des exploitations agricoles lors des successions, ce qui nuit à l'élaboration de politiques intégrées ; elles conduisent souvent à la surexploitation des pâturages, en n'incitant pas leurs utilisateurs à une gestion viable des ressources, conciliant l'intérêt des particuliers avec l'intérêt collectif, à l'échelle locale, régionale ou nationale (OCDE, 1994 (99)).

En **Tunisie**, jusqu'en 1995, la démarche adoptée dans la lutte contre l'érosion n'était pas globale et reposait sur des bases juridiques disparates : elle était fondée sur les dispositions du Code forestier (1966 refondu en 1988), du Code des eaux (1975), de la Loi sur la protection des terres agricoles, et de nombreux arrêtés relatifs à certaines techniques agricoles, pris en fonction des nécessités. Ce n'est qu'en 1995, lorsque le code de la CES (Conservation des Eaux et des sols) a été mis en place, que fut instituée une approche intégrée et participative, basée sur le partenariat entre l'administration et les bénéficiaires des travaux (Ali M'hiri, PAP-RAC, 2000 (145)).

3. 5. La faiblesse des moyens d'action⁶

Les problèmes de mise en œuvre de la réglementation peuvent être à l'origine de difficultés durables, et de la détérioration chronique des ressources.

Au **Maroc**, par exemple, la législation forestière est ancienne et offre des moyens d'action pour les objectifs de conservation, puisqu'elle permet de définir les usagers exclusifs de chaque massif forestier et de réguler les prélèvements en sanctionnant les prélèvements abusifs. Mais, dans la réalité, ces principes ne sont pas

⁶ L'expression « moyens d'action » renvoie aux divers instruments qui permettent la mise en application de la législation. Ils incluent les instruments réglementaires, les instruments économiques, et la sensibilisation du public (99)

toujours appliqués et les usagers, qu'ils aient des droits d'accès légaux ou non, pratiquent souvent des prélèvements abusifs, surtout s'il y a un objectif commercial (fourniture de charbon ou de bois pour la ville). Jusqu'à une date récente, trop de projets étaient menés sans réellement impliquer la société civile (manque de sensibilisation), l'encadrement restait insuffisant et la stratégie des populations était parfois en contradiction avec celle des projets. Il en résultait un manque d'entretien voire la destruction, des ouvrages de protection. Pour ce qui est de la protection du couvert forestier, officiellement les mesures incitatives étaient rares, au profit des mesures répressives, sans souci de proposer des alternatives aux usagers, alors que, en pratique, elles étaient peu appliquées, notamment en ce qui concerne la pénalisation des prélèvements abusifs commerciaux (PAP-RAC, 2000 (145)). Néanmoins, depuis quelques temps, la situation est en évolution rapide, et le Maroc a mis en place des projets de développement intégré exemplaires, tels que le projet GEFRIF de protection et gestion participative des écosystèmes forestiers du Rif (J. de Montgolfier, 2002 (94))

L'OCDE considère que dans certains de ses pays membres (méditerranéens ou non) la diversité et l'efficacité des moyens actuellement mis en œuvre sont généralement insuffisants pour répondre aux objectifs ambitieux de protection et de remise en l'état de l'environnement, et que le budget public consacré à la sensibilisation du public devrait augmenter (OCDE, 1994 (99)).

QUELQUES PISTES DE REFLEXION POUR LE FUTUR

Les éléments d'analyse sur les rôles que remplissent les sols, et de diagnostic sur les menaces de dégradation qui les affectent, font généralement l'objet d'un consensus aux niveaux des pays et des organismes internationaux. Dans la zone méditerranéenne, l'importance de la conservation des sols pour la protection des ressources en eau et de la biodiversité et pour la production agricole est depuis longtemps reconnue, ainsi que les liens entre dégradation des sols et pauvreté.

Partant de ce diagnostic, presque tout le monde s'accorde sur le fait que la gestion des sols devrait être conduite de manière « intégrée » dans l'espace et dans le temps. Afin de tenir compte du contexte social et économique qui conditionne la gestion des sols, il conviendrait d'impliquer le plus possible les acteurs locaux dans la formulation des objectifs des politiques, puis dans la réalisation et la maintenance des travaux prévus. Il faudrait que les processus de décision et d'application soient souples en fonction de la spécificité des sites et des acteurs locaux, et que la mise en œuvre des mesures relatives à la conservation des sols soit déléguée le plus possible aux intéressés (approche dite « bottom-up »).

On peut considérer ces principes comme admis par la majorité des acteurs impliqués dans la gestion des sols, au moins depuis 1992. Or, dans les faits, l'intégration tant prônée se fait attendre. Globalement, même si on peut constater une prise de conscience croissante de la problématique, il y a une certaine inertie des appareils institutionnels face à la vitesse des dégradations irréversibles d'une ressource pourtant précieuse pour le développement économique futur. On constate que, trop souvent encore, les différentes ressources naturelles sont gérées par des institutions différentes. Dans la répartition des priorités, les sols ont longtemps été les parents pauvres de l'environnement. Malgré plusieurs accords internationaux et le caractère urgent des problèmes de dégradation, les politiques de conservation des sols tardent à se mettre en place. En outre, le public est peu ou mal sensibilisé à ces problèmes, en particulier en ce qui concerne la perte de terres fertiles au profit, par exemple, de l'urbanisation. Alors que la déforestation retient l'attention et mobilise beaucoup d'acteurs – y compris l'opinion publique – la prise de conscience de l'importance et des impacts de la disparition du potentiel agricole par construction (artificialisation) est bien moindre. Par conséquent, les pressions pour mettre en place des mesures visant à limiter la disparition irréversible de cette ressource hautement productive font défaut. Une cause de cet état de fait est peut-être à rechercher dans la complexité du problème, et des dispositifs institutionnels que requiert la lutte, ainsi que du manque de recul et de bilans.

L'amélioration, dans la pratique, de la gestion intégrée des ressources naturelles nécessiterait d'importantes évolutions dans les approches et les interventions, qui devraient s'appuyer sur des dispositifs juridiques et institutionnels plus cohérents et efficaces. En particulier les rôles des différentes autorités devraient être mieux définis, et la coordination mieux assurée entre unités administratives de même niveau (par exemple entre les ministères en charge du développement régional, de l'aménagement du territoire, de l'agriculture, de l'environnement et de la forêt). Une déconcentration de l'action permettant une adaptation fine aux réalités du terrain, et une véritable participation de tous les acteurs sociaux concernés est certainement souhaitable. Le succès des mesures de conservation des eaux et des sols passe aussi par la levée des obstacles à l'investissement à long terme. Sans sécurité foncière et financière, les agriculteurs concernés peuvent-ils s'engager sur le long terme dans des activités pour le maintien de la fertilité des sols ? Ceci devrait inviter également à une plus grande intégration des politiques d'environnement (forêts, eaux, sols, biodiversité...) et de développement agricole et rural.

Dans ces conditions, on pourrait voir progresser, idéalement, une « ingénierie du développement durable ». Celle-ci partirait de l'analyse des stratégies et des comportements des acteurs, des outils d'action opérationnels et des impacts des activités humaines. Elle chercherait à faciliter le choix de politiques rationnelles et la recherche de modèles réalisables. Elle intégrerait les savoirs et les pratiques locaux et faciliterait l'émergence des compromis entre acteurs. Elle s'appuierait sur : l'association du niveau local dans les prises de décision ; des mécanismes de solidarité financière, fiscale et foncière entre les usagers des

ressources amont et aval ; des systèmes d'aide publique modulés en fonction des aspects sociaux, économiques et environnementaux. Elle aurait pour principe de fonder la sauvegarde du long terme (la conservation des ressources) sur l'amélioration de la situation socio-économique à court terme (lutte contre la pauvreté, consolidation des revenus), et sur la réalisation des conditions requises pour une gestion responsable et durable (amélioration de la sécurité foncière et financière). Elle inviterait donc à ne pas dissocier développement et environnement, mais, au contraire, à intégrer pleinement celui-ci dans l'action économique.

Afin de faire progresser ce savoir-faire concret sur le développement durable, il est essentiel de multiplier les évaluations a posteriori des expériences qui ont vu le jour en Méditerranée, et de promouvoir les échanges sur ce thème. En effet, malgré un constat d'ensemble plutôt sombre, il existe, au niveau du bassin méditerranéen, un certain nombre d'expériences de gestion durable et intégrée qui, quoique souvent ponctuelles et difficiles à extrapoler, présentent une valeur exemplaire. Dans tous les pays, il serait très profitable d'identifier et d'analyser des cas de gestion intégrée des eaux, de l'agriculture, des forêts et des sols, sans oublier que l'analyse de certains échecs ou semi-échecs peut constituer un retour d'expérience riche d'enseignements. Il y a là un important domaine de coopération entre pays méditerranéens à développer.

BIBLIOGRAPHIE

1. *Academia Europea per l'Ambiente-International Conference "Environmental and Sanitary Problems of Air, Land and Coastal Waters in the Mediterranean Area"*, Naples, Italie, 8-10 octobre 1992-Naples (ITA)-1992-217 p.
2. *AEE/ UNEP - Etat et pressions du milieu marin et littoral méditerranéen. Résumé-Copenhague-AEE-1999-43 p.*
3. *Agropolis / ADEME - Séminaire international "Agriculture et développement durable en Méditerranée"*, Montpellier (FRA), 10-12 mars 1997-Montpellier (FRA)-1997
4. *AKESBI Najib, GARCIA-ALVAREZ-COQUE José-Maria - Globalisation, natural resources and agricultural policies in the Mediterranean region-MEDIT, n°2 -Bologna-Edagricole-2001-pp. 2-12*
5. *AXIAK, Victor/ GAUCI, Vince/ MALLIA, Adrian/ MALLIA, Edward/ SCHEMBRI, Patrick J. VELLA, Alfred J.-Malta. Environment Protection Department-State of the environment : summary report for Malta 1998-1999-130 p.*
6. *BALABANIS, P. (ed.)/ PETER, D. (ed.)/ GHAZI, A. (ed.)/ TSOGAS, M. (ed.)-EC. DG Research-Mediterranean desertification : research results and policy implications-Vol. 1 : Plenary session : Keynote speakers-Vol. 2 : Summary of project results-2 vol.-Proceedings of the International conference, 29/10-01/11/96, Crete, Greece-Luxembourg-Office for Official Publications of the European Communities-1999/ 2000-429 p. ; 615 p.*
7. *BALDACCHINO, Alfred E. (ed.)/ TANTI, Christine M. (ed.)-Proceedings of seminar-National awareness seminar on desertification and land degradation, Malta, 3-4 June 1998-Valetta-Ministry of Foreign Affairs ; Environment Protection Department-1999-112 p.*
8. *Banque Mondiale EMTEN/EMENA - Les problèmes de l'environnement en Algérie. Version provisoire-Washington D.C.- Banque Mondiale-1989-76 p.*
9. *BARAKAT, Hala N. (ed.)/ HEGAZY, Ahmad K./ TOLBA, Mostafa (préf.)-UNESCO/ IDRC (International Development Research Centre)/ Egypt. South Valley University-Reviews in ecology : desert conservation and development-Cairo-1997-331 p.*
10. *BARNIER, Michel (préf.)- France. Ministère de l'Environnement- La protection de l'environnement méditerranéen. Contribution de la France - Paris- Documentation française-1994-345 p.*
11. *BARRERE, Martine (dir.) - Terre patrimoine commun. La science au service de l'environnement et du développement- Paris- La Découverte-1992-196 p.*
12. *BARTH, H. (ed.)/ L'HERMITE, P. (ed.)-CEC (Commission of the European Communities)-Scientific basis for soil protection in the European Community. Proceedings of the Symposium on Soil Protection, Berlin, 6-8 October 1986-London-Elsevier Applied Science-1987-630 p.*
13. *BERRIANE, Mohamed (dir.)/ LAOUINA, Abdellah (dir.)- Aménagement littoral et évolution des côtes. L'environnement des côtes marocaines en péril. Actes-Symposium "Aménagement côtier et évolution des littoraux dans les pays en développement" organisé par le Comité National de Géographie du Maroc et la Commission de l'Environnement Côtier de l'Union Géographique Internationale. Tétouan, Tanger et Rabat, 27 avril- 3 mai 1992-Rabat-Comité National de Géographie du Maroc-1993-119 p.*
14. *BETHEMONT, Jacques-Géographie de la Méditerranée-Paris-Armand Colin-2000-313 p.*
15. *BLAIKIE, Piers-The political economy of soil erosion in developing countries-London-Longman-1985-188 p.*
16. *BOUGEANT Pierre-La Méditerranée sur la liste rouge-Etudes foncières, n°91, mai-juin 2001-Paris-ADEF-2001-pp. 21-23*
17. *BRANDT, C. Jane (ed.)/ THORNES, John B. (ed.)-Mediterranean desertification and land use-Chichester (GBR)-Wiley-1996-554 p.*
18. *BRAUDEL, Fernand-La Méditerranée – L'espace et l'histoire-Manchecourt-Flammarion-1985-223 p.*
19. *CANGIR Cemil, KAPUR Salim, BOYRAZ, Duygu, AKCA Erjam, ESWARAN Hari-An assessment of land resource consumption in relation to land degradation in Turkey-Journal of Soil and Water Conservation, Third Quarter 2000-2000-pp. 253-259*
20. *CARSIN, Jean-Louis/ CHASSARD-BOUCHAUD, Colette-L'environnement de la Méditerranée-Paris-Puf-Que-sais-je ? n°3306-1998*
21. *CCE (Commission des Communautés Européennes)-L'état de l'environnement dans la Communauté Européenne. Aperçu-Bruxelles-CEE-1992-95 p.*
22. *CE. Eurostat. Groupe de travail "Statistiques de l'Utilisation des Sols"-Manuel des concepts relatifs aux systèmes d'information sur l'occupation et l'utilisation des sols. Document de travail-Luxembourg-2000-96 p. ; 92 p.*
23. *CFCE (Centre Français du Commerce Extérieur)/ Poste d'Expansion Economique. Madrid-Espagne. La décontamination des sols-Madrid-1994-13 p.*
24. *CHALINE Claude-PNUE/PAM/PlanBleu, CMDD (Commission Méditerranéenne du Développement Durable)-L'urbanisation et la gestion des villes dans les pays méditerranéens : évaluation et perspectives d'un développement urbain durable. Document préparé pour la Réunion méditerranéenne "Gestion des villes et développement durable", Barcelone, 3-5 septembre 2001-Sophia Antipolis-Plan Bleu-2001-42 p.*

25. CHEROT, Jean-Yves (dir.) / ROUX, André (dir.) / MANOS, Aldo (préf.) - Université d'Aix-Marseille III. CERIC (Centre d'Etudes et de Recherches Internationales et Communautaires) - Droit méditerranéen de l'environnement - Paris-Economica-1988-191 p.
26. CIHEAM. Institut Agronomique Méditerranéen de Zaragoza/ CCE. DG I (Relations extérieures) - Etat de l'Agriculture en Méditerranée. Les sols dans la région méditerranéenne : utilisation, gestion et perspectives d'évolution - Cahiers Options Méditerranéennes, vol. 1, n° 2 - Zaragoza (ESP) - Institut Agronomique Méditerranéen de Zaragoza - 1993-269 p.
27. COMBY, Joseph / RENARD, Vincent - Les politiques foncières - Paris - PUF - 1996 - 126 p.
28. Commission Européenne. DG relations extérieures - Partenariat euro-méditerranéen. Le programme MEDA - Bruxelles - Commission Européenne - 1999 - 22 p.
29. Commission Européenne. DG relations extérieures - Partenariat euro-méditerranéen. Programme d'Actions Prioritaires à Court et Moyen Termes pour l'Environnement (SMAP) - Bruxelles - Commission Européenne - 1999 - 24 p.
30. CONACHER, Arthur J. (ed.) / SALA, Maria (ed.) - Land degradation in Mediterranean environments of the world : Nature and extent, causes and solutions - New York - Wiley - 1998 - 491 p.
31. COUDE-GAUSSEN, Geneviève / ROGNON, Pierre (dir.) - CE. MED-CAMPUS - Désertification et aménagement au Maghreb. Cours des séminaires - Séminaires de Medenine (Tunisie) et Agadir (Maroc), 1993 - Paris - L'Harmattan - 1995 - 313 p.
32. COWI (Consulting Engineers and Planners, Denmark) / Netherlands Economic Institute / Andante, Sweden - Evaluation of aspects of EU development aid to the MED region. Final synthesis report. - 1998 - 60 p. + annexes
33. Croatia. Ministry of Environmental Protection, Physical Planning and Housing - National report on Environment and Development (prepared for UNCED 92) - Zagreb (HRV) - 1992 - 51 p.
34. Cyprus. Ministry of Agriculture and Natural Resources / Council for the Protection of the Environment - National Report to the United Nations Conference on Environment and Development in Rio de Janeiro, Brazil, 1992 - Nicosie (CYP) - Government of Cyprus - 1992 - 56 p.
35. DALIGAUX, Jacques - Urbanisation et société locale en Provence - Paris - L'Harmattan - 1999 - 267 p.
36. DOMENACH Hervé, PICOUET Michel - Population et environnement - Paris - PUF - 2000 - 127 p.
37. DUCHAUFOR Ph. Pédologie, Masson, 1988, 224p.
38. EC. DG XI (Environment, Nuclear Safety and Civil Security). LIFE Programme / Malta. Environment Protection Department - Evaluation of pollution risk and prevention measures in Malta - 1999 - 105 p.
39. EC. DG Agriculture / EC. Joint Research Centre / EC. Eurostat / EC. European Environment Agency - From land cover to landscape diversity in the European Union - 2000 - 112 p.
40. EEA (European Environment Agency) - Europe's Environment : The Second Assessment - Luxembourg - Office for Official Publications of the European Communities - 1998 - 293 p.
41. EEA (European Environment Agency) - Environment in the European Union at the turn of the century - Copenhague - EEA - 1999 - 446 p.
42. EEA (European Environment Agency) / UNEP - Down to earth : soil degradation and sustainable development in Europe. A challenge for the 21st century - Luxembourg - Office for Official Publications of the European Communities - 2000 - 32 p.
43. EEA (European Environment Agency) / UNEP - State and pressures of the marine and coastal Mediterranean environment - Luxembourg - Office for Official Publications of the European Communities - 1999 - 137 p.
44. EEAA (Egyptian Environmental Affairs Agency) - The environment in Egypt 1996 - Cairo - EEAA - 1997 - 88 p.
45. ENNE, G. (ed.) / D'ANGELO, M. (ed.) / ZANOLLA, C. (ed.) - ANPA (Agenzia Nazionale per la Protezione dell'Ambiente) / Italia. Università di Sassari. Nucleo Ricerca Desertificazione - Indicators for assessing desertification in the Mediterranean - Proceedings of the International Seminar, Porto-Torres (Italy), 18-20 September 1998 - 1998 - 333 p.
46. Espagne. Ministère des Travaux Publics et de l'Urbanisme / Agencia de Medio Ambiente (ESP) - Degradación de zonas áridas en el entorno Mediterráneo - Journées Internationales, Madrid, 25-27 mai 1987 - Madrid - MOPU - 1989 - 224 p.
47. Espagne. Ministère des Travaux Publics et des Transports - España. Conferencia Medio Ambiente y Desarrollo, UNCED, Brasil-92 - Madrid - MOPT - 1992 - 103 p.
48. Espana. Ministerio de Obras Publicas y Transportes - Guia para la elaboracion de estudios del medio fisico. Contenido y metodologia - Madrid - Ministerio de Obras Publicas y Transportes - 1992 - 809 p.
49. Espana. Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo. Dirección General del Medio Ambiente - Desertificación en Europa - Simposium de Información sobre Climatología en el Programa de la CEE. Mytilene, Grèce, 15-18 avril 1984 - Madrid - MOPU - 1988 - 317 p.
50. Espana. Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo, Dirección General del Medio Ambiente - Guías metodológicas para la elaboración de estudios de impacto ambiental. 3. Repoblaciones forestales - Madrid - MOPU - 1989 - 181 p.
51. Espana. Ministerio de Obras Publicas y Transportes / Instituto Geográfico Nacional - Atlas Nacional de España - Sección X, Grupo 39 : Problemas medioambientales - Madrid - Instituto Geográfico Nacional - 1991 - 16 p.

52. *ESSC (European Society for Soil Conservation)-Abstracts book-Key notes-Third International Congress "Man and soil at the third millenium", Valencia (Spain), 28 March-1 April 2000-2000-450 p. ; 173 p.*
53. *European Commission-Declaration of the Euro-Mediterranean ministerial conference on the environment, Helsinki, 28 november 1997-1997-44 p.*
54. *European Commission. DG Environment-The law of sustainable development : general principles-Luxembourg-Office for Official Publications of the European Communities-2000-145 p.*
55. *European Parliament. Directorate General for Research. STOA -Sustainable Development in the Mediterranean Region : The Challenges and the Policy Instruments. Working Documents for the Project Steering Group-Vol. 1(A) - Human Activities and their Effects on the Mediterranean Environment-Vol. 1(B) - State of the Environment in the Mediterranean Region-Vol. 3 - Data on the Economic Situation of the EU-Mediterranean Member States-Vol. 4 - Assessment of EU Policy Instruments for Development in the EU Mediterranean Regions-4 vol.- Luxembourg-STOA-1996-57 p. + 66 p. + 11 p. + 49 p.*
56. *FAO- Protéger et produire : comment reconstituer le puzzle-Rome-FAO-1993-36 p.*
57. *FAO- La conservation et la restauration des terres en Afrique : un programme international-Oxford (GBR)-Words and Publications-1988-38 p.*
58. *FAO. Land and Water Development Division-Land resource potential and constraints at regional and country levels-Rome-FAO-2000-114 p.*
59. *FARVACQUE-VITKOVIC, Catherine/ MCAUSLAN, Patrick- Politiques foncières des villes en développement-Paris-ADEF-1993-155 p.*
60. *FINKE, P./ HARTWICH, R./ DUDAL, R./ IBANEZ, J./ JAMAGNE, M./ KING, D./ MONTANARELLA, L./ YASSOGLOU, N.-EC. European Soil Bureau/ SAI (Space Application Institute)/ EC. Joint Research Centre-Georeferenced soil database for Europe. Manual of procedures. Version 1.0-1998-170 p.*
61. *Fondation Charles Léopold Mayer pour le Progrès de l'Homme/ Projet Tutzing "Ecologie du Temps"-Préserver les sols, source de vie. Proposition d'une Convention sur l'utilisation durable des sols-Paris-Editions Charles Léopold Mayer-1998-150 p.*
62. *France. Ministère de l'Environnement/ CESTA (Centre d'Etudes des Systèmes et des Technologies Avancées)-Pour une politique scientifique internationale de l'environnement. Document préparatoire français-Paris-CESTA-1985-225 p.*
63. *GENDEBIEN, A. / REES, Y./ HARRIS, N./ ZABEL, T./ CRATHORNE, B.-Environment Agency (GBR)/ SNIFFERS (Scotland and Northern Ireland Forum for Environmental Research)-Controlling Pollution from Diffuse Sources. Approaches taken in Selected Member States-Bristol (GBR)-Environment Agency-1997-98 p.*
64. *GRAAFF, J. de-The price of soil erosion : an economic evaluation of soil conservation and watershed development- Wageningen (NLD)-Agricultural University-1996-298 p.*
65. *GRADUS, Yehuda (ed.) / LIPSHITZ, Gabriel (ed.)-Negev Center for Regional Development-The mosaic of Israeli geography-Beer-Sheva (ISR)-Ben-Gurion University of the Negev Press-1996-516 p.*
66. *Greece. Ministries of Foreign Affairs, National Economy and Environment, Physical Planning and Public Works-National Report of Greece to UNCED '92-Athènes-1992-131 p.-(sur disquette)*
67. *HETTELINGH, Jean-Paul/VAN EGMOND, Klaas/MAAS, Rob-Netherlands. RIVM (National Institute of Public Health and Environmental Protection)-European Environmental Data and Scenarios : Perspectives Towards Sustainability-Bilthoven (NLD)-RIVM-1992-31 p.*
68. *HODGSON, J.M. (ed.)-CEC (Commission of the European Communities)-Soil Survey : a basis for European soil protection-Proceedings of the meeting of European Heads of Soil Survey, Silsoe (GBR), 11-13 December 1989-Luxembourg-Office for Official Publications of the European Communities-1991-214 p.*
69. *HUYBRECHTS Eric-PNUE/PAM/Plan Bleu, PNUE/PAM/CAR-PAP, CMDD (Commission Méditerranéenne du Développement Durable)- L'urbanisation et la gestion des villes dans les pays méditerranéens. Etude sub-regionale : Liban, Syrie, Turquie. Document préparé pour la Réunion méditerranéenne "Gestion des villes et développement durable", Barcelone, 3-5 septembre 2001-Sophia Antipolis- Plan Bleu-2001-57 p.*
70. *ICALPE (Centre International pour l'Environnement Alpin)- Montagnes et forêts méditerranéennes Atelier international sur l'agriculture et la transformation des terres dans le bassin méditerranéen, Montpellier, France, juin 1988-Le Bourget-du-Lac-ICALPE-1992-128 p.*
71. *IFEN (Institut Français de l'Environnement)- L'environnement en France- Orléans (FRA)-IFEN-1999-472 p.*
72. *Institut de la Méditerranée- MEDA. Etat des lieux du processus de Barcelone 1995-2000 : cinquième anniversaire-Marseille-Institut de la Méditerranée-2000-63 p.*
73. *Italia. Comitato Nazionale per la Lotta alla Desertificazione/ Italia. Ministero dell' Ambiente-Comunicazione nazionale per la lotta alla siccità ed alla desertificazione-1999-115 p.*
74. *Italia. Ministero dell' Ambiente-Relazione sullo stato dell' ambiente-1997-446 p.*
75. *Italia. Ministero dell'Ambiente-Report on the State of the Environment in Italy-2 vol. -Rome-Ministero dell'Ambiente-1992-487+6 p.*
76. *JEFTIC, L. (ed.)/MILLIMAN, J.D. (ed.)/SESTINI, G. (ed.)-Climatic Change and the Mediterranean. Environmental and Societal Impacts of Climatic Change and sea-level Rise in the Mediterranean Region-Nairobi ; Londres-UNEP ; Edward Arnold-1992-673 p.*

77. JONG, Stephen M. de-Universiteit Utrecht, Faculteit Ruimtelijke Wetenschappen (NLD)-Thesis-Applications of Reflective Remote Sensing for Land Degradation Studies in a Mediterranean Environment-Utrecht (NDL)-1994-256 p.
78. KOSMAS, C. (ed.)/ KIRKBY, M. (ed.)/ GEESON, N. (ed.)-EC. DG XII (Science, Research and Development)-The Medalus project Mediterranean desertification and land use. Manual on key indicators of desertification and mapping environmentally sensitive areas to desertification-Luxembourg-Office for Official Publications of the European Communities-1999-87 p.
79. KUZUCUOGLU, Catherine -PNUE/PAM/Plan Bleu-Des problématiques aux indicateurs : l'exemple des sols-Sophia Antipolis-Plan Bleu-1996.
80. La forêt méditerranéenne-Unasylva, n°197, 1999-Rome-FAO-1999-pp. 2-51
81. LA ROCHEFOUCAULD, Bernard de-L'abondance foncière. Une attitude industrielle appliquée à l'espace-Paris-Dunod-1982-182 p.
82. LAVOUX, Thierry (dir.)/ RECHATIN, Cécile (dir.)-IFEN (Institut Français de l'Environnement)-L'environnement en France. Edition 1999-Paris-La Découverte-1998-480 p.
83. Liban. CDR (Conseil du Développement et de la Reconstruction)/ IAURIF (Institut d'Aménagement et d'Urbanisme de la Région d'Ile-de-France)-Evaluation environnementale de la côte du Liban. Rapport thématique planification-Paris-IAURIF-1999-159 p.
84. LOUHICHI, Kamel-Thèse Master of Science-Utilisation d'un modèle bio-économique pour analyser l'impact des politiques agri-environnementales : cas des techniques de conservation des eaux et du sol en Tunisie. Application à la ferme Sawaf-Master of Science n°39-Montpellier (FRA)-CIHEAM-1997-128 p.
85. LOWDERMILK W.C.-Conquest of the land through seven thousand years-Washington D.C.-US Department of Agriculture-1948-36 p.
86. MARGAT Jean, VALLEE Domitille-PNUE/PAM/Plan Bleu-Water resources and uses in the Mediterranean countries : figures and facts = Ressources en eau et utilisations dans les pays méditerranéens : repères et statistiques-Sophia Antipolis-Plan Bleu-1999-224 p.
87. Maroc. Ministère de l'Agriculture et de la Mise en Valeur Agricole/ Maroc. Ministère Chargé des Eaux et Forêts-Plan national d'aménagement des bassins versants-1995/ 1999-47 p. ; 18 p.
88. Maroc. Ministère de l'Environnement. Observatoire National de l'Environnement du Maroc (ONEM) / ECODIT-Stratégie nationale pour la protection de l'environnement et le développement durable-Rabat-ONEM-1995-128 p.
89. Maroc. Ministère de l'Intérieur et de l'Information. Direction Générale de l'Urbanisme, de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement-Rapport National pour la Conférence des Nations Unies sur l'Environnement et le Développement, Rio de Janeiro, 1-12 juin 1992-Rabat-1992-136 p.
90. Maroc. Ministère de l'Intérieur-Vers une stratégie marocaine en matière d'environnement-Conférence Ministérielle sur l'environnement dans la région méditerranéenne, Casablanca, Maroc, 24-25 mai 1993-Rabat-1993-31 p.
91. MEDIMONT-Coordination Report. Meeting on History and impacts of land use changes, Basilicate et Calabre, Italie, 4-6 mai 1993 -1993-6 p.
92. METAP-Tripoli/El-Mina Environmental Audit. Draft-Washington D.C.-1993-139 p.
93. MIDDLETON, Nick (ed.) / THOMAS, David (ed.)-UNEP-World Atlas of Desertification-2nd ed.-London-Arnold-1997-182 p.
94. MONTGOLFIER, Jean de-Les espaces boisés méditerranéens : situation et perspectives-Paris ; Sophia Antipolis-Economica ; Plan Bleu-2002 (à paraître)-(Les Fascicules du Plan Bleu n°12)
95. MOREY, Miguel (dir.)-Espana. Comité Español del programa MAB / Espana. Dirección General del Medio Ambiente-Estudio integrado de la isla de Formentera. Bases para un ecodesarrollo-Madrid-MOPT-1992-231 p.
96. MORGAN, R.P.C.-Soil erosion and conservation-2nd ed.-Harlow (GBR)-Longman-1996-198 p.
97. MTIMET, Amor/ LASRAM, Mustapha (préf.)-Tunisie. Ministère de l'Agriculture-Atlas des sols tunisiens-Tunis-Ministère de l'Agriculture-1999-166 p.
98. NARJISSE, H.-Maroc. Ministère de l'Environnement. Direction de l'Observation, des Etudes et de la Coordination/ Maroc. Ministère de l'Agriculture et de la Mise en Valeur Agricole. Cellule de l'Environnement-Action 30 . Plan d'Action National pour l'Environnement. Atelier sol et environnement. Version provisoire. Note technique-Atelier Sol et environnement, Marrakech, 7-8 janvier 1997-Rabat-ONEM-1997-123 p.
99. OCDE-Politiques menées par les pouvoirs publics pour protéger les ressources en sols-Paris-OCDE-1994-89 p.
100. OCDE-Examens des performances environnementales. Portugal-Paris-OCDE-1993-158 p.
101. OCDE-OECD Core Set of Indicators for Environmental Performance Reviews. A synthesis report by the Group on the State of the Environment-Paris-OCDE-1993-35 p.
102. OCDE/ CEMT (Conférence Européenne des Ministres des Transports)-Transports urbains et développement durable-Paris-OCDE-1995-268 p.
103. OCDE-L'agriculture durable. Questions de fond et politiques dans les pays de l'OCDE-Paris-OCDE-1995-77 p.
104. OLDEMAN, L.R./ HAKKELING, R.T.A./ SOMBROEK, W.G.-UNEP/ ISRIC-Global Assessment of Soil Degradation (GLASOD). World map of the status of human-induced soil degradation : an explanatory note-2nd ed.-Wageningen ; Nairobi-ISRIC ; UNEP-1991-34 p.

105. ONU-Action 21 : Déclaration de Rio sur l'environnement et le développement. Déclaration de principes relatifs aux forêts. Conférence des Nations Unies sur l'Environnement et le Développement (CNUED), Rio de Janeiro, Brésil, 3-14 juin 1992-New York-ONU-1993-294 p.
106. OUESLATI, Walid-Faculté des Sciences Economiques et de Gestion de Tunis-Mémoire pour l'obtention du Diplôme d'Etudes Approfondies en Sciences Economiques-De la soutenabilité du développement : concept et mesure (Application à la Tunisie)-Chapitre III : De la mesurabilité du développement soutenable : une tentative de construction d'indicateurs pour la Tunisie-Tunis-1995-48 p.
107. Palestinian Authority. Ministry of Planning and International Cooperation-Emergency natural resources protection plan for Palestine. West Bank governorates-1998-55 p.
108. Palestinian Central Bureau of Statistics-Institutions capability in land use and geographic information system (GIS) : main findings-Ramallah (PAL)-Palestinian Central Bureau of Statistics-1999
109. Palestinian Central Bureau of Statistics-Area statistics in the Palestinian Territory-Ramallah (PAL)-Palestinian Central Bureau of Statistics-1998
110. PNUE/ PAM-Plan d'action pour la Méditerranée et Convention sur la protection du milieu-marin et du littoral de la Méditerranée et ses protocoles-Athènes-PAM-1997-168 p.
111. PNUE/ PAM/ CAR-PAP-Directives pour la gestion de programmes de contrôle d'érosion et de désertification, plus particulièrement destinées aux zones côtières méditerranéennes-Split-CAR-PAP-2000-115 p.
112. PNUE/ PAM/ CAR-PAP-Rapport de l'atelier sur l'état de l'érosion des sols par la pluie dans les zones côtières méditerranéennes, Murcie (ESP), 23-25 novembre 1988-Murcie (ESP)-CAR-PAP-1988-12 p.
113. PNUE. PAM. CAR-PAP / FAO-Directives pour l'application d'une méthodologie commune et consolidée de cartographie des processus d'érosion hydrique dans les zones côtières méditerranéennes-Split-CAR-PAP-1996-112 p.
114. PNUE. PAM. CAR-PB-Agriculture et développement rural en Méditerranée. Etude de faisabilité pour la Commission Méditerranéenne du Développement Durable (CMDD)-Sophia Antipolis-Plan Bleu-2001
115. PNUE/PAM/Plan Bleu-L'étalement urbain en Méditerranée-Sophia Antipolis-Plan Bleu-2001-5 p.
116. PNUE/PAM/Plan Bleu, PNUE/PAM/CAR-PAP, CMDD (Commission Méditerranéenne du Développement Durable)-Gestion des villes et développement durable en Méditerranée. Projet de rapport pour la Réunion extraordinaire de la CMDD, Monaco, 12 novembre 2001-Sophia Antipolis-Plan Bleu-2001-71 p.
117. PNUE. PAM. CAR-PB-Profil Liban-Sophia Antipolis (FRA)-Plan Bleu-1999-66 p.
118. PNUE. PAM. CAR-PB-Profil Tunisie-Sophia Antipolis (FRA)-Plan Bleu-2000-90 p.
119. PNUE. PAM. CAR-PB-Suivi de l'évolution du littoral à partir des données LACOST : réflexions méthodologiques pour la Méditerranée. Exemple de la France-Sophia Antipolis (FRA)-Plan Bleu-2000-96 p.
120. PNUE. PAM. CAR-PB-Suivi de l'évolution du littoral à partir des données LACOST : littoral méditerranéen français-Sophia Antipolis (FRA)-Plan Bleu-2000-43 p.
121. PNUE/PAM/Plan Bleu-L'urbanisation en Méditerranée de 1950 à 1995-Sophia Antipolis-Plan Bleu-2001-(Les Cahiers du Plan Bleu, n°1)-45 p.
122. PNUE/PAM/Plan Bleu-Villes et développement durable en Méditerranée.-Sophia Antipolis-Plan Bleu-2000-5 p.
123. PRIEUR, Michel/ GHEZALI, Mahfoud-PNUE. PAM. CAR-PAP-Législations nationales relatives à l'aménagement et à la gestion des zones côtières en Méditerranée et propositions de lignes directrices-Split-Programme d'Actions Prioritaires-2000-88 p.
124. PRIEUR, Michel (dir.)-Université de Limoges. Faculté de Droit et des Sciences Economiques/ CNRS. CRIDEAU-URA 967, Limoges / Centre International de Droit Comparé de l'Environnement-La protection juridique des sols dans les Etats Membres de la Communauté Européenne-Limoges (FRA)-PULIM-1993-218 p.
125. RAMADE François-Dictionnaire encyclopédique de l'écologie et des sciences de l'environnement-Paris-Ediscience-1993-822 p.
126. REYNAUD, Christian et al./ BATISSE, Michel (préf.)-PNUE. PAM. CAR-PB-Transports et environnement en Méditerranée. Enjeux et prospective-Sophia Antipolis (FRA) ; Paris -CAR-PB ; Economica-1996-250 p. -(Les Fascicules du Plan Bleu, n°9)
127. ROGNON Pierre-Comment lutter contre la désertification-Manière de Voir, n°59, septembre-octobre 2001-Paris-Le Monde Diplomatique-2001-pp. 18-20
128. ROOSE Eric-FAO-Introduction à la gestion conservatoire de l'eau, de la biomasse et de la fertilité des sols (GCES)-Rome-FAO-1994-420 p.
129. ROOSE, Eric-ORSTOM-Conservation des sols en zones méditerranéennes. Synthèse et proposition d'une nouvelle stratégie de lutte antiérosive : la GCES-Cahiers ORSTOM, Série Pédologie, vol. XXVI, n°2, 1991-1991-pp. 145-181
130. ROOSE Eric, SABIR Mohammed, MACHOURI Nadia, ABDELFFETA Nouri-Première approche de la GCES au Maroc. Enquête sur les risques de ruissellement et d'érosion à l'échelle de deux terroirs du Rif (région de Tétouan). Comparaison du diagnostic des villageois et des scientifiques-2000 ?-21 p.
131. ROSSI, Georges/ BERTRAND, Georges (préf.) -L'ingérence écologique : environnement et développement rural du Nord au Sud-Paris-CNRS-Editions 2000-248 p.

132. SELMI, Salah/ NASRI, Slah-ORSTOM/ Tunisie. INGRES/ Hydromed-Les lacs et retenues collinaires en Tunisie-Tunis-1997-53 p.
133. SKOURI Mohamed-Les dégradations du milieu et les mesures de protection-Comptes Rendus de l'Académie d'Agriculture de France, 80, n°9, 1994-1994-pp. 49-82
134. STANNERS, David (ed.)/ BOURDEAU, Philippe (ed.). European Environment Agency -Europe's Environment : The Dobris Assessment -Luxembourg, Office for Official Publications of the European Communities -1995 - Chapter 7 : Soil -pp. 146-171
135. ORSTOM -Actualités n°56 - Spécial érosion -Paris-ORSTOM-1998-41 p.
136. STAHL, Paul Henri-Propriété et structure sociale : 19-20ème siècles-Aix en Provence (FRA) ; Casablanca ; Tunis-Edisud ; Toubkal ; Alif-1997-88 p.
137. TIERCELIN, Jean-Robert-FAO. SNEA (Bureau sous-régional pour l'Afrique du Nord)-Eaux et sols de l'Afrique du Nord : Mauritanie, Maroc, Algérie, Tunisie, Libye. Rapport de synthèse-1999-50 p.
138. Tunisie. Ministère de l'Agriculture-Sols de Tunisie-Bulletin de la division des sols, n°8, 1976-Tunis-Ministère de l'Agriculture-1976-90 p.
139. Tunisie. Ministère de l'Environnement et de l'Aménagement du Territoire-Rapport National : l'Etat de l'Environnement-Tunis-Ministère de l'Environnement et de l'Aménagement du Territoire-1996-118 p.
140. Tunisie. Ministère de l'Environnement et de l'Aménagement du Territoire-Rapport National : l'Etat de l'Environnement-Tunis-Ministère de l'Environnement et de l'Aménagement du Territoire-1998-104 p.
141. Tunisie. Ministère de l'Environnement et de l'Aménagement du Territoire-Rapport National : l'Etat de l'Environnement-Tunis-Ministère de l'Environnement et de l'Aménagement du Territoire-1999-156 p.
142. Tunisie. Ministère de l'Environnement et de l'Aménagement du Territoire / PNUE. PAM-Agenda MED 21. Conférence ministérielle sur le développement durable en Méditerranée, Tunis, 1er novembre 1994-Tunis-Ministère de l'Environnement et de l'Aménagement du Territoire-1995-157 p.
143. Turkey. Prime Ministry State Planning Organization-Turkey. National Environmental Action Plan-Ankara-1998-77 p. + annexes
144. UNEP/MAP/Blue Plan, UNEP/MAP/PAP-RAC, MCSD (Mediterranean Commission on Sustainable Development)-CONSTANTINIDES Glafkos-Urbanisation and town management in the Mediterranean countries. Sub-regional study : Malta and Cyprus. Paper prepared for the Mediterranean Meeting on "Urban management and sustainable development", Barcelona, 3-5 September 2001-Sophia Antipolis-Blue Plan-2001-38 p. + annexes
145. UNEP. MAP. PAP-RAC-Rapports nationaux sur les problèmes et les pratiques de lutte anti-érosive en région méditerranéenne-Split-PAP-RAC-2000-162 p.
146. UNEP. MAP. PAP-RAC-Report of the expert meeting on the implementation of the pilot project on soil erosion mapping and measurement in the Mediterranean coastal zones, Malaga, December 12-14, 1989-Malaga-PAP-RAC-1989-9 p.
147. UNEP. MAP. PAP-RAC-Report of the Seminar on the results of the sub-project on mapping of erosion processes in the Mediterranean coastal zones, Malaga, December 2-4, 1992-Malaga-PAP-RAC-1992-14 p.
148. UNEP. MAP. PAP-RAC/ FAO-Directives pour la cartographie et la mesure des processus d'érosion hydrique dans les zones côtières méditerranéennes-Split-PAP-RAC-1998-72 p.
149. UNEP/MAP/PAP-RAC-White paper : coastal zone management in the Mediterranean-Split-Priority Actions Programme-2001-74 p.
150. United Nations. ECE (Economic Commission for Europe). Statistical Division-Conference of European statisticians. Readings in international environment statistics-New York-United Nations-1993-534 p.
151. Université de Reims. Institut de Géographie-Etudes algériennes-Reims (FRA)-ERIGUR-1994-138 p.
152. Université de Nice. Laboratoire d'Analyse Spatiale Raoul Blanchard-Aménagement & Gestion du territoire ou l'apport des images-satellite, de la géo-infographique et du terrain. Applications aux paysages végétaux de l'Algérie steppique & sub-steppique (Wilaya de Tiaret) et aux espaces construits (Tiaret & Alger). 1990-1992-Nice (FRA)-Université de Nice-1992-253 p.
153. USA. Department of State. US National Committee for MAB-Draft Environmental Profile on Egypt-Washington D.C.-US MAB-1980-109 p.
154. VALK Watsien, DE GRAAFF Jan-Wageningen Agricultural University-Social and economic aspects of soil and water conservation-Wageningen-Wageningen Agricultural University-1997
155. VAN DER KNIJFF, J.M./ JONES, R.J.A./ MONTANARELLA, Luca/ CHRISTOPHE, Sidonie (trad.)-EC. European Soil Bureau/ SAI (Space Application Institute)/ EC. Joint Research Centre-Estimation du risque d'érosion en Italie-2000-45 p.
156. VAN DER LEEUW, S.E. (ed.)-University of Cambridge (GBR)/ Commission of the European Union. DG XII-Understanding the Natural and Anthropogenic Causes of Soil Degradation and Desertification in the Mediterranean Basin. Vol 6 : Synthesis. The Archaeomedes Project Vera Basin, the Argolid, Epirus, southern Rhône valley-Cambridge (GBR)-1994-438 p.

157. VELKAVRH, Anita-MCSD (*Mediterranean Commission on Sustainable Development*)/ UNEP. MAP. BP-RAC- Sustainable Mediterranean indicators tested in Slovenia-Indicators for the sustainable development in the Mediterranean region. Sophia Antipolis, 10-11 mai 1999-1999
158. VEYRET, Yvette (coord.)/ BALLAIS, Jean-Louis/ MARRE, Alain / MIETTON, Michel / MIOSSEC, Alain / MORIN, Serge / VALADAS, Bernard-L'érosion entre nature et société-Paris-Sédès-1998-344 p.
159. VIEL, Monique (ed.)-UNEP. MAP. ERS-RAC/ EC. DG XII (Science, Research and Development)-RESSAC : Remote Sensing Support for Analysis of Coasts-Palermo (ITA)-ERS-RAC-1999-131 p.
160. WOLMAN, M.G. (ed.)/ FOURNIER, F.G.A. (ed.)-Land transformation in agriculture-Chichester (GBR)-Wiley-1987-531 p.
161. World Bank-Expanding the measure of wealth : indicators of environmentally sustainable development-Washington D.C.-World Bank-1997-110 p.
162. ZUNICA, Marcello-Ambiente costiero e valutazione d'impatto-Bologne (ITA)-Pàtron Editore-1992-204 p.

LISTE DES PRINCIPALES PUBLICATIONS DU PLAN BLEU

- **Le Plan Bleu. Avenirs du Bassin Méditerranéen Futures for the Mediterranean Basin. The Blue Plan**
Michel Grenon et Michel Batisse
Ed. française : Economica, Paris, 1989
Ed. anglaise : Oxford University Press, 1989
Ed. espagnole : MOPU, Madrid, 1990
Ed. arabe : Edifra, Paris, 1991
Ed. turque : Çevre Bakanligi, Ankara, 1993
- **L'eau en région méditerranéenne. Situations, perspectives et stratégies pour une gestion durable de la ressource**
Water in the Mediterranean Region. Situations, perspectives and strategies for sustainable water resources management
Mohamed Benblidia, Jean Margat et Domitille Vallée
Document bilingue (français-anglais) préparé pour la Conférence euro-méditerranéenne sur la gestion de l'eau, Marseille, 25-26 novembre 1996
Plan Bleu, Sophia Antipolis, 1997
- **Les indicateurs d'économie de l'eau : ressources et utilisations**
Plan Bleu, Observatoire du Sahara et du Sahel, Paris, 1996
- **Vision méditerranéenne sur l'eau, la population et l'environnement au XXIème siècle**
Mediterranean vision on water, population and the environment for the 21st century
Jean Margat et Domitille Vallée
Document élaboré dans le cadre de la vision mondiale sur l'eau
Plan Bleu, Sophia Antipolis, 2000
- **130 indicateurs pour le développement durable en Méditerranée**
130 indicators for the sustainable development in Mediterranean region
Plan Bleu, Sophia Antipolis, 2000

LES FASCICULES DU PLAN BLEU

Coll. dirigée par Michel Batisse. Ed. Economica, Paris

1. **Pêche et aquaculture en Méditerranée. Etat actuel et perspectives.** Daniel Charbonnier et al., 1990
2. **Les forêts méditerranéennes. Enjeux et perspectives.** Henri Marchand et al., 1990
3. **Conservation des écosystèmes méditerranéens. Enjeux et prospective.** François Ramade et al., nouvelle édition 1997
4. **Industrie et environnement en Méditerranée. Evolution et perspectives.** Jacques Giri et al., 1991
5. **Les îles en Méditerranée. Enjeux et perspectives.** Louis Brigand et al., 1992
6. **L'eau dans le Bassin méditerranéen. Situation et prospective.** Jean Margat et al., 1992

7. **Energie et environnement en Méditerranée. Enjeux et prospective.** Michel Grenon et al., 1993
8. **Tourisme et environnement en Méditerranée. Enjeux et prospective.** Robert Lanquar et al., 1995
9. **Transports et environnement en Méditerranée. Enjeux et prospective.** Christian Reynaud et al., 1996
10. **Les risques naturels en Méditerranée. Situation et perspectives.** Adelin Villevielle et al., 1997
11. **La démographie en Méditerranée. Situation et projections.** Isabelle Attané, Youssef Courbage et al., 2001
12. **Les espaces boisés méditerranéens. Situation et perspectives.** Jean de Montgolfier et al., 2002

LES PROFILS DES PAYS MEDITERRANEENS"

Plan Bleu, Sophia Antipolis

- **"Institutions - Environnement - Développement**
Albanie, Turquie, Tunisie, Maroc. 1995
Egypte. 1996
Algérie. 1998 (français et anglais)
- **Nouvelle série "Problématiques et Politiques d'Environnement et de Développement Durable"**
Liban. 1999 (français et anglais)
Tunisie. (français et anglais)

LES RAPPORTS TECHNIQUES DU PAM

Plan d'Action pour la Méditerranée, Athènes
E-mail : unepmedu@unepmap.gr
Site web : www.unepmap.org
Fax : + 30 (210) 1 725 31 96/7

- **Actes du séminaire débat sur la prospective méditerranéenne. 19-21 Octobre 1992**
MAP Technical Reports Series n°88, 1994
- **Iskenderun Bay Project :**
Vol. I : Environmental Management within the context of Environment-Development
MAP Technical Reports Series n°89, 1994
Vol. II : Systemic and Prospective Analysis
MAP Technical Reports Series n°90, 1994
- **Une contribution de l'écologie à la prospective des régions côtières de la Méditerranée. Problèmes et acquis.**
S.I. Ghabbour
MAP Technical Reports Series n°91, 1994
- **Méthodes et outils pour les études systémiques et prospectives en Méditerranée.**
MAP Technical Reports Series n°115, 1996

- **Rapport de l'atelier sur le tourisme et le développement durable en Méditerranée.**

Antalya, Turkey, 17-19 September 1998

(textes en français et en anglais)

MAP Technical Reports Series n° 126, 1999

- **Actes du séminaire "La prospective territoriale en Méditerranée et l'approche par acteurs".**

Sophia Antipolis (France), 7-9 novembre 1996

(textes en français et en anglais)

MAP Technical Reports Series n°127, 1999

LES CAHIERS DU PLAN BLEU

- **L'urbanisation en Méditerranée de 1950 à 1995**

PNUE, PAM, Plan Bleu, 2001

(français et anglais)

Série les Cahiers du Plan Bleu n°1, 2001

LES NOTES DU PLAN BLEU

- **L'eau l'environnement et la population en Méditerranée au XXIème siècle**

Water, population and the environment in the

Mediterranean for the 21st century

PNUE, PAM, Plan Bleu

(français et anglais)

Série les Notes du Plan Bleu n°1, 2000

- **Mieux gérer les demandes en eau pour dépasser les situations de crise en Méditerranée**

Better water demand management for overcoming water

crisis in the Mediterranean

Plan Bleu

(français et anglais)

Série les Notes du Plan Bleu n°2, 2003

AUTRES PUBLICATIONS

De nombreuses études, données, figures et publications du Plan Bleu sont téléchargeables sur le site

<http://www.planbleu.org>

Dépôt légal : Mai, 2003.

<p>Programme de Nations unies pour l'Environnement</p> <ul style="list-style-type: none"> • <p>Plan d'Action pour la Méditerranée</p> <ul style="list-style-type: none"> • <p>Plan Bleu Centre d'Activités Régionales</p>	<p>La série des « Cahiers du Plan Bleu », complémentaire à celle des fascicules » (publiés par Economica Paris) et à celles des « Profils de Pays » a pour objectif de fournir en anglais et en français une information synthétique de base sur les grandes problématiques ou outils et méthodes intéressant le développement durable en Méditerranée.</p> <p>Ce cahier, le deuxième, fait le point sur les problèmes liés à la dégradation des sols dans la région méditerranéenne, à partir d'une revue de la bibliographie. Il décrit l'état actuel des sols méditerranéens, passe en revue les principales menaces pour les sols et traite du contexte institutionnel national et international dans lequel on tente de mettre en œuvre les politiques de lutte contre la dégradation des sols.</p> <p>Il apparaît que de manière générale, les données sont souvent très incomplètes, et parfois contradictoires selon les sources consultées. L'érosion, qui est de loin le phénomène le plus documenté en Méditerranée, concernerait, d'après la FAO, environ 15 % des terres du bassin. Il semblerait aussi que la diminution de la matière organique dans les sols soit un problème récurrent. L'artificialisation des sols n'a pas les mêmes origines dans les pays du Nord de la Méditerranée, où ce sont surtout les modes de vie et de consommation de l'espace qui sont en cause, et dans ceux du Sud, où la pression démographique autour des villes accélère la consommation des terres. Les problèmes dus à l'intensification agricole mal conduite peuvent se manifester au Nord comme au Sud. Les dégradations entraînées par une agriculture très pauvre sont spécifiques du Sud. Au Nord, la déprise agricole souvent très forte entraîne la disparition des aménagements anciens des sols et des eaux, et la banalisation du paysage.</p> <p>Enfin, le rapport fait le constat d'une coordination souvent très insuffisante entre les politiques sectorielles, ainsi qu'entre les différents échelons géographiques. De plus, plusieurs auteurs insistent sur le manque d'efficacité trop fréquent des moyens alloués à la conservation des sols.</p>
<p>Plan Bleu environnement et développement en Méditerranée</p> <p>15, rue Beethoven, Sophia Antipolis, F-06560 Valbonne Tel : +33 (0)4 92 38 71 30, Fax : +33 (0)4 92 38 71 31 www.planbleu.org planbleu@planbleu.org</p>	<p>ISBN : 2-912081-13-0 Prix : 10 €</p>