

DS n° 4

RÉSEAU
D'OBSERVATOIRES
DE SURVEILLANCE
ÉCOLOGIQUE À
LONG TERME

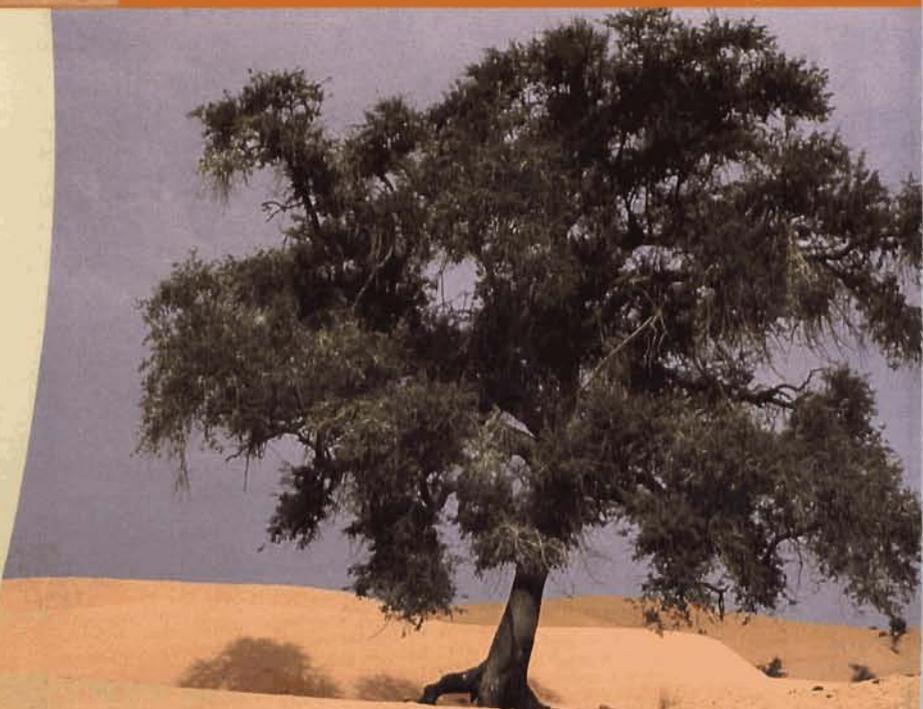
ROSELT / OSS



Indicateurs écologiques ROSELT / OSS

Une première approche méthodologique
pour la surveillance de la biodiversité
et des changements environnementaux

OBSERVATOIRE
DU SAHARA
ET DU SAHEL



Collection ROSELT / OSS – Document Scientifique n°4



L'Observatoire du Sahara et du Sahel (Oss) a mis en place un Réseau d'Observatoires pour la Surveillance Écologique à Long Terme (ROSELT/Oss) sur la zone circum-saharienne, dans le cadre de son programme de suivi environnemental, en appui aux politiques de mise en œuvre des Programmes d'Action Nationaux et Sous-Régionaux (PAN et PASR) de lutte contre la désertification. Ce dispositif a été conçu avec et au service des pays africains, pour assurer la surveillance à long terme de la désertification et développer les activités de recherche associées. Un mécanisme d'expertise a été mené, conduisant à la sélection, puis à la labellisation par l'Oss de vingt-cinq observatoires dans onze pays. Un ensemble de quatorze sites pilotes a été activé dans la première phase du programme avec notamment l'appui financier de la France et de la Suisse.

Le présent document fait partie de la « *Collection scientifique et technique ROSELT/OSS* », qui comprend les Documents Scientifiques (DS) et les Contributions Techniques (CT).

Les DS sont des documents de synthèse sur les fondements scientifiques du programme ou sur des thématiques scientifiques intéressant la désertification. Les CT sont des documents techniques issus de travaux individuels (mémoires, thèses, mastères) ou collectifs (approches thématique ou géographique), menés dans le cadre du programme. Chaque fascicule provisoire du guide méthodologique ROSELT/OSS est édité en CT. Une fois testés et validés par l'ensemble du réseau, ils seront regroupés et édités en Documents Scientifiques.

La collection scientifique et technique ROSELT/Oss a pour objectif de partager au fur et à mesure avec la communauté scientifique et politique internationale, les avancées scientifiques et techniques du réseau pour :

- une meilleure connaissance sur les causes, les conséquences, les mécanismes et l'extension de la désertification ;
- la construction d'un système de surveillance adapté aux conditions des zones arides pour une meilleure aide à la décision.

Elle traduit le constant effort réalisé par l'ensemble du réseau ROSELT/Oss et complète les autres produits du réseau : bases de données locales, outils de gestion des métadonnées, Systèmes d'Information sur l'Environnement à l'échelle Locale (SIEL) pour le traitement intégré de l'information et la simulation prospective, site internet (www.roselt-oss.org).

La coordination régionale
ROSELT/Oss

Jean-Marc d'HERBÈS

Le secrétaire exécutif
de l'Oss

Chedli FEZZANI

Indicateurs écologiques ROSELT/Oss

Une première approche méthodologique pour la surveillance
de la biodiversité et des changements environnementaux

ROSELT / OSS

2004

ROSELT/OSS DS4, 2004. *Indicateurs écologiques ROSELT/OSS. Une première approche méthodologique pour la surveillance de la biodiversité et des changements environnementaux*, collection ROSELT/OSS, document scientifique n°4, Montpellier, 50 p. + annexes.

Issu de la fusion des documents :

ROSELT/OSS, 2002. *Une première batterie d'indicateurs écologiques pour la surveillance des changements environnementaux à long terme. Approche méthodologique ROSELT/OSS.*

Contributions : Sandrine Jauffret, Maud Loireau et Jean-Marc d'Herbès, en collaboration avec Olivia Delanöe (INEA) et Gilbert Long.

et

ROSELT/OSS, 2002. *Biodiversité animale et végétale dans les zones arides et semi-arides circum-sahariennes.*

Contributions : Sandrine Jauffret, Mohamed Maghnoûj, en collaboration avec Mohamed Abdel Razik (Égypte), Dalila Nedjraoui, Abdelmajid Boughani, Aziz Hirche, Mostefa Salamani (Algérie), Mohamed Taleb, Abderrahman Aafi, Ahmed Ramdane (Maroc), Habib Jeder, Amor T'bib, Azaiez Ould Belgacem (Tunisie), avec l'appui de Jean-Marc d'Herbès, Olivia Delanoë, Bertrand de Montmollin et Gilbert Long.

Photographie de couverture : Alfred Schwartz © IRD



ISBN : 9973-856-13-9

SOMMAIRE

Préambule	5
Cadre général : changements écologiques à long terme, biodiversité et désertification	7
Une définition consensuelle de la désertification	7
La biodiversité en zones arides	8
La diversité biologique	8
Contraintes et perturbations	10
Les mécanismes de la dégradation des terres	12
Le dispositif ROSELT/OSS de surveillance et de recherche sur la désertification	14
Les indicateurs environnementaux : du concept à l'élaboration	17
Les indicateurs environnementaux : " état des lieux " au niveau international	18
Le point de vue de l'OCDE	18
Le Plan Bleu : cent trente indicateurs pour le développement durable en Méditerranée	22
L'approche de la Commission pour le développement durable	23
La vision de l'Agence Européenne de l'Environnement	25
Les indicateurs et la CCD	25
ROSELT/OSS et les indicateurs de la désertification	27
Les indicateurs environnementaux de la désertification	27
Un cas particulier : les indicateurs biologiques	28
Quelques rappels sur les indicateurs	29
Vers la définition d'indicateurs écologiques ROSELT/OSS	33
Biodiversité, changements écologiques à long terme et désertification	33
Problématique	33
Des indicateurs pour chaque niveau d'organisation	35
Une méthodologie ROSELT/OSS	37
Études diachroniques et synchroniques : de l'échelle de l'observatoire à celle du réseau	37
Définir une stratégie d'échantillonnage standardisée pour mettre en place un dispositif de surveillance	40

Bibliographie	45
Table des illustrations	49
Annexes	51
<i>Annexe 1 : Biodiversité animale et végétale dans les zones arides et semi-arides circum-sahariennes</i>	53
<i>Références bibliographiques</i>	75
Liste des abréviations et des sigles	77

Préambule

Dès 1995, le document « *Conception, organisation et mise en œuvre de ROSELT* » proposait une liste de données à récolter pour caractériser la désertification sur le plan écologique (ROSELT/OSS DS1, 2004). En 2001, le document « *Organisation, fonctionnement et méthodes de ROSELT* » (ROSELT/OSS DS2, 2004), a complété cette première proposition méthodologique en insistant en particulier sur le développement conceptuel de l'approche " paysage ".

Le présent document vise à renseigner " la partie écosystème " en proposant une démarche conceptuelle et méthodologique d'élaboration des indicateurs de changements environnementaux à long terme, qui se manifestent au niveau des écosystèmes ou systèmes bio-physiques, notamment par l'utilisation et la valorisation des séries historiques de données écologiques disponibles sur les observatoires.

Par ailleurs, la mise en place d'un dispositif expérimental de surveillance à long terme doit être accompagnée par la définition progressive d'un **kit minimum de données** à récolter au moindre coût en vue de leur spatialisation, leur extrapolation à des zones plus vastes et leur intégration dans des modèles d'utilisation de l'espace et des ressources. Les données du kit minimum (associées aux données spécifiques de chaque observatoire) ainsi récoltées seront utilisées pour (1) élaborer un système intégré de traitement de l'information (système d'information sur l'environnement local ; cf. ROSELT/OSS DS3, 2004), (2) valider et ajuster les prospectives issues des modèles et (3) élaborer des bases de données environnementales favorisant la circulation de l'information (service de métadonnées, cf. ROSELT/OSS CT12, 2004).

L'objet de ce document est de présenter une approche ROSELT/OSS d'élaboration des indicateurs des changements écologiques, en tenant compte des approches internationales en la matière.

La démarche conceptuelle et méthodologique présentée, basée sur l'étude de la biodiversité végétale, vise à identifier et valider les indicateurs de la biodiversité et des changements écologiques à long terme.

La démarche proposée s'appuie largement sur l'expérience acquise par Jauffret (2001) sur l'observatoire ROSELT/OSS de Menzel Habib en Tunisie, dont les résultats font l'objet du document ROSELT/OSS CT4 (2004).

Des fiches techniques rendent compte du processus de récolte des données, de leur traitement statistique permettant leur validation et de l'intérêt relatif de la méthode, tout en fournissant des exemples d'application et les perspectives d'utilisation ou de généralisation dans le cadre du réseau ROSELT/OSS. Ces fiches sont éditées dans le document ROSELT/OSS CT14 (2004).

Cadre général : changements écologiques à long terme, biodiversité et désertification

Une définition consensuelle de la désertification

Depuis la Conférence des Nations Unies sur l'Environnement et le Développement (CNUED, Rio-de-Janeiro, 1992), la désertification est considérée comme un phénomène global affectant à la fois l'environnement et le développement. La décision d'élaborer une Convention de Lutte contre la Désertification (CLD) a alors été prise. Adoptée à Paris le 17 juin 1994 et ratifiée en 1996 par plus de cinquante pays, elle est entrée en vigueur en décembre 1996.

L'article 1 de la CLD établit que le terme de désertification désigne « *la dégradation des terres dans les zones arides, semi-arides et sub-humides sèches par suite de divers facteurs, parmi lesquels les variations climatiques et les activités humaines* ».

Le chapitre 12 du programme d'Agenda 21 souligne que :

- « *Les êtres humains dans les zones touchées ou menacées sont au centre des préoccupations dans la lutte contre la désertification et pour l'atténuation des effets de la sécheresse* ».
- « *La désertification est causée par des interactions complexes entre facteurs physiques, biologiques, politiques, culturels et économiques* ».
- « *La désertification et la sécheresse compromettent le développement durable en raison de la corrélation qui existe entre ces phénomènes et d'importants problèmes sociaux comme la pauvreté, une mauvaise situation sanitaire et nutritionnelle et l'insécurité alimentaire, ainsi que ceux qui découlent des migrations, des déplacements de populations et de la dynamique démographique* ».

Pour la suite du document, la définition privilégiée adoptée est celle de Dregne (1977). Celle-ci donne une vision locale et plus détaillée des problèmes liés à la désertification, en particulier de la dynamique interactive spatiale et temporelle entre les ressources, les usages et les aléas climatiques à l'échelle locale. Il souligne que « *la désertification est l'appauvrissement d'écosystèmes arides, semi-arides ou sub-humides sous les effets combinés des activités humaines et de la sécheresse. Le changement dans ces écosystèmes peut être mesuré en terme de baisse de la productivité des cultures, d'altération de la biomasse et du changement dans la diversité des espèces végétales et animales, d'une accélération de la dégradation des sols et de risques accrus pour l'existence des populations* ». Cette définition suggère également la possibilité d'une évaluation de la gravité et de l'extension du phénomène.

La biodiversité en zones arides

La diversité biologique

La conservation de la biodiversité ou diversité biologique et l'utilisation durable de ses composantes n'est pas une notion nouvelle. Elle a pour la première fois été discutée en juin 1972 lors de la conférence des Nations Unies sur l'environnement humain à Stockholm. L'année suivante, la première session du conseil gouvernemental pour le nouveau Programme des Nations Unies pour l'Environnement (PNUE) a identifié « la conservation des ressources génétiques comme une priorité ».

La perte de biodiversité végétale fait donc l'objet d'une préoccupation croissante à travers le monde (Ehrlich et Ehrlich, 1981 ; Wilson, 1988 ; Lubchenco *et al.*, 1991 ; Solbrig, 1991 ; Sommet de la Terre de Rio, 1992 ; Convention sur la diversité biologique, 1992 ; Sommet de la Terre sur le développement durable, Johannesburg, 2002).

D'une manière générale, les terres arides n'ont pas bénéficié à ce jour de toute l'attention nécessaire en ce qui concerne leur contribution aux stratégies nationales et internationales de préservation, de conservation et de valorisation de leur biodiversité. Ceci est tout particulièrement le cas en Afrique circum-saharienne.

La durée pendant laquelle des conditions croissantes d'aridité se sont développées dans ces zones, alliée à une pression anthropique ancienne ont entraîné des processus d'adaptation et d'évolution qui se traduisent d'une part, par l'existence de patrimoines génétiques originaux et, d'autre part, par la présence d'une mosaïque de foyers d'adaptation et d'évolution. Les propriétés d'adaptation écophysiologicals et génétiques à la sécheresse que l'on rencontre chez de nombreuses espèces des zones arides, ainsi que la diversité des écosystèmes qui les abritent, font de ces zones des centres de ressources précieuses pour des utilisations futures. Les études sur le rôle de la biodiversité dans le fonctionnement des écosystèmes montrent généralement (di Castri et Younés, 1990) qu'une diversité biologique plus élevée dans ces derniers entraînerait à la fois (**Annexe 1**) :

- une meilleure utilisation des ressources abiotiques en particulier grâce à la complémentarité entre *taxa*, ou génotypes, dans la manière dont ils exploitent le milieu ; il en résulterait une productivité primaire plus élevée (Johnson *et al.*, 1996) ;
- une plus grande stabilité face aux variations habituelles ou catastrophiques du milieu (Pimm, 1991 ; Hobbs *et al.*, 1995), notamment parce que les espèces, même similaires dans leur exploitation des ressources trophiques, peuvent différer pour leurs réponses aux variations et perturbations du milieu (Walker, 1995).

La biodiversité joue un rôle important dans la résilience des écosystèmes en renforçant leurs capacités de récupération après perturbation.

Il est établi aujourd'hui que la biodiversité ou diversité biologique est « un ensemble constitué par la diversité génétique, la diversité spécifique et la diversité écologique et leurs interactions, en un lieu donné et à un moment donné » (di Castri, 1996). Elle comprend donc à la fois la diversité (a) des espèces ou composition (richesse spécifique), (b) des individus (diversité génétique), (c) des situations écologiques (complexes d'écosystèmes), (d) des fonctions occupées au sein de l'écosystème (diversité fonctionnelle), (e) des structures organisant la végétation (diversité structurale), (f) des paysages en mosaïques dans l'espace et/ou dans le temps (hétérogénéité spatio-temporelle), etc. (Jauffret et Vela, 2000). Il est essentiel d'étudier autant que possible toutes ces dimensions pour l'évaluer. Elle se manifeste donc à différents niveaux d'organisation, de la plus petite unité du vivant (la molécule) jusqu'à la biosphère (**Annexe 1**).

Dans le cadre conceptuel des conventions environnementales internationales (changements climatiques, biodiversité et lutte contre la désertification), la **compréhension des changements écologiques à long terme** nécessite de prendre en compte **trois composantes environnementales** : les changements d'utilisation des terres (incluant l'agriculture, le pâturage, la foresterie), les changements climatiques et les changements de la diversité biologique tels la perte ou l'addition d'espèces, d'habitats, etc. (**Figure 1**) :

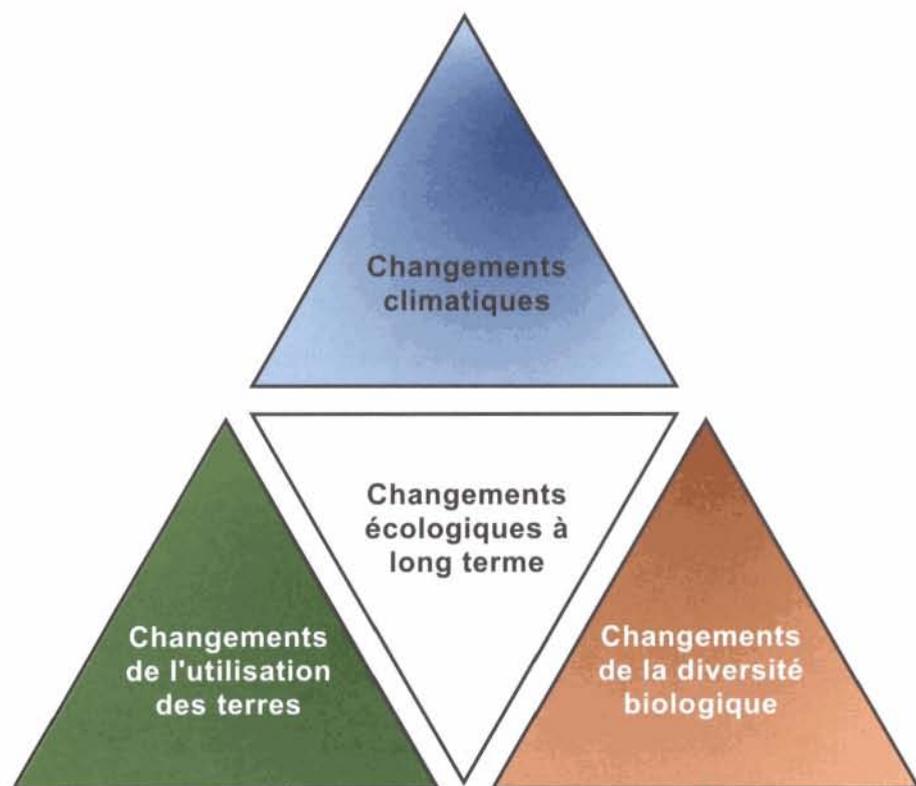


Figure 1 : Trois composantes pour comprendre les changements écologiques à long terme.

La compréhension des mécanismes maintenant ou modifiant la diversité est une base obligatoire pour mettre en place des stratégies efficaces de sa gestion. Comprendre dans quelle mesure et par quels mécanismes l'évolution de la diversité biologique peut affecter les équilibres biogéochimiques et la stabilité des écosystèmes est indispensable et vice versa. Ceci nécessite la prise en compte des **problèmes posés par l'impact à moyen et à long terme des activités humaines sur la biosphère**, en particulier par l'intermédiaire des changements : (1) climatiques et atmosphériques, (2) de l'utilisation des terres, et (3) de l'érosion de la diversité biologique (di Castri et Younès, 1990 ; Lubchenco *et al.*, 1991 ; Barbault et Hochberg, 1992 ; Steffen *et al.*, 1992).

Contraintes et perturbations

Alors que l'étude des sociétés humaines et celle de leur histoire sont inséparables, l'étude des relations entre les écosystèmes et leur histoire reste peu étudiée. Depuis quelques années maintenant, un nouveau besoin de connaissance sur la dynamique interactive systèmes biophysiques (ressources) / systèmes socio-économiques (usages) est apparu (Loireau, 1998 ; ROSELT/OSS DS3, 2004). La compréhension de cette dynamique permettra l'obtention d'indicateurs de la dégradation des ressources et la production d'outil d'aide à la décision. C'est dans ce contexte que les études écologiques doivent être entreprises au sein de ROSELT/OSS.

Les observatoires du réseau ROSELT/OSS présentent un ensemble d'écosystèmes, interconnectés, et au sein desquels les espèces végétales sont généralement bien adaptées à leur environnement. C'est sous l'influence de différents facteurs biotiques et abiotiques que les communautés végétales se structurent et fonctionnent. La compréhension de la structure et du fonctionnement des écosystèmes nécessite donc que soit considéré l'ensemble des pressions exercées sur le milieu tout au long de son histoire (en connaissant ou en faisant des hypothèses sur la végétation d'origine). On distingue généralement parmi ces pressions :

- les contraintes, ou stress : facteur ou ensemble de facteurs qui limitent la vitesse de production de biomasse mais aussi la capacité de reproduction, de régulation, de changements morpho-physiologiques et qui sélectionne les taxons adaptés (adapté de Grime, 1977) ;
- les perturbations : tout événement ou mécanisme qui désorganise la structure de l'écosystème, de la communauté ou de la population, modifie les ressources, la disponibilité du substrat ou l'environnement physique et limite (ou réduit) la biomasse d'un individu ou d'une population en causant sa destruction partielle ou totale (adapté de Grime, 1977 et de Pickett et White, 1985).

Les usages (pratiques agropastorales, activités de cueillette...) sont généralement considérés comme des perturbations des milieux naturels et les conditions climatiques (en particulier la sécheresse) comme un stress. Il faut

cependant garder à l'esprit que **l'application des concepts de perturbation et de stress comporte certaines limites**. Il existe toujours un gradient entre la perturbation et le stress, car un même événement peut être considéré tour à tour comme une perturbation ou un stress selon sa fréquence et son intensité. Un événement sera considéré comme une **perturbation** s'il est exceptionnel et très intense (**fréquence faible et aléatoire, intensité forte**), ou comme un **stress** s'il est permanent et modéré (**fréquence forte et régulière, intensité faible**).

Ces pressions, sources de diversité, peuvent devenir néfastes au bon fonctionnement des systèmes écologiques. En effet, lorsqu'elles sont à la fois fréquentes et très intenses, la vitesse de cicatrisation (résilience) des systèmes écologiques étant trop faible, les pressions de sélection entraînent alors la " dégradation des écosystèmes ". C'est ce qui se produit généralement en zones aride et semi-aride circum-sahariennes. La dégradation des terres (modification de la quantité et de la qualité des ressources disponibles) provoque une modification globale de la biocénose et de son biotope. Ces modifications se répercutent ainsi sur la biodiversité *s.l.* et sur les processus fonctionnels de la phytocénose (ensemble de tous les végétaux habitant un même biotope et interagissant entre eux) et donc sur la résilience des systèmes écologiques.

Les perturbations peuvent être classées en deux catégories. Les perturbations d'intensité moyenne et peu fréquentes (modérées) permettent le maintien de la biodiversité, le renouvellement des ressources naturelles et une bonne vitesse de récupération. Au contraire, les perturbations intenses et récurrentes peuvent provoquer une érosion de la biodiversité et une diminution plus ou moins irréversible des ressources naturelles et une régression de la résilience.

La dégradation est de plus accentuée par les contraintes climatiques, qui agissent sans cesse sur les milieux biophysiques et qui peuvent conduire, en zones arides, à un processus de désertification des terres (perte irréversible de la capacité de production biologique à l'échelle d'une génération humaine).

La dégradation de la structure et du fonctionnement (processus de désertification en cours) peut être corrigée en adoptant différentes stratégies et aménagements (Aronson *et al.*, 1995 ; **Figure 2**) :

1. **la restauration** : il s'agit de rétablir la biodiversité et autant que possible l'ensemble de ses composantes (composition, structure, fonctions des écosystèmes) présentant encore un bon niveau de résilience (dégradation non irréversible) pour que l'intervention de l'homme soit, si possible, limitée à une diminution puis à un contrôle de son niveau de pression ;
2. **la réhabilitation** : il s'agit de replacer l'écosystème sur une trajectoire favorable en réparant, aussi rapidement que possible, les fonctions (résilience et productivité), endommagées ou tout simplement bloquées (réintroduction du matériel végétal et des micro-organismes du sol ou encore des travaux du sol permettant une amélioration conséquente de son fonctionnement hydrique et trophique) ;

3. **la réaffectation** : il s'agit de transformer l'écosystème pour un nouvel usage. Ce nouvel état est éventuellement sans relation de structure et/ou de fonctionnement avec l'écosystème préexistant. Elle est surtout envisagée dans les stades les plus avancés de la dégradation de l'écosystème et même éventuellement quand un ou plusieurs seuils d'irréversibilité ont été franchis.

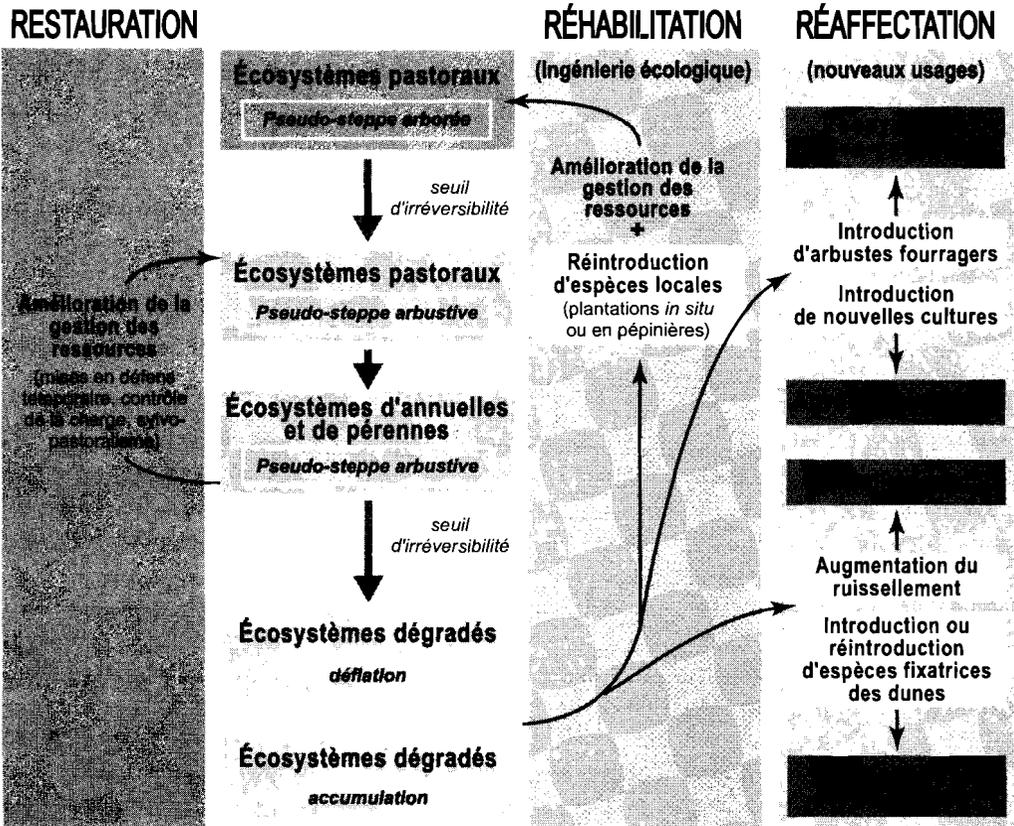


Figure 2 : Dégradation des écosystèmes, restauration, réhabilitation et ré-affectation. (adapté de Aronson et al., 1995)

Les mécanismes de la dégradation des terres

Évaluer et suivre les phénomènes de désertification, c'est d'abord comprendre les mécanismes mis en jeu et les implications qui en découlent. Les modifications de la végétation ont une répercussion directe sur le fonctionnement et la structure des sols et vice versa. Il reste toutefois possible de dissocier thématiquement végétation et sol, même si les systèmes sont totalement interpénétrés dans la nature. De même les animaux sauvages et domestiqués jouent un rôle important dans le fonctionnement des écosystèmes et sur leur structure.

Dans la dégradation de la végétation il est possible de distinguer quelques étapes successives majeures jusqu'à l'irréversibilité lorsque les pressions augmentent (adapté de Milton *et al.*, 1994) :

- Variation de la phytomasse et de la composition de la végétation avec les cycles climatiques et les événements stochastiques (sécheresse exceptionnelle, feu, maladie...);
- Modification de la composition floristique par les herbivores et par la mise en culture :
 - régression des plantes palatables au profit des espèces moins palatables ;
 - remplacement des espèces de milieux pastoraux par des espèces post-culturelles.
- Diminution de la diversité et de la productivité ;
- Réduction du couvert végétal pérenne, diminution de la phytomasse et du phytovolume ;
- Diminution de la capacité de croissance et de reproduction.

Des processus et étapes identiques pourraient être discernés en ce qui concerne les populations animales *s.l.* (domestiques ou sauvages, terrestres ou aquatiques, terricoles ou non...).

La dégradation des ressources en sol et par conséquent en eau qui se manifeste principalement par une diminution de la qualité des sols suivant quatre étapes distinctes, plus ou moins concomitantes (adapté de Cornet, 2000) :

- Modification des états de surface du sol (pellicule de battance, ensablement...) :
 - dégradation du fonctionnement hydrique (disponibilité en eau du sol et de son efficacité d'utilisation, réduction de l'infiltrabilité, augmentation du ruissellement...);
 - érosion de la fertilité (taux de matière organique, taux d'azote, capacité d'échange cationique).
- Diminution de la stabilité structurale et de la profondeur de sol utilisable par la végétation ;
- Érosion hydrique et/ou éolienne ;
- Salinisation (cas des sols irrigués).

Les effets globaux de la dégradation peuvent être appréhendés à deux niveaux :

- localement, comme cela est évoqué dans les paragraphes précédents : perte de productivité des terres, érosion de la fertilité, très faible production biologique et faible capacité d'évolution ;

- à distance : la dégradation entraîne des phénomènes d'ensablement des zones voisines, des problèmes de crues et d'inondations, des problèmes de comblement des barrages, de transports d'aérosols à grande distance, mais aussi des problèmes de migrations.

Surveiller et évaluer les phénomènes de dégradation des terres, voire de désertification, nécessite d'identifier et d'élaborer des **indicateurs environnementaux** pour caractériser les changements à long terme. La seconde section fait un état des lieux des approches internationales sur ce concept et resitue l'approche ROSELT/OSS dans ce cadre général.

Le dispositif ROSELT/OSS de surveillance et de recherche sur la désertification

Le réseau ROSELT/OSS fournit un cadre général structuré pour une meilleure compréhension des relations entre la biodiversité et la dégradation des terres, notamment à travers son mandat d'harmonisation des approches et des méthodologies à une échelle continentale. Il permet ainsi d'envisager des comparaisons à différentes échelles entre observatoires et entre régions écologiques, vers une meilleure compréhension de la dynamique de la biodiversité en zones arides.

L'approche scientifique de ROSELT/OSS comporte deux modes principaux :

- Le **mode synchronique**, par la comparaison des états de l'environnement, à un moment donné, à l'intérieur des territoires d'observatoires et entre ceux-ci, afin de permettre la mise en évidence (1) des mécanismes propres à chaque observatoire, en relation avec leurs spécificités, mais aussi (2) des mécanismes qui leur sont communs, au delà des différences de fonctionnement ;
- Le **mode diachronique**, par la comparaison à long terme (étude diachronique) des tendances évolutives d'un observatoire au cours de son histoire d'une part, et d'autre part des tendances évolutives entre les observatoires.

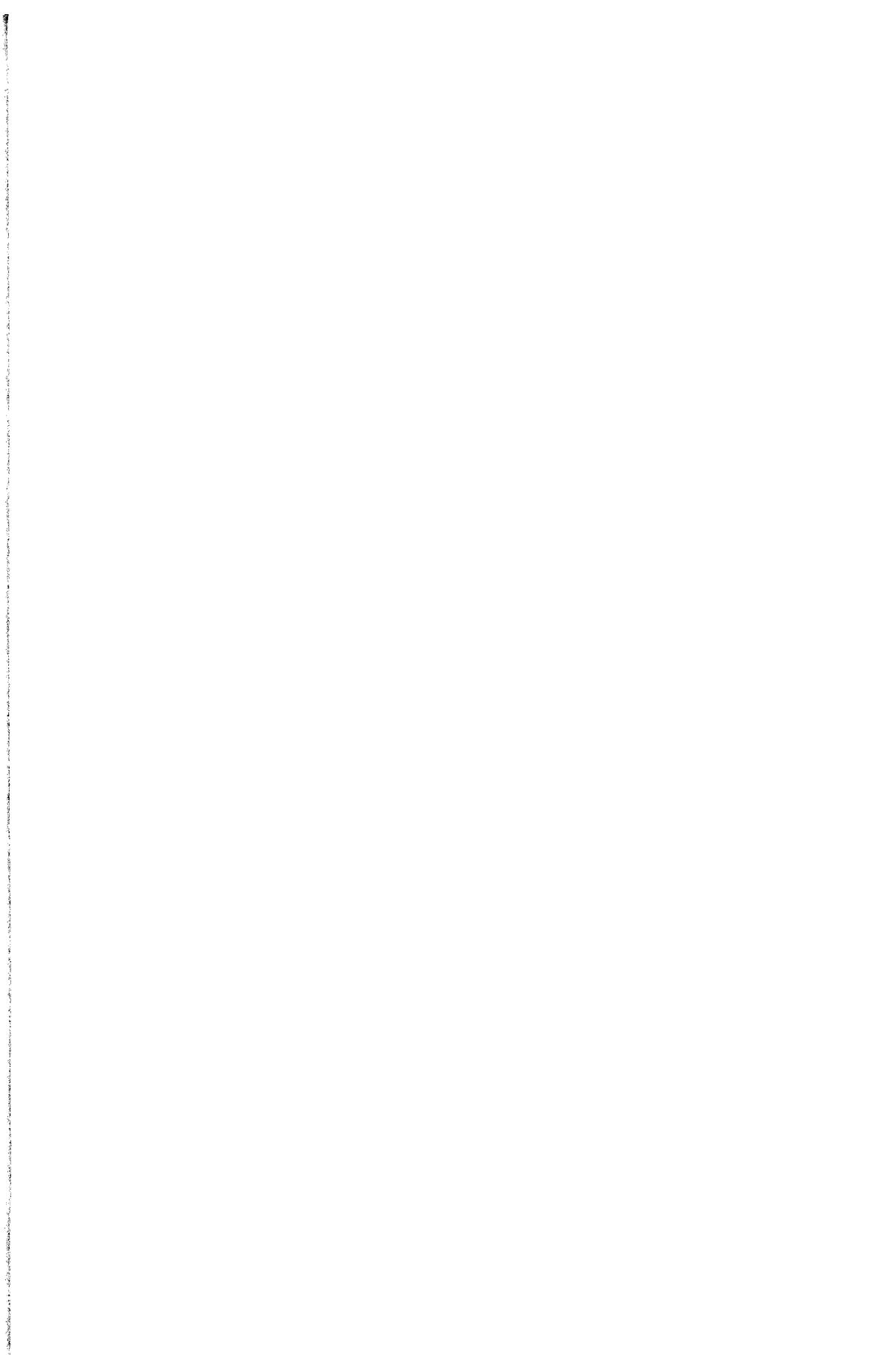
Par ailleurs, des projets de recherche thématiques à court et moyen termes sont greffés au réseau pour compléter et approfondir les connaissances concernant les mécanismes mis en jeu dans les processus de désertification. Ces projets concernent par exemple **l'étude fine des mécanismes de désertification et des problématiques associées telles la biodiversité ou les relations population humaine-environnement.**

Ces études doivent aider à la définition progressive des paramètres pertinents à mesurer, appelés "**kit minimum de données**" et des méthodologies

correspondantes. Il s'agit alors de définir, d'une part, le “ **kit minimum de données réseau** ” qui correspond au minimum de données nécessaires au suivi des changements écologiques, des mutations sociales, et des interactions hommes/milieu, commun à tous les observatoires pour permettre les comparaisons d'un site à l'autre ; et d'autre part, le “ **kit de données observatoire** ”, constitué des données biophysiques et/ou socio-économiques liées à des spécificités locales indispensables à la compréhension du processus de désertification du territoire (ROSELT/OSS DS2, 2004). L'interprétation (statistique, modélisation...) des séries de données synchroniques et diachroniques doit servir à la validation des indicateurs de désertification ou de restauration pour en extraire les tendances évolutives.

*

* *



Les indicateurs environnementaux : du concept à l'élaboration

En 1992, lors du Sommet de la Terre, il a été mis en lumière que les indicateurs pouvaient jouer un rôle important, en tant qu'outils de communication et d'aide à la décision en particulier pour le développement durable.

Le chapitre 40 de l'Agenda 21, dans un souci d'harmonisation des efforts, appelle les pays à développer :

1. un jeu d'indicateurs du développement durable communs, régulièrement actualisés, qui peuvent fournir une base solide pour l'aide à la décision à tous les niveaux (national, régional et international, et au niveau des organisations gouvernementales et non-gouvernementales) ;
2. des rapports et bases de données largement accessibles.

Par la suite, l'article 16(c) de la Convention de lutte contre la désertification souligne que : « *Les parties sont d'accord, suivant leurs capacités respectives, pour intégrer et coordonner la collecte, l'analyse et l'échange de données et d'informations à court et long terme afin d'assurer l'observation systématique de la dégradation des terres dans les zones affectées et d'améliorer la compréhension et l'évaluation des processus et des effets de la sécheresse et de la désertification. [...] Dans ce but, les parties devraient entre autres : supporter et continuer à développer des programmes bilatéraux et multilatéraux et des projets ayant pour objectif de définir, conduire, évaluer et financer la collecte, l'analyse et l'échange de données et d'informations, incluant, inter alia, un jeu intégré d'indicateurs physiques, biologiques, sociaux et économiques* ».

L'identification d'indicateurs de changements biophysiques, socio-économiques et à l'interface constituent donc un des points forts de la mise en œuvre de la Convention de lutte contre la désertification.

À travers la mise en place d'un dispositif de surveillance à long terme, ROSELT/OSS participe largement à l'identification de tels indicateurs.

Il convient tout d'abord de rappeler les définitions concernant les indicateurs, notamment celles proposées par les différents programmes internationaux, afin de proposer une approche pour ROSELT/OSS, à la fois conforme à la démarche internationale et adaptée aux spécificités du réseau (échelles locales, utilisation des séries historiques de données écologiques...).

Les indicateurs environnementaux : “ état des lieux ” au niveau international

Le point de vue de l'OCDE

« L'intérêt pour le développement durable et les préoccupations du public face aux menaces qui pèsent sur l'environnement ont conduit les gouvernements à réexaminer les moyens dont ils disposent pour évaluer et surveiller l'état de l'environnement et déceler ses changements. On note également un intérêt croissant pour mesurer la performance environnementale et évaluer dans quelle mesure les gouvernements réussissent à mettre en œuvre leurs politiques nationales d'environnement et à remplir leurs engagements internationaux. Dans ce contexte les indicateurs d'environnement apparaissent de plus en plus comme des outils indispensables pour tracer et suivre le chemin vers un avenir durable » (Organisation de Coopération et de Développement Économique – OCDE, 1994).

Les indicateurs sont traditionnellement employés dans l'évaluation, le suivi et la prévision, car ils traduisent de façon synthétique une action, une situation et leurs évolutions. Le terme “ indicateur ” fait l'objet d'une utilisation très répandue, il convient donc de rappeler quelques définitions. Pour l'OCDE (1994), les indicateurs ont deux fonctions principales :

1. réduire le nombre de mesures et de paramètres qui seraient normalement nécessaires pour rendre compte d'une situation avec exactitude,
2. simplifier le processus de communication des résultats de mesures aux utilisateurs.

Un **indicateur** est un paramètre, ou une valeur calculée à partir d'un ensemble de paramètres, qui fournit des informations sur un phénomène ou sur son état. L'indicateur a une signification dépassant celle directement liée à la valeur paramétrique (OCDE, 1994). Un indicateur est conçu pour un certain objectif, et au profit d'un certain groupe d'utilisateurs. Il reflète une certaine situation et aide à la décision par rapport à cette situation. Un indicateur peut donc être :

- * un étalon de mesure quantitatif (calculé à partir d'observations réalisées sur le terrain en divers points, exprimé en proportion de la superficie totale d'un pays ou d'une région donnée),
- * une description qualitative.

Un **paramètre**, quantitatif ou descriptif, décrit une caractéristique permanente du milieu *s.l.* (biophysique et socio-économique) qui est mesurée et quantifiée.

Un **indice** est habituellement une valeur unique. Il peut être considéré, soit comme la combinaison en un seul tout d'un certain nombre de variables, soit comme découlant de la fusion d'un ensemble de paramètres ou indicateurs pondérés (OCDE, 1994).

Un **repère** est une norme par rapport à laquelle les indicateurs ou indices peuvent être comparés afin de déterminer les tendances.

Un **seuil** est une valeur limite d'un indicateur au-delà de laquelle la nature des processus, de la structure ou du fonctionnement du système renseigné change significativement.

Ces définitions ne sont pas nécessairement exclusives les unes des autres. Par exemple, un paramètre et un indice peuvent ensemble constituer un indicateur. Les indicateurs ne sont donc pas simplement des descripteurs statiques. Comme le souligne un rapport du World Resources Institute – WRI (Hammond *et al.*, 1995), les indicateurs relatifs à l'environnement donnent des informations sur l'état du monde où nous vivons, sur la manière dont nos activités l'affectent, sur des problèmes émergents et sur l'efficacité des solutions que nous apportons à ces problèmes. Leur objet consiste à condenser un grand nombre d'informations en quelques mesures compréhensibles, puis à nous aider à décider quelle action déclencher. Pour ce faire les indicateurs doivent être corrélés aux buts et objectifs de notre société et exprimés en des termes compatibles avec ces buts et objectifs.

En 1991, l'OCDE avait déjà souligné la nécessité de « *continuer à développer des ensembles d'indicateurs fiables, lisibles, mesurables et pertinents du point de vue politique* » (OCDE, 1994). En particulier, l'élaboration d'indicateurs environnementaux doit mettre en exergue :

- des indicateurs pour mesurer la performance environnementale ;
- des indicateurs pour intégrer les préoccupations d'environnement dans les politiques sectorielles ;
- des indicateurs pour intégrer de façon plus générale les préoccupations d'environnement dans les politiques économiques, notamment par l'établissement d'une comptabilité de l'environnement.

Pour atteindre cet objectif, l'OCDE (1994) propose un modèle Pression – État – Réponse (PER), reposant sur la notion de causalité : les activités humaines exercent des pressions sur l'environnement et modifient la qualité et la quantité des ressources naturelles c'est-à-dire leur état. La société répond à ces changements en adoptant des mesures de politiques d'environnement, économiques et sectorielles ce qui constitue les réponses de la société. Il est alors possible de distinguer trois grands types d'indicateurs (**Figures 3 et 4**) :

- **les indicateurs des conditions environnementales**, ou indicateurs “ d'état ”, concernent la qualité de l'environnement ainsi que la qualité et la quantité des ressources naturelles, en particulier leur évolution dans le temps (cf. état et changement d'état). Comme tels, ils reflètent l'objectif initial et final (intégrité environnementale) de la prise de décision en matière de politique environnementale ;
- **les indicateurs des pressions environnementales**, ou indicateurs de “ pression ”, décrivent les pressions exercées sur l'environnement dues à des activités humaines, y compris sur la qualité et la quantité des ressources naturelles ;
- **les indicateurs des réponses de la société**, ou indicateurs de “ réponses ”, indiquent dans quelle mesure la société répond aux mutations enregistrées dans l'environnement et aux préoccupations dans ce domaine. On entend par réponses de la société des actions individuelles et collectives

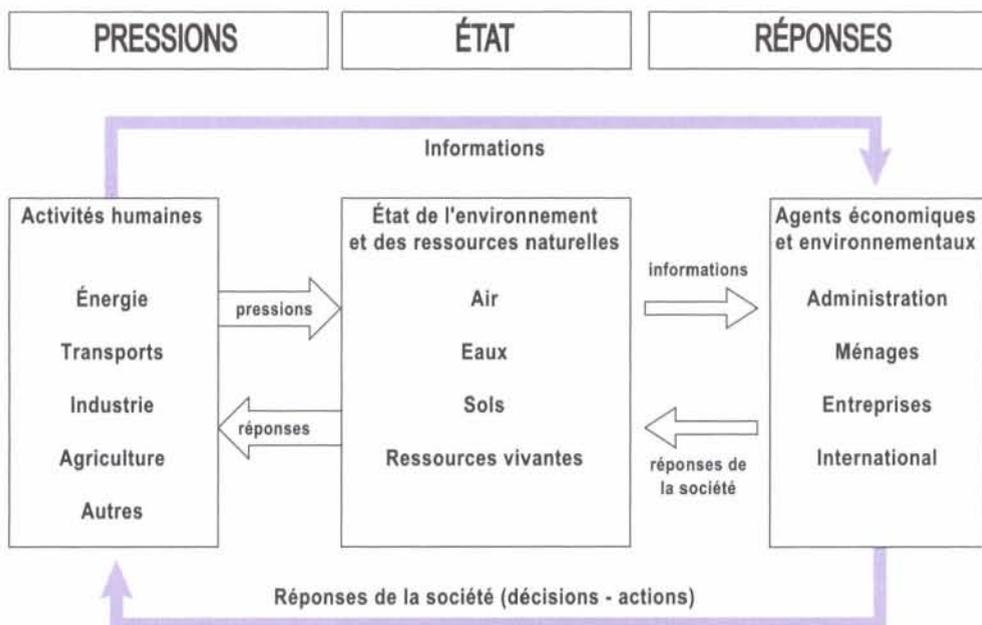


Figure 3 : Modèle Pressions – État – Réponses (OCDE, 1994).

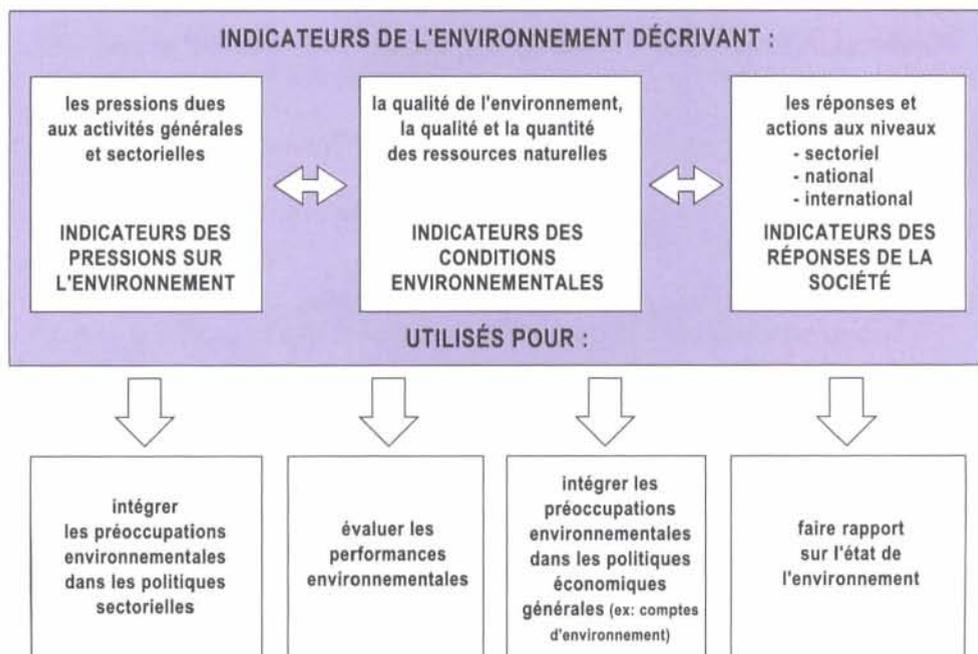


Figure 4 : Nature et usages des indicateurs environnementaux (OCDE, 1994).

destinées : 1) à atténuer, adapter ou éviter des répercussions négatives induites par les activités humaines sur l'environnement, 2) à mettre fin ou inverser les dégradations déjà infligées à l'environnement et 3) à conserver et protéger l'environnement et les ressources naturelles. Dans ce contexte, le terme " réponse " est employé par l'OCDE seulement pour la réponse sociétale/politique. Ces indicateurs de réponse ne concernent pas la réponse de l'écosystème à une pression (ex : charge pastorale).

Cet ensemble d'indicateurs peut être regroupé sous le terme générique d'**indicateurs de l'environnement ou indicateurs environnementaux** (voir aussi document ROSELT/OSS, 1995 ; DS1, 2004). Des exemples d'indicateurs de l'OCDE sont donnés en dans le **tableau 1**.

Tableau 1 : Exemples d'indicateurs de l'OCDE par thème d'environnement.

	PRESSIONS	ÉTAT	RÉPONSES
Thèmes	Indicateurs des pressions sur l'environnement	Indicateurs des conditions environnementales	Indicateurs des réponses de la société
Biodiversité / paysage	Altération de l'habitat et conversion des terres les déviant de leur état naturel.	Espèces menacées ou disparues par rapport à l'ensemble des espèces connues.	Zones protégées en % du territoire et par type d'écosystème.
Ressources en eau	Intensité d'utilisation des ressources en eau.	Fréquence, durée et étendue des périodes de pénurie d'eau.	Tarification de l'eau et redevances pour l'épuration des eaux usées.
Ressources forestières	Récolte réelle / capacité de production.	Superficie, volume et structure des forêts.	Gestion et protection des forêts.
Dégradation des sols (désertification et érosion)	Risques d'érosion : utilisation potentielle et réelle du sol pour l'agriculture.	Taux de perte de la couche arable.	Zones réhabilitées.
Indicateurs généraux	Croissance et densité démographiques <ul style="list-style-type: none"> • croissance du PIB, • consommation finale, • production industrielle, • structure de l'approvisionnement en énergie, • volumes de la circulation routière, • parc de véhicules routiers, • production agricole. 	Ne s'applique pas	Dépenses en matière d'environnement. Opinion publique.

N.B.: Ce tableau répertorie une partie des indicateurs " idéaux " du corps central proposé par le Groupe de l'OCDE sur l'état de l'environnement.

Les indicateurs environnementaux de la désertification/dégradation ne constituent qu'un cas particulier des indicateurs de l'OCDE. La question est posée de savoir comment suivre les changements environnementaux, qu'ils soient issus des actions de lutte contre la désertification ou autres. ROSELT/OSS a pour vocation de surveiller les changements écologiques à long terme au niveau des territoires des observatoires (échelle locale extrapolée à l'échelle sous-nationale) ; d'autres programmes complémentaires de l'Observatoire du Sahara et du Sahel (OSS) s'attachent à suivre l'impact de la mise en œuvre de la Convention de Lutte contre la Désertification (CLD ou CCD : *Convention to Combat Desertification*) aux niveaux national et sous-régional, en particulier au travers de systèmes de suivi-évaluation (suivi-évaluation des PAN, suivi-évaluation des impacts et suivi-évaluation de la désertification).

Le Plan Bleu : cent trente indicateurs pour le développement durable en Méditerranée

Le modèle PER (pression – état – réponse) a depuis peu été testé et adopté par la Commission méditerranéenne du développement durable afin d'identifier les indicateurs du développement durable en Méditerranée. Cent trente indicateurs d'intérêt méditerranéen ont été retenus parmi une liste initiale de deux cent cinquante indicateurs (dont les cent trente-quatre indicateurs de la commission de développement durable des Nations Unies) répartis comme suit : quarante-cinq indicateurs de pression, quatre indicateurs d'état et quarante indicateurs de réponses.

Si l'on peut s'inquiéter du grand nombre d'indicateurs, les critères de sélection de ceux-ci ont veillé à intégrer à la fois leur pertinence (aptitude à décrire les problèmes de développement durable en Méditerranée) et leur faisabilité (disponibilité plus ou moins immédiate des données nécessaires à leur calcul).

Cinquante indicateurs calculés jusqu'à ce jour ont permis d'élaborer des fiches descriptives. Ces fiches ont été établies pour montrer les types d'usage et d'analyse pouvant être faits à partir de ces indicateurs à l'échelle du bassin méditerranéen. Les indicateurs à l'échelle nationale sont divers et concernent de nombreux thèmes. Certains sont particulièrement intéressants pour ROSELT/OSS : *démographie et population* (indicateurs calculés : taux de croissance de la population, indice synthétique de fécondité...) ; *agriculture* (indicateurs calculés : terres arables par habitant, part des terres agricoles irriguées, rendement moyen annuel du blé...) ; *sols, végétation et désertification* (indicateurs calculés : évolution relative des terres arables ; indicateurs non calculés : taux d'exploitation des sols et évolution de l'utilisation des sols) ; *diversité biologique et écosystèmes* (indicateur non calculé : espèces menacées de disparition...).

Dans le cadre de la mise en œuvre des PAN/LCD des listes d'indicateurs bâtis sur le même modèle sont progressivement adoptées par les pays : il sera nécessaire de calculer le même type d'indicateurs au niveau des observatoires locaux ROSELT/OSS afin, d'une part, d'analyser comment l'observation locale peut contribuer à améliorer la précision des indicateurs nationaux et, d'autre part, d'observer si les tendances

nationales sont corroborées par celles observées à l'échelle locale et inversement, malgré les différences éventuelles d'obtention et de calculs des indicateurs.

La démarche d'élaboration de fiches d'indicateurs entreprise par le Plan Bleu met en évidence la nécessité d'établir autant que possible des fiches sur les indicateurs étudiés. Le programme ROSELT/OSS reprend cette nécessité à son compte et propose, dans le document technique CT14 (2004), des « *fiches techniques descripteurs/indicateurs écologiques* » permettant de définir et d'harmoniser les méthodes d'obtention des indicateurs écologiques.

À terme, des fiches descripteurs/indicateurs présentant les résultats par sous-régions (ex : fiche d'évolution du couvert végétal pérenne en Afrique du Nord) pourront être établies, fournissant ainsi une vision synoptique de l'évolution des indicateurs étudiés à l'ensemble des observatoires d'une même sous-région.

L'approche de la Commission pour le développement durable (Commission for Sustainable Development – CSD)

Le schéma conceptuel employé par la CSD (1996) pour guider la sélection d'indicateurs de développement durable propose une approche “ *driving force – state – response* ” (DSR) ou “ *forces motrices (ou directrices) – état – réponse* ”, focalisée sur les thèmes du développement durable en vue de l'aide à la décision (cf. <http://www.un.org/esa/sustdev/csd.htm>). En conformité avec les chapitres de l'Agenda 21, les indicateurs de la CSD peuvent être classés suivant les quatre principales dimensions du développement durable : sociale, économique, environnementale et institutionnelle. Ces quatre catégories ont permis de classer les indicateurs suivant leur(s) force(s) motrice(s), leur état, et les caractéristiques de leur réponse. Ceci a ainsi favorisé l'adoption d'une approche conceptuelle largement utilisée pour l'élaboration d'indicateurs environnementaux. Le terme de force directrice représente l'ensemble des activités humaines, des processus, et leurs modes d'action (dans l'espace et dans le temps) ayant un impact sur le développement durable, que ce soit positivement ou négativement. Les indicateurs d'état fournissent une lecture des conditions du développement durable, tandis que les indicateurs de réponse représentent les actions sociétales entreprises en vue du développement durable.

Cette approche a permis d'établir une liste de cent trente-quatre indicateurs nationaux sur le développement durable. Afin de faciliter l'utilisation d'un si grand nombre d'indicateurs, des regroupements par thème ont été effectués. Des exemples d'indicateurs génériques sont donnés dans le **tableau 2**. Ce modèle est utilisé pour organiser de manière systématique les indicateurs sur le développement durable, mais on peut regretter l'absence de classement de ceux-ci, sans la logique sous-jacente de causalité. La pertinence de ces indicateurs a été testée par vingt-et-un pays volontaires dans toutes les régions géographiques du monde parmi lesquels on trouve : le Maroc, l'Afrique du Sud, la Chine, le Pakistan, le Brésil, le Mexique, la France et l'Allemagne.

Cependant, les indicateurs environnementaux utilisés sont assez peu homogènes et posent des problèmes de mesure ou de collecte statistique qui ne sont pas à la portée de tous les pays membres des Nations Unies. Cette approche reste donc trop globale et n'est pas opérationnelle dans le cadre de ROSELT/OSS. Le programme devra néanmoins en tenir compte, afin de contribuer à fournir les éléments de calcul au niveau local, dans le cadre de la contribution aux dispositifs nationaux de surveillance environnementale mis en place par les PAN (programmes d'action nationaux) de la Ccd.

Tableau 2 : Indicateurs de la CSD par thème environnemental
 (Commission for Sustainable Development).
<http://www.un.org/esa/sustdev/csd.htm>

- **Indicateurs des terres (Land)**

Sous-thèmes	Indicateurs
Agriculture	Surface des terres cultivées arables et permanentes. Utilisation de produits de fertilisation. Utilisation de pesticides agricoles.
Forêts	Surface des forêts exprimée en pourcentage de la surface totale des terres. Intensité des coupes de bois.
Désertification	Terres affectées par la désertification.
Urbanisation	Surface des habitats urbains formels et informels.

- **Biodiversité**

Sous-thèmes	Indicateurs
Écosystèmes	Surface des écosystèmes-clés sélectionnés. Aire protégée exprimée en pourcentage de l'aire totale.
Espèces	Abondance des espèces-clés sélectionnées.

La vision de l'Agence Européenne de l'Environnement (AEE)

Un cadre élargi a été défini par l'Agence Européenne de l'Environnement (AEE, Copenhague) qui a mis au point le modèle FPEIR : Forces motrices – Pressions – État – Impact – Réponses (DPSIR : *Driving force – Pressure – State – Impact – Response*), présenté en **figure 5**. Ce modèle ajoute des indicateurs d'impact afin de décrire les effets des changements dans l'état de l'environnement (ex : mesures du changement climatique et de l'élévation du niveau de la mer, exposition de la population humaine à certains niveaux de pollution...).

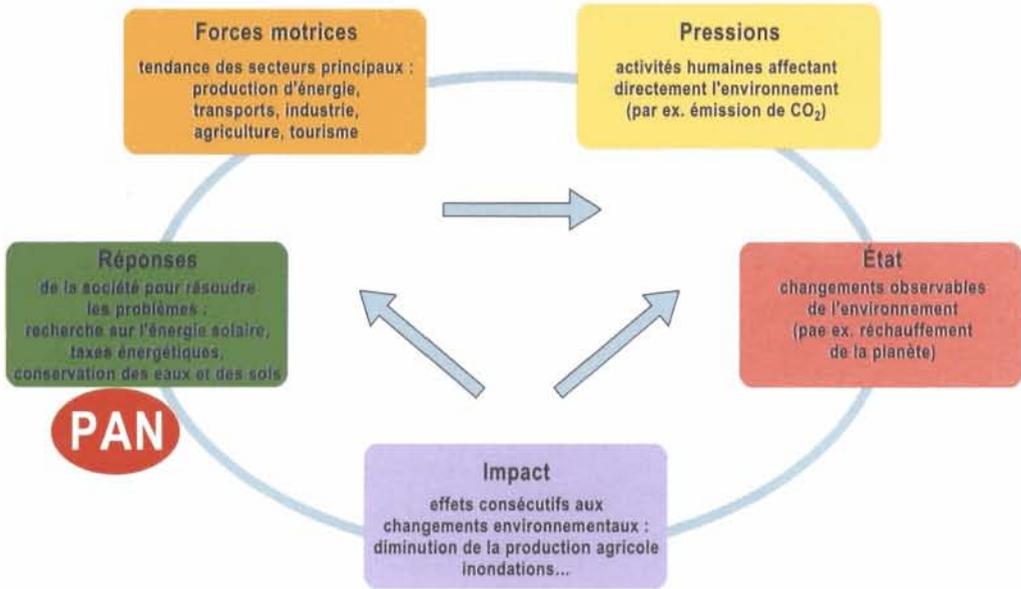


Figure 5 : Modèle FPEIR (Forces motrices – Pressions – État – Impact – Réponses) (DPSIR – *Driving force – Pressure – State – Impact – Response*).

PAN : plans d'actions nationaux
(d'après AEE [<http://www.eea.eu.int/>])

Ce modèle présente l'avantage sur les précédents exposés de proposer un schéma cyclique, et non plus linéaire, qui correspond mieux à la réalité changeante de la nature des indicateurs environnementaux. Ce modèle peut être utile pour mettre l'accent sur la dynamique des changements environnementaux et les impacts (positifs ou négatifs) des activités humaines.

Les indicateurs et la Ccd

Dès 1997, l'attention a été attirée sur la recherche d'indicateurs d'impact de la Ccd par l'Observatoire du Sahara et du Sahel (premier atelier de travail, 17-20 juin 1997, Paris).

Deux types d'indicateurs peuvent être définis :

- les indicateurs de mise en œuvre de la CCD, à caractère institutionnel ;
- les indicateurs d'impact de la mise en œuvre de la CCD, qui intéressent plus particulièrement ROSELT/OSS. Les indicateurs d'impacts incluent les indicateurs de désertification et devraient permettre d'évaluer l'efficacité et la qualité des actions entreprises dans le cadre de la mise en œuvre des plans d'actions nationaux (PAN) dans un but prédéterminé (OSS, 1997).

Le comité scientifique et technique de la CCD (cf. Mendizabal, 1998) a exprimé le besoin d'aboutir à une méthodologie qui pourrait être utilisée pour déterminer les indicateurs d'impact. Ces indicateurs devraient :

- être en nombre limité : un seul par question/problème posé ;
- être définis suivant une terminologie pertinente et robuste ;
- permettre d'évaluer de manière fiable les problèmes représentés, avec une couverture spatiale adéquate ;
- pouvoir être remplacés par des données représentatives, qui à défaut d'être exactes peuvent s'y substituer (" *proxy data* "), si les données spécifiques ne sont pas disponibles.

Par ailleurs, les données requises disponibles et les méthodes de collecte doivent être identifiées. Pour chaque indicateur il serait nécessaire de :

- collecter et analyser les données ;
- établir une ligne de référence ;
- définir des critères de performance ;
- présenter des résultats ;
- combiner et agréger les indicateurs de manière à fournir quelques messages clairs aux décideurs.

Ces exigences posent clairement la nécessité de mettre en place un agenda de recherche dans le but d'évaluer les impacts des PAN sur les paramètres biophysiques, socio-économiques et institutionnels, mais ne décrivent pas spécifiquement ce qui devrait être fait.

(cf. A.C. Imeson : <http://www.desertification.it/doc/AlgheroWEB/imeson.htm>).

Rappelons que dans le cadre de ROSELT/OSS, l'objectif est de comprendre la part respective des facteurs biotiques et abiotiques expliquant les changements à long terme, y compris les actions menées dans le cadre des PAN et des mesures locales de lutte contre la désertification lorsqu'elles sont mises en œuvre.

ROSELT/OSS et les indicateurs de la désertification

Les indicateurs environnementaux de la désertification

Les **indicateurs de la désertification** peuvent être considérés comme un cas particulier des indicateurs environnementaux appliqués au cas de la désertification (ROSELT/OSS DS1, 2004). Ces indicateurs mettent en exergue d'une part, **les causes de la désertification** qui sont à la fois naturelles (ex : l'évolution des facteurs climatiques) et anthropiques (pression de l'homme sur le milieu) ; d'autre part **les effets de la désertification** sur les milieux biologiques (principalement la végétation et la faune), physiques (sols et ressources en eau) et socio-économiques (famines, migrations, changements des pratiques...).

Les indicateurs environnementaux de la désertification doivent bien évidemment traduire des états de variables et des tendances de l'environnement, mais aussi permettre, au travers de l'établissement de seuils, de rendre compte de la gravité des processus de dégradation en cours et de fournir des " signaux " concernant les risques encourus et l'urgence de la situation. Il convient donc d'étudier un certain nombre de paramètres écologiques du milieu et de les relier (1) aux processus de la dynamique des populations et des ressources et (2) aux processus d'évolution.

Deux grands types d'indicateurs peuvent être retenus (Er Rihani, 1989) à savoir les **indicateurs abiotiques** (climat, hydrologie, substrat) et les **indicateurs biotiques** (modification de la composition spécifique, réduction du couvert végétal, réduction de la productivité biologique incluant celle des animaux domestiques, réduction de la faune sauvage).

Dans un premier temps il est nécessaire de tester la pertinence de quelques descripteurs (indicateurs potentiels), relativement simples à suivre. Ces indicateurs devraient permettre la surveillance pratique de la dégradation des écosystèmes (ou systèmes écologiques) et des agrosystèmes. L'attention peut donc être portée sur :

- l'étude de la dynamique de la diversité des systèmes écologiques et des espèces (les caractéristiques de la végétation témoignent de la sensibilité des milieux et de leur évolution dans le temps) ;
- l'étude de la dynamique de la diversité du paysage valorisant notamment les apports de la télédétection.

Par ailleurs, un nombre restreint de ces indicateurs peut permettre la surveillance de l'impact des actions de lutte contre la dégradation des terres, lorsqu'elles sont entreprises, en observant l'évolution progressive des milieux liée aux actions de restauration, réhabilitation ou autres.

Ces indicateurs peuvent alors être considérés comme un cas particulier et qualifiés " d'indicateurs d'impact ".

Ainsi, un des objectifs de ROSELT/OSS est la production d'une **batterie d'indicateurs des changements successifs de l'environnement (forces motrices, pressions, état, impact, réponses des écosystèmes et des sociétés)**, en vue de la **caractérisation spatiale et temporelle de la désertification sur le plan écologique**. Ceci permettrait de suivre les phénomènes de dégradation et d'alerter les gestionnaires sur les franchissements de niveaux de dégradation, de suivre et évaluer l'impact des actions de lutte entreprises (indicateurs d'impact), notamment dans le cadre de la mise en œuvre de la CCD.

Un cas particulier : les indicateurs biologiques

Un cas particulier d'indicateur écologique est l'indicateur biologique (ou biotique ou bio-indicateur). Molfetas et Blandin (1981) définissent l'indicateur biologique comme un organisme ou un ensemble d'organismes qui traduit de façon aussi directe et évidente que possible des modifications qualitatives et/ou quantitatives de l'écosystème dont il fait partie. À la même époque, Lebrun (1981) élargit la définition à *tout paramètre biologique, qualitatif ou quantitatif (mesuré au niveau d'un individu, d'une population, d'une guild, d'une communauté), susceptible d'indiquer des conditions de vie particulières qui correspondent soit à un état donné, soit à une variation naturelle, soit à une perturbation du milieu*.

D'une manière plus restrictive, un indicateur biologique est une espèce ou un groupe d'espèces qui, par leur présence et/ou leur abondance, sont significatifs d'une ou plusieurs propriétés de l'écosystème dont ils font partie (Guelorget et Perthuisot, 1984). Pour ces auteurs les indicateurs biologiques témoignent donc de modifications qualitatives et/ou quantitatives de la structure et du fonctionnement des écosystèmes, qui surviennent tout au long de son histoire en réponse aux variations de l'environnement. Ces indicateurs sont typiquement des indicateurs d'état et de changement d'état.

Lefevre (1983) envisage les indicateurs biologiques comme autant d'outils sophistiqués créés par le développement technologique, et « *permettant de doter la " machine écosystème " d'un tableau de bord pourvu de clignotants indicateurs de bon fonctionnement ou détectant au contraire les signes avant-coureurs de perte de rendement du système ou... de la panne définitive* ». Bellan (1984) souligne en outre que les indicateurs biologiques ou taxons indicateurs doivent servir de détecteurs révélant l'existence de conditions complexes à interpréter et résultant, le plus souvent, d'un ensemble de facteurs biotiques et abiotiques difficiles à mesurer directement. Ces deux critères sont particulièrement intéressants puisqu'ils introduisent la notion d'indicateurs " d'alerte ".

Enfin, Müller-Hohenstein (1989) définit par le terme de bio-indicateur tout organisme vivant, que ce soit une plante, un animal – voire une biocénose entière – qui indique la quantité et/ou la qualité d'un facteur environnemental et/ou le processus d'un changement environnemental. Cette notion de bio-indicateur ou indicateur biologique est couramment utilisée dans le vocabulaire scientifique lorsqu'il s'agit de décrire l'état d'un écosystème (ensemble de tous les êtres vivants

– la biocénose – coexistant dans un milieu donné – le biotope – et interagissant entre eux et avec le milieu) ou d'un écocomplexe (système d'écosystèmes interactifs caractérisés par « *une structure et un fonctionnement propres, issus d'une histoire particulière* », d'après Blandin et Lamotte, 1988).

Les indicateurs écologiques ont une connotation plus large que les indicateurs biologiques : ils peuvent être également de nature physique (indicateurs abiotiques), en particulier lorsqu'il s'agit d'évaluer les ressources en eau ou en sol d'une région. D'une manière générale, les **indicateurs biophysiques** doivent rendre compte (1) de l'état du milieu : " indicateurs d'état "; (2) de son évolution : " indicateur de changement d'état " et (3) de sa " santé " (nécessitant des interventions plus ou moins urgentes) : " indicateurs d'alerte ".

Quelques rappels sur les indicateurs

Représentation des indicateurs

« *La représentation d'un indicateur doit être adaptée au type de comparaison qu'il permet :*

- *l'indicateur correspond à une évolution temporelle : un graphique (l'axe des abscisses représentant le temps) est la représentation la plus appropriée ;*
- *l'indicateur permet une comparaison de différentes zones à une date donnée : celle-ci peut être illustrée par une représentation cartographique.*

De façon générale, pour un indicateur donné les possibilités de représentation sont multiples et doivent être sélectionnées en fonction du public cible. Il s'agit surtout de rendre l'information la plus immédiate et la plus attractive possible » (Lavoux et Rechatin, 1998).

Dans le cadre de ROSELT/OSS, les indicateurs spatialisés (indicateurs spatio-temporels, sous forme cartographique) doivent également se prêter à des comparaisons dans le temps (comparaisons des cartes à des dates différentes, ex : carte d'utilisation des sols).

Qualité des indicateurs

Un bon indicateur, pour répondre aux besoins de l'utilisateur, doit présenter un certain nombre de caractéristiques génériques mais aussi spécifiques répondant aux objectifs de ROSELT/OSS. La qualité d'un indicateur est fonction du nombre de caractéristiques qu'il cumule. Il doit être :

- **Utile** : un indicateur doit être simple, compréhensible et être exprimé en des termes auxquels l'utilisateur est habitué et qu'il accepte comme reflétant fidèlement le problème ; le nombre d'indicateurs doit être limité.
- **Reproductible** : un indicateur doit pouvoir être facile à actualiser et facilement calculable par des utilisateurs différents, à partir d'une donnée récoltée aisément... et au moindre coût.

- **Généralisable** : un indicateur doit être utilisable dans toutes les régions concernées par une même problématique, pour ROSELT/OSS, dans toutes les régions désertifiées ou présentant un risque de désertification.
- **Prédictible** : les indicateurs d'états statiques doivent être identifiés pour servir de repères permettant de replacer les observations dans une dynamique et d'établir des diagnostics d'évolution.
- **Pertinent** : un indicateur doit donner une bonne image de la situation qui pose problème et doit réagir aux changements de cette situation ; il doit s'appliquer à la zone étudiée (tout en devant, dans la mesure du possible, s'appliquer à un certain nombre d'échelles : locale, régionale et nationale); il doit enfin comporter un seuil ou une valeur cible, qui puisse indiquer les tendances.
- **Fiable** : chaque fois qu'un changement s'opère dans un écosystème et dans un sens défini, l'indicateur doit aussi varier dans le même sens (dégradation ou restauration) : les mêmes causes doivent produire les mêmes effets. Les données nécessaires doivent être fiables, disponibles, l'indicateur doit être sain au point de vue analytique ou fondé sur des connaissances subjectives fiables ; il est souhaitable que l'indicateur soit corrélé à des systèmes de prévision ou d'information.
- **Sensible** : il doit à la fois être suffisamment sensible pour mettre en évidence un changement, à une échelle de temps cohérente avec les possibilités pratiques de mesures, mais pas trop sensible, ou fugace, auquel cas on ne pourrait plus le suivre (s'il disparaît et ne réapparaît qu'épisodiquement).
- **Être une donnée élaborée** : un indicateur est lié à un protocole de traitement des données récoltées quel qu'il soit (traitement statistique simple et/ou modèles mathématiques plus ou moins complexes).
- **Circonstancié** : outre la donnée brute nécessaire au calcul des indicateurs, ceux-ci doivent être eux-mêmes localisés et renseignés au sein de la base de métadonnées (géoréférencement, protocole de mesure, calcul...).

Échelle et représentativité des indicateurs

Le problème de la désertification doit être analysé à des **échelles spatiales différentes**, allant de l'échelle stationnelle, jusqu'à celle des biomes. Les indicateurs écologiques, analysés localement, doivent donc être déterminés pour des unités spatiales petites, pouvant faire ou non l'objet d'agrégation au niveau provincial/régional. Ils nécessitent une définition précise des espaces sur lesquels ils portent : se pose donc le problème de leur représentativité et de leur signification à différentes échelles spatiales.

Au niveau local – celui des études de terrain – les mesures et observations sont effectuées sur des sites tests, ou **stations**, qui doivent être choisis comme étant

représentatifs de territoires plus vastes. Cette **représentativité**, nécessaire pour l'extrapolation des informations et interprétations, suppose que (ROSELT/OSS DS1, 2004) :

- le territoire concerné fasse l'objet d'un zonage de l'occupation des terres (recours à la télédétection, élaboration d'une carte d'occupation des terres – COT), sur la base d'une typologie hiérarchisée à partir de travaux de terrain ;
- les données récoltées sur les sites tests pour les divers indicateurs de la désertification, soient traitées et intégrées par des méthodes statistiques pour une interprétation recouvrant l'ensemble de la zone test.

Les indicateurs ROSELT/OSS ayant une valeur locale pourront être agrégés et/ou extrapolés à des niveaux supérieurs (sub-national, national) ou encore servir à la construction d'autres indicateurs plus globaux. Mais il faut s'affranchir de nombreux écueils. En effet, certains indicateurs d'état de la végétation (ex : indicateurs de la structure, tels le recouvrement de la végétation, le pourcentage de terres cultivées...) se prêtent généralement bien à une " agrégation " avec ou sans changement de résolution spatiale. Par contre, les indicateurs des processus ou flux (hydrologique, démographique : migrations) perdent leur sens par simple agrégation (un exemple type est donné par la mesure de l'érosion qui se manifeste par une abrasion à un endroit et une déposition à un autre endroit : selon l'échelle d'observation, le bilan est nul).

Dans le cas du suivi de la désertification ou de la restauration d'un milieu, il faut s'efforcer de s'affranchir des changements conjoncturels (par exemple suite à des " anomalies " dans la pluviosité de l'année), qui ont une influence sur le court terme (par exemple sur la gestion des troupeaux). On tentera de minimiser les résultats des variations intra-annuelles pour mieux apprécier les tendances évolutives inter-annuelles ou de séquences d'années successives. Il faut donc attacher une importance toute particulière aux échelles temporelles et en conséquence aux pas de temps des mesures et observations (PNUD, 1991).

Notion de seuils

Une fois les descripteurs (indicateurs potentiels) choisis, mesurés et testés statistiquement, il faut tenter de déterminer quels sont les paliers repérables – marquant les étapes d'une séquence dans l'évolution de la situation et la gravité des phénomènes. Cette dernière étape essentielle permettra de valider définitivement les descripteurs en tant qu'indicateurs.

En se référant aux systèmes d'alerte internationaux de sécurité alimentaire (*Early Warning Systems*) et en adaptant les concepts à la surveillance des phénomènes de désertification, il est possible de définir trois types d'indicateurs :

- indicateur d'alerte (*warning, alert*), signalant l'avancée du phénomène et la nécessité de le freiner. Dans ce cas, la restauration est privilégiée ;
- indicateur d'alarme (*alarm*), qui sous-tend que la restauration sera longue et/ou la réhabilitation coûteuse à mettre en œuvre ;

- indicateur d'urgence (*emergency*), dernier stade avant l'irréversibilité. Dans ce cas, la ré-affectation est préconisée.

Le concept de " seuil " dans les changements environnementaux est bien établi en écologie (Holling, 1973 ; Wissel, 1984 ; Le Floc'h et Aronson, 1995). Les auteurs rappellent que dans le cas de disparition de la cause de leur dégradation, la plupart des écosystèmes ne peuvent revenir à un état antérieur, lorsqu'ils ont franchi ne serait-ce qu'un de ces seuils. Il est donc essentiel dans le cas d'une étude portant sur les indicateurs écologiques de la désertification de tenter d'établir, pour les indicateurs choisis, les valeurs des " seuils de passage " d'un état de dégradation à l'autre, ainsi que le seuil d'irréversibilité.

L'approche de ROSELT/OSS, en tant que réseau de surveillance à long terme et à l'échelle locale, contribuera à mieux comprendre les causes et les effets de la désertification et à fournir des outils d'aide à la décision (indicateurs et simulations prospectives). Afin d'atteindre ces objectifs, une démarche conceptuelle d'élaboration des indicateurs de changements écologiques à long terme et de la désertification est proposée ci-après.

*
* *
* *

Vers la définition d'indicateurs écologiques ROSELT/OSS

La définition d'indicateurs des changements écologiques ROSELT/OSS nécessite la mise en œuvre d'une méthodologie adaptée à la surveillance à long terme des systèmes biophysiques et de leur interaction avec les systèmes socio-économiques. Deux approches concomitantes et complémentaires se doivent d'être mises en œuvre :

1. **la valorisation des acquis afin d'établir un référentiel par rapport au temps présent t_0 .** Cette phase de valorisation est essentielle : correctement réalisée, elle permet de gagner beaucoup de temps pour identifier et tester les indicateurs potentiels, issus de l'analyse des données anciennes confrontées aux données actuelles, récoltées dans des conditions compatibles (cf. ROSELT/OSS CT4, 2004 : « *Application des indicateurs écologiques de la dégradation des terres à l'observatoire de Menzel Habib* » ; Jauffret, 2001).
2. **la mise en place d'un dispositif de surveillance à long terme** pour étudier l'évolution et la dynamique des paysages et des systèmes écologiques dans le futur. Ceci requiert d'effectuer un échantillonnage adéquat et d'adopter des méthodes d'observation et de mesure harmonisées au sein du réseau (cf ROSELT/OSS CT1, 2, 8, 11 et 13 : guides méthodologiques).

Biodiversité, changements écologiques à long terme et désertification

Problématique

L'étude de la biodiversité *s.l.* peut être considérée comme une des voies privilégiées de caractérisation des changements écologiques à différents niveaux d'organisation (paysage, système écologique et espèce), au moyen d'un ensemble de descripteurs.

Il s'agit d'étudier la **dynamique de la biodiversité *s.l.*** et plus particulièrement de **la diversité végétale en réponse aux perturbations et aux stress (pressions)**. Cela nécessite d'aborder les différents niveaux hiérarchiques, de l'espèce aux paysages, en passant par les systèmes écologiques. Une des priorités est de caractériser la composition, la structure et le fonctionnement des systèmes écologiques.

La *composition* comprend l'identité des taxons ; elle s'exprime par la liste des espèces présentes ainsi que par l'évaluation de leur diversité ;

La *structure* est l'organisation physique d'un écosystème, de l'habitat à l'échelle des communautés, à l'organisation en tache de la mosaïque paysagère ;

Le *fonctionnement* inclut les processus écologiques et d'évolution, parmi lesquels le flux de gènes, les perturbations et les cycles des nutriments, mais également les fonctions de production, de reproduction/dissémination et de régulation... (Noss, 1990).

L'étude de la dynamique de la végétation et l'identification d'indicateurs de la dynamique au travers des caractéristiques des systèmes écologiques (composition, structure et fonctionnement) doit permettre de répondre aux questions suivantes :

- Quel est l'impact de la dégradation sur la diversité compositionnelle et structurale ? Diversité de la composition et des structures organisant la végétation : richesse spécifique (composition), diversité alpha et bêta, recouvrements végétaux, densité des espèces pérennes, patron d'organisation spatiale des pérennes.
- Quelles influences la dégradation a-t-elle sur la diversité fonctionnelle ?
 - Diversité des fonctions occupées au sein de l'écosystème : sol et fonctionnement hydrique, production biologique, réponses fonctionnelles des espèces aux stress et aux perturbations, etc.
- La diversité des paysages est-elle affectée par la dégradation et, si oui, comment ?
 - Diversité des paysages en mosaïques dans l'espace et/ou dans le temps : dynamique de la végétation à l'échelle d'un paysage, types d'occupation des terres, hétérogénéité spatio-temporelle, etc.
- Comment cela se traduit-il dans la dynamique des systèmes écologiques et leurs caractéristiques ?

Il importe alors d'effectuer un choix pertinent et justifié de **descripteurs écologiques** (indicateurs potentiels) descriptifs de la composition, de la structure et du fonctionnement des systèmes qui peuvent, par la suite, servir d'**indicateurs d'état et de changement d'état**. À cette analyse descriptive des systèmes écologiques, une analyse des **caractéristiques biologiques** propres aux espèces permet d'approfondir le diagnostic.

Par ailleurs, le recours aux outils de traitement de l'information spatiale (SIG : Système d'Information Géographique et ses différentes " couches d'information géoréférencées ", images satellitaires) permet d'évaluer la **dynamique des systèmes écologiques et des paysages**, en confrontant les données actuelles aux données antérieures (données historiques).

Ces variables dites “ **indicateurs - images** ” (Long *et al.*, 1978), issues du traitement des images satellitaires, doivent être identifiées de manière à traduire : (1) la **dynamique des paysages** en référence à leur hétérogénéité spatiale ; (2) la “ **vérité-terrain** ” à un moment donné grâce à la confrontation des deux types de données (celles issues du traitement du signal spectral et celles issues des relevés de terrain) et (3) les **processus d'évolution** en étudiant des séries chronologiques d'images, traitées, permettant l'obtention de “ cartes ” thématiques (sol, végétation...), validées par les observations de terrain au moins à deux dates correspondant aux extremums saisonniers (de manière à prendre en compte, lors de l'interprétation, la phénologie des espèces annuelles qui marquent de leur empreinte les signatures spectrales).

En conclusion, il faut **juger de la fiabilité et de la pertinence pour chaque type d'indicateur potentiel**, au travers d'analyses robustes (statistiques, modélisation), avant d'identifier lesquels sont les plus aptes à traduire les processus d'évolution aux différentes échelles considérées (espèce, système écologique et paysage) et de définir le “ kit minimum de données observatoire ” et le “ kit minimum de données réseau ”.

Des indicateurs pour chaque niveau d'organisation

Dans la nature, les processus écologiques peuvent être observés à différents niveaux d'organisation : le **paysage**, le **système écologique** ou l'**espèce**, voire le gène (Noss, 1990). L'accent sera mis ici sur l'étude des indicateurs relatifs à la flore et aux phytocénoses, excepté le niveau génétique.

Afin de caractériser les changements à long terme, depuis l'espèce et le système écologique au paysage écologique, de nombreux descripteurs peuvent être utilisés. Il est d'ailleurs possible de les classer en trois catégories essentielles selon qu'ils se réfèrent à la composition, à la structure ou au fonctionnement de l'écosystème (Franklin *et al.*, 1981).

Il est bien évident que les trois catégories de descripteurs (indicateurs potentiels) ne sont pas indépendantes les unes des autres mais au contraire qu'elles sont interconnectées dans la nature. Il a été choisi d'aborder les différents niveaux d'organisation du général au particulier (excepté le niveau génétique) et de les caractériser à l'aide de divers descripteurs (composition, structure et fonctionnement) et d'identifier les techniques d'inventaire et les outils du suivi.

LE PAYSAGE

Le paysage est considéré comme la résultante observable à un moment donné de deux séries de facteurs en interaction : les uns liés aux caractéristiques géo-biophysiques, les autres aux pratiques d'utilisation de l'espace et des ressources (ROSELT/OSS DS2 et DS3, 2004) :

- la **composition** du paysage requiert une approche typologique de terrain (ex : identification typologique des formes de terrain ;

identification des formations végétales dominantes, identification des différents types d'usages).

- La **structure** du paysage peut être inventoriée et suivie grâce aux photographies aériennes et aux images satellitaires, puis les données collectées organisées dans un système d'information géographique (SIG). L'analyse des séries chronologiques de données télédéteectées et les calculs d'indice s'avèrent être de puissantes techniques autorisant la surveillance des changements et de leur modélisation (modélisation de l'évolution des proportions d'état de surface élémentaires déteectées au cours du temps).
- Le **fonctionnement** du paysage peut être approché en portant une attention particulière aux processus de " perturbation – restauration " et aux flux et échanges de matière (cycles biogéochimiques, hydrologiques...) grâce à la modélisation (des flux, de la dynamique des populations végétales, etc.).

LE SYSTÈME ÉCOLOGIQUE

Le système écologique est défini le plus simplement comme l'unité qui tient compte à la fois du climat, de la végétation, du sol et du type d'utilisation du sol (Floret *et al.*, 1978). Il s'agit de caractériser à cette échelle :

- La **composition** : richesse spécifique, diversité, types biologiques et leurs proportions...
- La **structure** : stratification horizontale et verticale, recouvrement, phytomasse, densité des espèces pérennes...
- Le **fonctionnement** : conditions biotiques et abiotiques du sol (fertilité, disponibilité en eau, stock de graines, faune...).

Le recours aux mesures écologiques *in situ*, couplées à l'utilisation d'outils de spatialisation (télédétection, SIG et modélisation) est nécessaire pour la récolte, l'organisation et la comparaison des données écologiques.

L'ESPÈCE

Les espèces sont particulièrement intéressantes puisqu'elles indiquent la structure des populations, reflètent par leur présence les conditions écologiques stationnelles mais traduisent aussi biologiquement par leur réponse les effets des perturbations (fonctionnement).

Il s'agit ici d'identifier des états (espèces menacées, rares, endémiques...), mais aussi des stratégies (types biologiques, groupes fonctionnels...) en réponse aux pressions diverses (conditions biotiques et abiotiques du milieu, pression anthropique) qui s'y exercent.

Là encore les mesures écologiques *in situ* sont indispensables et certaines données peuvent faire l'objet de cartographie et de modélisation favorisant l'inventaire et le suivi et permettant d'établir des scénarios prospectifs.

Une méthodologie ROSELT/OSS

Études diachroniques et synchroniques : de l'échelle de l'observatoire à celle du réseau

Deux types de données sont distingués dans ROSELT/OSS :

- les données de surveillance (*monitoring data*) : c'est l'ensemble des données issues de la collecte continue et permanente de données journalières à annuelles (ex : mesure journalière des données climatiques) ;
- les données de diagnostic (*diagnosis data*) : c'est l'ensemble des données issues de la collecte discontinue (ponctuelle), à des pas de temps répétés (quatre, cinq, dix ans...). Ces données servent, par exemple, à actualiser les COT (cartes d'occupation des terres) ou encore à la construction des Unités Spatiales de Références ou USR (ROSELT/OSS DS3, 2004 ; cf. p. 40).

L'étude de l'ensemble des données est indispensable et les corrélations sont à rechercher (ex : production primaire/pluviométrie annuelle).

Les données historiques peuvent aussi être scindées en deux groupes :

- les données circonstanciées (géoréférencées, ayant une indication de la date d'observation et de la méthode de mesure) ; celles-ci sont directement utilisables pour les traitements statistiques (comparaison de l'évolution dans le temps du descripteur étudié) ;
- les données dites " de connaissance " (non circonstanciées), mais qui permettent d'avoir une connaissance qualitative supplémentaire sur l'observatoire.

Compte tenu de la qualité et du nombre des informations déjà disponibles dans les observatoires ROSELT/OSS, la première étape est de rassembler, de valider et d'utiliser cet acquis afin d'établir un diagnostic de référence du territoire de chaque observatoire au temps t_0 , permettant la mise en place du dispositif permanent et harmonisé d'échantillonnage et de collecte des données.

Les séries de données validées doivent être valorisées sous forme d'indicateurs pertinents (forces motrices, pressions, état et changement d'état, impact, réponses des écosystèmes et des sociétés) des changements à long terme dans les zones arides et semi-arides circum-sahariennes.

La valorisation de ces deux types de données peut emprunter deux voies complémentaires.

Les études diachroniques

Lors d'une **étude diachronique**, il s'agit de faire varier le facteur temps sur un même espace. C'est le mode qui correspond à la surveillance ou *monitoring*. Cette démarche s'applique aux séries de données historiques identifiées et validées. L'identification des données constitue la première phase lors de ce travail. En effet, il s'agit de rassembler l'ensemble des données de tout type ayant été récoltées par le passé (données brutes ou élaborées, documents, études) afin d'asseoir les bases d'une comparaison avec des données identiques récoltées pour le présent. Ces données brutes ou élaborées sont typiquement :

- les données climatiques : pluviométrie, température ;
- les données floristiques des relevés phyto-sociologiques ou phyto-écologiques ;
- les relevés faunistiques ;
- les données issues de mesures quantitatives (recouvrement, biomasse, densité...) ;
- les cartes : géomorphologique, pédologique, d'occupation des terres (*land cover*), d'intensité de l'utilisation de l'espace et des ressources par type d'usage (*land use*).

La validation de telles données historiques est cependant délicate puisqu'une donnée historique valide doit être géoréférencée donc localisée, datée (date des observations) et la méthode de récolte des données précisée. L'un des problèmes de comparaison réside souvent dans la variabilité des méthodes de récolte des données rendant difficiles les comparaisons. Finalement, il est nécessaire d'extraire les données réellement exploitables.

Ce type d'étude est indispensable puisque la démarche diachronique « passée » peut considérablement accélérer l'identification des indicateurs pertinents et la définition des séries de données à mesurer dans le cadre de la surveillance ROSELT/OSS à long terme (ROSELT/OSS DS2 et CT4, 2004).

Les études synchroniques

Entreprendre une **étude synchronique**, c'est comparer à un moment donné des espaces choisis en fonction de la variation d'un facteur de la désertification bien identifié, en veillant que la majorité des autres facteurs soient comparables. Ces études favorisent donc les comparaisons d'un facteur (couvert végétal, pourcentage de sable, par exemple) le long d'un gradient environnemental (gradient pluviométrique, gradient d'usage, gradient édaphique témoignant des phénomènes d'érosion ou d'ensablement...). Cette démarche peut être appliquée à l'échelle de l'observatoire et conduit à l'élaboration d'indicateurs à valeur locale. Elle peut être confrontée par la comparaison de différents observatoires à l'échelle sous-régionale, voire régionale au sein du réseau (cf. ROSELT/OSS CT9, 2004).

Le **tableau 3** présente un récapitulatif des études diachroniques et synchroniques qui peuvent être entreprises aux différents niveaux d'organisation hiérarchique (paysage, système écologique et espèce) à l'échelle de l'observatoire (localement) et entre les différents observatoires (en réseau). Cette démarche permettra d'établir un système de référence et un système d'observation à long terme.

Tableau 3 : Des études diachroniques et synchroniques pour établir un système de référence et un système d'observation à long terme.

	ÉTUDE DIACHRONIQUE	ÉTUDE SYNCHRONIQUE
Paysage écologique		
Localement	Comparer l'évolution d'un observatoire au cours du temps.	Analyse de la diversité du paysage au temps t.
En réseau	Comparer l'évolution d'un groupe d'observatoires au cours du temps.	Comparer entre eux plusieurs observatoires du réseau au temps t.
Système écologique (" station ")		
Localement	Comparer l'évolution des caractéristiques d'un système écologique au cours du temps.	Comparer l'évolution des caractéristiques des systèmes écologiques le long de gradients environnementaux au temps t.
En réseau	Définir les tendances évolutives des caractéristiques des systèmes écologiques d'un groupe d'observatoires au cours du temps.	Comparer les caractéristiques des systèmes écologiques d'un groupe d'observatoires au temps t.
Espèce (faune/flore)		
Localement	Comparer l'évolution de la composition en espèces au cours du temps.	Comparer l'évolution de la composition en espèces le long de gradients environnementaux au temps t.
En réseau	Comparer l'évolution de la composition en espèces d'un groupe d'observatoires au cours du temps.	Comparer l'évolution de la composition en espèces d'un groupe d'observatoires au temps t.

Définir une stratégie d'échantillonnage standardisée pour mettre en place un dispositif de surveillance

La mise en place d'un dispositif de surveillance basé sur un échantillonnage pertinent, au niveau de chaque observatoire, a plusieurs objectifs :

1. recueillir des données à un instant t_0 sur plusieurs stations afin de comparer à ce temps t_0 l'évolution des variables sur ces stations (étude synchronique) ;
2. établir les fondements d'une surveillance à long terme en installant des stations permanentes de recueil des données (étude diachronique). Basée sur les résultats de l'étude diachronique (cf. comparaison du passé et du présent) et de l'identification de données pertinentes pour la surveillance écologique à long terme, la récolte de ces séries de données de nos jours et dans les années à venir permettra d'asseoir les bases de la surveillance écologique à long terme.

Caractérisation initiale de la zone d'étude

La première étape consiste à **caractériser la zone d'étude** afin de préparer l'étude de terrain et la stratification de l'échantillonnage des points d'observation (stations).

Elle repose essentiellement sur :

1. La valorisation de données historiques à partir des données bibliographiques :
 - **cartographies thématiques disponibles** : pédo-géomorphologique, végétation, occupation des terres, utilisation des sols, infrastructures liées à la population (villages, lieux-dits, pistes...), foncier...
 - **documents bibliographiques** : contexte biogéographique, règles foncières, climat, hydrologie, histoire des populations (ethnies, tribus...), milieu biologique.
2. L'élaboration d'une cartographie actuelle de base :
 - **cartographie de l'occupation des terres** caractérisée par la combinaison des recouvrements et hauteurs de différentes strates de végétation (structure de la végétation : herbacée, ligneuse basse, ligneuse haute), l'identification des espèces dominantes dans chacune des strates, enfin le degré d'artificialisation défini au niveau de précision requis (cf. Long, 1974 ; ROSELT/OSS, 1995 ; DS1 et CT13, 2004).

Cette cartographie initiale permet de fournir :

- * un cadre d'échantillonnage pour des analyses plus précises sur la composition, la structure, le fonctionnement et la production des systèmes biophysiques (échantillonnage écologique) ;

- * une première analyse de l'hétérogénéité spatiale et de la fragmentation paysagère sous l'influence de l'artificialisation des milieux ;
- * une mise en relation des paramètres structurels élémentaires (recouvrements par strate) avec les données de la télédétection satellitaire.

- **cartographie de l'extension des cultures** : utilisation des couvertures aériennes du site (autant de dates que possible) pour une analyse historique.

3. Une série d'enquêtes pour :

- l'inventaire de la population actuelle (recensement et répartition ethnique) ;
- l'analyse historique du peuplement de la zone (ancienneté d'installation des villages, origines...) ;
- l'identification des principaux systèmes de production et, par voie de conséquence, des unités de pratiques (d'exploitation) homogènes structurant le territoire de l'observatoire.

Un échantillonnage stratifié

L'échantillonnage doit être effectué aux *différents niveaux d'organisation*. En effet, les données recensées et les relations mises en évidence entre la végétation et le milieu ne sont pas de même nature, qualitativement et quantitativement, suivant les " échelles " (ici, niveau d'organisation) auxquelles on les examine, pour une zone d'étude donnée.

La précision du repérage et l'adaptation des observations en vue de leur utilisation en télédétection sont essentielles (Escadafal et Pouget, 1986 ; Manière, 1987) ; c'est aussi le cas pour les données socio-économiques. Ceci permet un travail aller-retour constant entre le terrain (données écologiques et socio-économiques et leurs interactions) et les données satellitaires.

Il s'agit d'effectuer un échantillonnage emboîté satisfaisant les besoins de données caractérisant les systèmes biophysiques et socio-économiques :

- un échantillonnage au niveau du paysage ;
- un échantillonnage au niveau des systèmes écologiques et des espèces qui les caractérisent.

Les observations doivent être effectuées aux trois niveaux d'organisation (paysage, système écologique et espèce) afin d'identifier des zones de changements, chaque niveau correspondant à une échelle d'observation et à une série de mesures.

Échantillonnage au niveau du paysage

ROSELT/OSS propose un double échantillonnage préliminaire. Dans un premier temps, il s'agit de :

1. **délimiter les Unités Paysagères (UP)**. Ce découpage est fondé sur des paramètres physiques (géo-morpho-pédologiques), biogéographiques et sur l'utilisation visible des sols (cf. ROSELT/OSS CT13, 2004) ;
2. positionner une **première série de stations** (dont celles déjà existantes).

Dès que possible, un échantillonnage géographique complémentaire, couplé à un échantillonnage par type d'exploitation doit aboutir à l'obtention d'**Unités de Pratiques homogènes Combinées (UPC)** grâce à des modèles de fonctionnement traduisant la nature, l'intensité et la répartition spatiale des pratiques appliquées par les populations sur leur espace (ROSELT/OSS DS2 et DS3, 2004).

Échantillonnage aux niveaux système écologique et espèce

L'intersection entre les UP et les UPC permet l'obtention d'**Unités Spatiales de Références (USR)** permettant d'ajuster l'échantillonnage (ajouter et/ou retrancher des stations) en fonction de la problématique scientifique posée. C'est sur ces USR que seront positionnées définitivement les stations permanentes de mesures, représentatives du (*en* « référence » *au...*) fonctionnement écologique et socio-économique de l'observatoire (au besoin en repositionnant certaines stations de mesures actuelles dans le dispositif et en le complétant ultérieurement).

Choix d'un ensemble de stations permanentes

Dans tout dispositif de surveillance à long terme, il est indispensable d'avoir un "**écosystème de référence**" (*norme permettant de comparer et d'évaluer l'état d'un écosystème donné à son (ou ses) état(s) antérieur(s) servant de référence ; Aronson et al., 1993*) et un ensemble de stations que l'on puisse classer dans une hiérarchie de degrés, supposés croissants, de pression anthropique (surpâturage, mise en culture) par exemple. La comparaison des stations entre elles selon une approche synchronique est en outre facilitée lorsque les stations sont situées le long de gradients environnementaux.

Se basant sur le découpage de la zone d'étude en USR, des prospections de terrain doivent être menées et des fiches descriptives des milieux (fiches phyto-écologiques) établies afin d'élaborer une grille d'évaluation guidant le choix futur des stations permanentes de récolte des données, y incluant les stations permanentes éventuellement déjà installées et les stations complémentaires nécessaires au dispositif. Un choix restreint de stations-tests (représentatives des interactions usages/ressources de la zone d'étude) doit être retenu, en veillant à l'homogénéité des placettes ou stations écologiques.

Par définition, une station écologique est « *une surface où les conditions écologiques sont homogènes et où la végétation est uniforme* » et « *une station est homogène lorsque chaque espèce peut y trouver des conditions de vie équivalentes d'une extrémité à l'autre... et dans toute son étendue* » (Godron et al., 1968).

Bien entendu chaque station présente un niveau de micro-hétérogénéité lié, en particulier, au mode de répartition des états de surface élémentaires (ex: voile éolien, végétation, sol nu...) au pied et entre les touffes des végétaux buissonnants (patron grégaire ou diffus...).

En outre, il faut veiller à avoir une **bonne représentation des différentes classes de variables** et avoir pour chaque situation **au moins cinq répétitions** permettant ainsi les analyses statistiques. Des adaptations peuvent aussi être réalisées au cours du temps, lorsqu'on observe un changement évident, soit dans le sens d'une reconstitution du couvert végétal soit dans le sens d'une dégradation. Les données obtenues n'étant pas des valeurs absolues, il faut donc les comparer et pour cela avoir une référence (nécessité d'avoir des dispositifs comparatifs contrôlés pour des analyses diachroniques récurrentes sur des stations permanentes).

Recueil des données (observation et mesures à effectuer)

Chaque station permanente doit faire l'objet d'un repérage précis grâce à un GPS (*Global Positioning System*) de manière à reporter les coordonnées géographiques de chacune d'elle sur les cartes, sur les images satellitaires géoréférencées disponibles et les intégrer dans un SIG (Système d'Information Géographique). Il est nécessaire de revenir au point, de manière la plus précise que possible (des repères sur le terrain peuvent être disposés ou des repérages pris par rapport à la distance de points fixes, points d'eau par exemple, et suivant les directions données par les points cardinaux), afin d'assurer la pérennité du dispositif de surveillance à long terme.

Une liste type des observations et des mesures qui peuvent être effectuées (liste non exhaustive, susceptible d'être complétée/modifiée en fonction des questions spécifiques qui se poseront pour tel ou tel observatoire), afin de collecter des données qui seront ensuite traitées pour alimenter la batterie de descripteurs et/ou d'indicateurs écologiques de la désertification, a été proposée dès 1995 (cf. ROSELT/OSS DS1 et CT1, 2004) :

1. relevé de la liste des espèces végétales présentes : composition floristique, par strate de végétation ;
2. mesure du recouvrement des espèces (méthode des points-quadrats, interception sur lignes de segments consécutifs...), pour chaque strate de végétation ; la méthode des points-quadrats permet d'établir, dans certaines conditions, des corrélations avec les phytomasses ;
3. estimation ou mesure (coupe et récolte ; détermination du poids de matière sèche) des diverses catégories de phytomasses (phytomasse ligneuse sur pied, phytomasse herbacée des pérennes ou des annuelles...) ;

4. détermination de la densité de certaines espèces – clés (arbres, arbustes, herbacées pérennes) : nombre d'individus par unité de surface ;
5. identification des différents constituants de la surface du sol (états de surface) et mesure de l'importance relative de leur recouvrement : cela revient à indiquer les proportions des états de surface caractérisés par les catégories suivantes : végétation, litière, terre nue, gravillons et graviers, cailloux, affleurement de croûtes ou de cuirasses, affleurement de roche mère dure, accumulations sableuses, pellicule de battance...(cf. ROSELT/OSS CT11, 2004) ;
6. détermination de la profondeur de la couche meuble du sol, jugée exploitable par les systèmes souterrains des végétaux, et apte à sauvegarder la réserve hydrique utile du sol ;
7. établissement des profils hydriques caractéristiques des différents substrats correspondant aux unités de végétation (spontanée ou cultivée) échantillonnées ;
8. établissement des profils trophiques (fertilité) caractéristiques des différents substrats correspondant aux unités de végétation (spontanée ou cultivée) échantillonnées ;
9. détermination des paramètres caractéristiques de dysfonctionnements édaphiques (mouvement de sables à la surface ; salinisation ; engorgement...).

L'ensemble des mesures phyto-écologiques sont décrites dans les guides méthodologiques de la collection technique ROSELT/OSS. Il faut souligner la nécessité de collecter systématiquement et de manière répétée dans le temps de telles données (pas de temps à définir pour chaque descripteur). Cette procédure permettra le traitement des données et leur traduction en termes d'indicateurs écologiques des changements à long terme et en particulier de la désertification.

Traitement des données

Les traitements de chaque type de données peuvent être soit des analyses statistiques, soit des traitements spécifiques aux données spatiales (traitements classiques proposés dans les SIG, modélisation). Si ces traitements permettent de mettre en évidence des différences (spatiales, temporelles) significatives, alors ce type de donnée pourra être considéré comme une donnée essentielle à récolter. Pour le détail des analyses statistiques effectuées sur les données écologiques principales, on se référera au document ROSELT/OSS CT14 (2004) : « *fiches techniques pour la construction d'indicateurs écologiques de la désertification* ».

*

* *

Bibliographie

- ARONSON J., FLORET Ch., LE FLOC'H É., OVALLE C., PONTANIER R., 1993** – Restoration and rehabilitation of degraded ecosystems in arid and semi-arid lands. 1 : A view from the south. *Restoration Ecology*, 1 : 8-17.
- ARONSON J., FLORET Ch., LE FLOC'H É., OVALLE C., PONTANIER R., 1995** – « Restauration et réhabilitation des écosystèmes dégradés en zones arides et semi-arides. Le vocabulaire et les concepts ». In : Pontanier R., M'Hiri A., Akrimi N., Aronson J. et Le Floc'h É. (éds.) : *L'homme peut-il refaire ce qu'il a défait ?*, John Libbey Eurotext, Paris : 11-29.
- BARBAULT R. and HOCHBERG M., 1992** – Population and community level approaches to studying biodiversity in international research programs. *Acta Oecologica*, 13 (1) : 137-146.
- BELLAN G., 1984** – Indicateurs et indices biologiques dans le domaine marin. *Bulletin d'Écologie*, 15 (1) : 13-20.
- BLANDIN P. et LAMOTTE M., 1988** – Recherche d'une entité écologique correspondant à l'étude des paysages : la notion d'écocomplexe. *Bulletin d'Écologie*, 19 (4) : 547-555.
- CASTRI F. di, 1996** – *La biodiversité. Rapport mondial sur la science*. UNESCO (éd.), Paris : 253-263.
- CASTRI F. di and YOUNES T., (ed.), 1990** – Ecosystem function of diversity. *Biology International*, issue 22, IUBS, Paris.
- CNUED, 1992** – *Rapport sur la conférence des Nations Unies sur l'environnement et le développement*. Rio, Agenda 21, traduction ministère de l'environnement (français), 344 p.
- CORNET A., 2000** – *La désertification : un problème d'environnement, un problème de développement*. Conférence invitée, La Londe-les-Maures, France.
- DREGNE H.E., 1977** – La désertification aux États-Unis d'Amérique. *Nature et ressources*, 13 : 11-14.
- EHRlich P.R. and EHRlich A.H., 1981** – *Extinction : the causes and consequences of the disappearance of species*. New York, Random House.
- ER RIHANI A.T. and MÜLLER-HOHENSTEIN K., 1989** – *Resource conservation and desertification control in the near east*. Report of the international training course, 27 juillet – 24 août 1988 in Feldafing Federal Republic of Germany and Kingdom of Jordan by Dipl. Geogr. Dieter Rappenhöner. Bayreuth, 163 p.
- ESCADAFAL R. et POUGET M., 1986** – Luminance spectrale et caractères de la surface des sols en région aride méditerranéenne (sud Tunisien). *ITC Journal*, 1 : 19-23.
- EVENARI M., SCHULZE E.D., KAPPEN L., BUSCHBOM V., LANGE O.L., 1975** – « Adaptive mechanism in desert plants ». In : Vernberg F.J. (ed.) : *Physiological Adaptation to the Environments* : 111-129.

FALISSARD B., 1998 – *Comprendre et utiliser les statistiques dans les sciences de la vie*. Coll. Évaluation et Statistique. Masson, Paris, 332 p.

FLORET Ch., LE FLOC'H É., PONTANIER R., ROMANE F., 1978 – *Modèle écologique régional en vue de la planification et de l'aménagement agro-pastoral des régions arides. Application à la région de Zougrata*. Inst. Rég. Arides – Médenine, Dir. Ress. Eau et Sols Tunis, CEPE/CNRS Montpellier et ORSTOM - Paris, 74 p.

FRANKLIN J.F., CROMACK K., DENISON W. et al., 1981 – *Ecological characteristics of old-growth Douglas-fir forests*. USDA Forest Service General Technical Report PNW-118. Pacific North-West Forest and Range Experiment Station, Portland, Oregon.

GODRON M., DAGET Ph., EMBERGER L., LE FLOC'H É., LONG G., POISSONET J., SAUVAGE Ch., WACQUANT J.-P., 1968 – *Code pour le relevé méthodique de la végétation et du milieu*. Éditions du CNRS, Paris, 292 p.

GRIME J.-P., 1977 – Evidence for the existence of three primary strategies in plants and its relevance to ecological and evolutionary theory. *American Naturalist*, 111 : 1169-1194.

GUELORGET O. et PERTHUISOT J.-P., 1984 – Indicateurs biologiques et diagnose écologique dans le domaine paralytique. *Bulletin d'Écologie*, 15 (1) : 67-76.

HAMMOND A., ADRIAANSE A. et al., 1995 – *Environmental indicators : a systematic approach to measuring and reporting on environmental policy performance in the context on sustainable development*. World Resources Institute, Washington D.C.

HOBBS R.J., GROVES R., HOPPER S.D., LAMBECK R.J., LAMONT B.B., LAVOREL S., MAIN A.R., MAJER J.D., SAUNDERS D.A., 1995 – Function of biodiversity in mediterranean ecosystems in Australia. In : Davis G.W. and Richardson D.M. (eds.) : *The function of biodiversity in mediterranean ecosystems*, Springer Verlag, : 233-284.

HOLLING C.S., 1973 – Resilience and stability of ecological systems. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 41 : 1-23.

JAUFFRET S., 2001 – *Validation et comparaison de divers indicateurs des changements à long terme dans les écosystèmes méditerranéens arides. Application au suivi de la désertification dans le Sud tunisien*. PhD, Faculté des Sciences et Techniques de St-Jérôme, Université d'Aix-Marseille III, Marseille, France, 365 p.

JAUFFRET S. et VELA E., 2000 – « Passé, présent et devenir des paysages pastoraux au sud et au nord de la Méditerranée. L'exemple du Sud tunisien et du Sud-Est français ». In : *Population rurale et environnement en contexte bioclimatique méditerranéenne*, actes du Séminaire International Medenpop 2000, 25-28 octobre 2000, Jerba, Tunisie.

JOHNSON K.H., VOGT K.A., CLARK H.J., SCHMITZ O.J., VOGT D.J., 1996 – Biodiversity and the productivity and stability of ecosystems. *TREE*, 11 : 372-377.

LAVOUX T. et RÉCHATIN C., 1998 – « Les indicateurs d'environnement : outils d'évaluation et de politique ». In : *Surveillance de l'environnement. Stratégies et bon usage de la mesure*. Les Cahiers des Clubs Crin, Club Crin " Environnement ", Paris : 165-178.

LEBRUN P., 1981 – « L'usage des bio-indicateurs dans le diagnostic sur la qualité du milieu de vie ». In : *Écologie appliquée : indicateurs biologiques et techniques d'études*, journées d'études, Grenoble, 13-14 novembre 1980, Association Française des Ingénieurs Écologues, Mainvilliers : 175-202.

LEFEUVRE J.-C., 1983 – « Avant-propos ». In : *Réflexions sur la notion d'indicateurs biologiques*, Unité d'Écodéveloppement, INRA-SAD : 1-3.

LE FLOC'H É. et ARONSON J., 1995 – Écologie de la restauration. Définition de quelques concept de base. *Natures-Sciences-Sociétés*, hors série : 29-35.

LOIREAU M., 1998. – *Espaces-Ressources-Usages : spatialisation des interactions dynamiques entre les systèmes sociaux et les systèmes écologiques au Sahel nigérien*. Thèse Doct. Géog. Univ. Montpellier III-Paul Valéry, 411 p.

LONG G., 1974 – *Diagnostic phyto-écologique et aménagement du territoire. Tome premier : principes généraux et méthodes*. Masson et Cie, Paris, 232 p.

LONG G., LE FLOC'H É., PONTANIER R., DEBUSSCHE G., LACAZE B., 1978 – *Contribution à l'analyse écologique des zones arides de Tunisie avec l'aide des données de la télédétection spatiale*. Expérience ARZOTU, rapport final 1975-1978. CEPE/CNRS Montpellier, CNES, INRAT Tunis et ORSTOM – Paris, 222 p.

LUBCHENCO J., OLSON A.M., BRUTAKER L.B., CARPENTER S.R., HOLLAND M.M., HUBBELL S.P., LEVIN S.A., MacMAHON J.A., MATSON P.A., MELILLO J.M., MOONEY H.A., PETERSON J.H., PULLIAM H.R., REAL L.A., REGAL P.J., RISSER P.G., 1991 – The sustainable biosphere initiative : an ecological research agenda. *Ecology*, 72 (2) : 371-412.

MANIERE R., 1987 – *Télédétection spatiale et aéroportée et systèmes d'informations géocodés sur l'environnement. Principe de base et étude de quelques domaines d'application*. Thèse Doct. Sc., Univ. Aix-Marseille III, 1 vol. multigr., 260 p.

MENDIZABAL T., 1998 – *Comments of the methodology for determining impact indicators. Indicators for assessing desertification in the Mediterranean*. Actes du Séminaire International de Porto Torres, Italie, 18-20 septembre 1998, Nucleo Ricerca Desertificazione Università di Sassari : 1-4.

MILTON S.J., DEAN W.R.J., du Plessis M.A., SIEGFRIED W.R., 1994 – A conceptual model of arid rangeland degradation. The escalation cost of declining productivity. *Bioscience*, 44 (2) : 70-76.

MOLFETAS S. et BLANDIN P., 1981 – « Quelques éléments de réflexions sur la notion d'indicateur biologique ». In : *Écologie appliquée : indicateurs biologiques et techniques d'études*, journées d'études, Grenoble, 13-14 novembre 1980, Association Française des Ingénieurs Écologues, Mainvilliers : 167-173.

NOSS R.F., 1990 – Indicators for monitoring biodiversity : a hierarchical approach. *Conservation Biology*, 4 (4) : 353-364.

OCDE, 1994 – *Indicateurs d'environnement. Corps central de l'OCDE*. Paris, 159 p.

OSS, CILSS, Club du Sahel, UNESCO, 1997 – *Impact indicators and monitoring-evaluation for action programmes to combat desertification. Element for a pragmatic approach*. Paris, juillet 1997, 27 p.

PICKETT S.T.A. and WHITE P. (eds), 1985 – *The ecology of natural disturbances and patch dynamics*. Academic Press, New York, USA.

PIMM S.L., 1991 – *The balance of nature ?* University of Chicago Press, Chicago, USA.

PNUD, Ministère de l'agriculture de Tunisie (Direction des Sols), 1991 – *Étude de l'impact des actions de développement et de la lutte contre la désertification*. Rapport final du projet TUN/88/004.

ROSELT/OSS, 1995 – *Conception, organisation et mise en œuvre de ROSELT/OSS*. 69 p. + annexes.

ROSELT/OSS, 2001 – *Organisation, fonctionnement et méthodes de ROSELT/OSS*. Septembre 2001, 45 p.

SOLBRIG O.T., 1991 – Biodiversity. Scientific issues and collaborative research proposals. *MAB Digest* 9, Paris, UNESCO, 77 p.

STEFFEN W.L., WALKER B.H., INGRAM J.S.I., KOCK G.W., 1992 – *Global Change and Terrestrial Ecosystems : the operational plan*. IGBP report n°21.

WALKER B.H., 1995 – Conserving biological diversity through ecosystem resilience. *Conservation Biology*, 9 : 747-752.

WILSON E.O., 1988 – *Biodiversity*. National Academy Press, Washington D.C., USA.

WISSEL C., 1984 – A universal law of the characteristic return time near thresholds. *Oecologia*, 65 : 101-107.

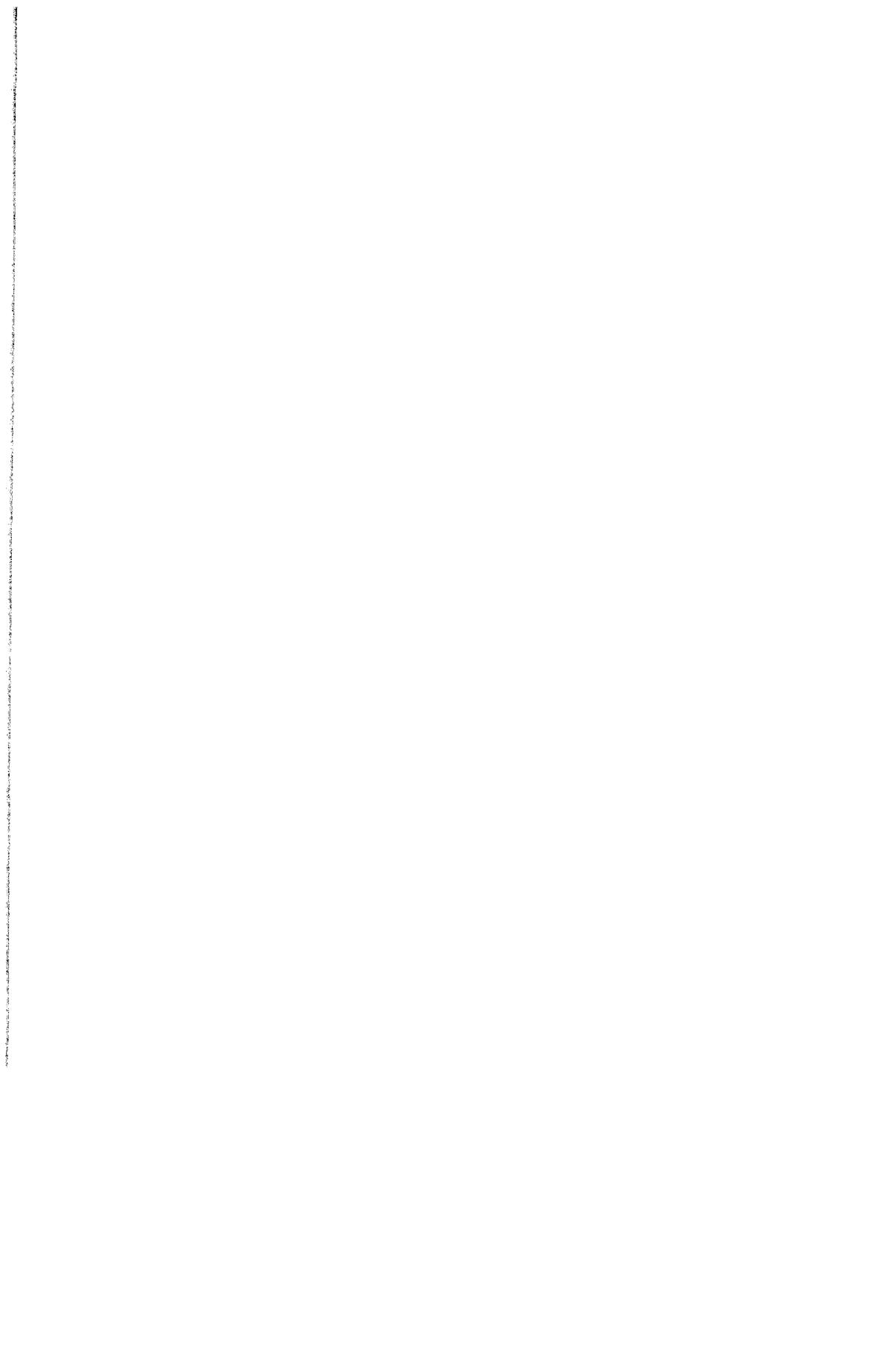
TABLE DES ILLUSTRATIONS

Figures

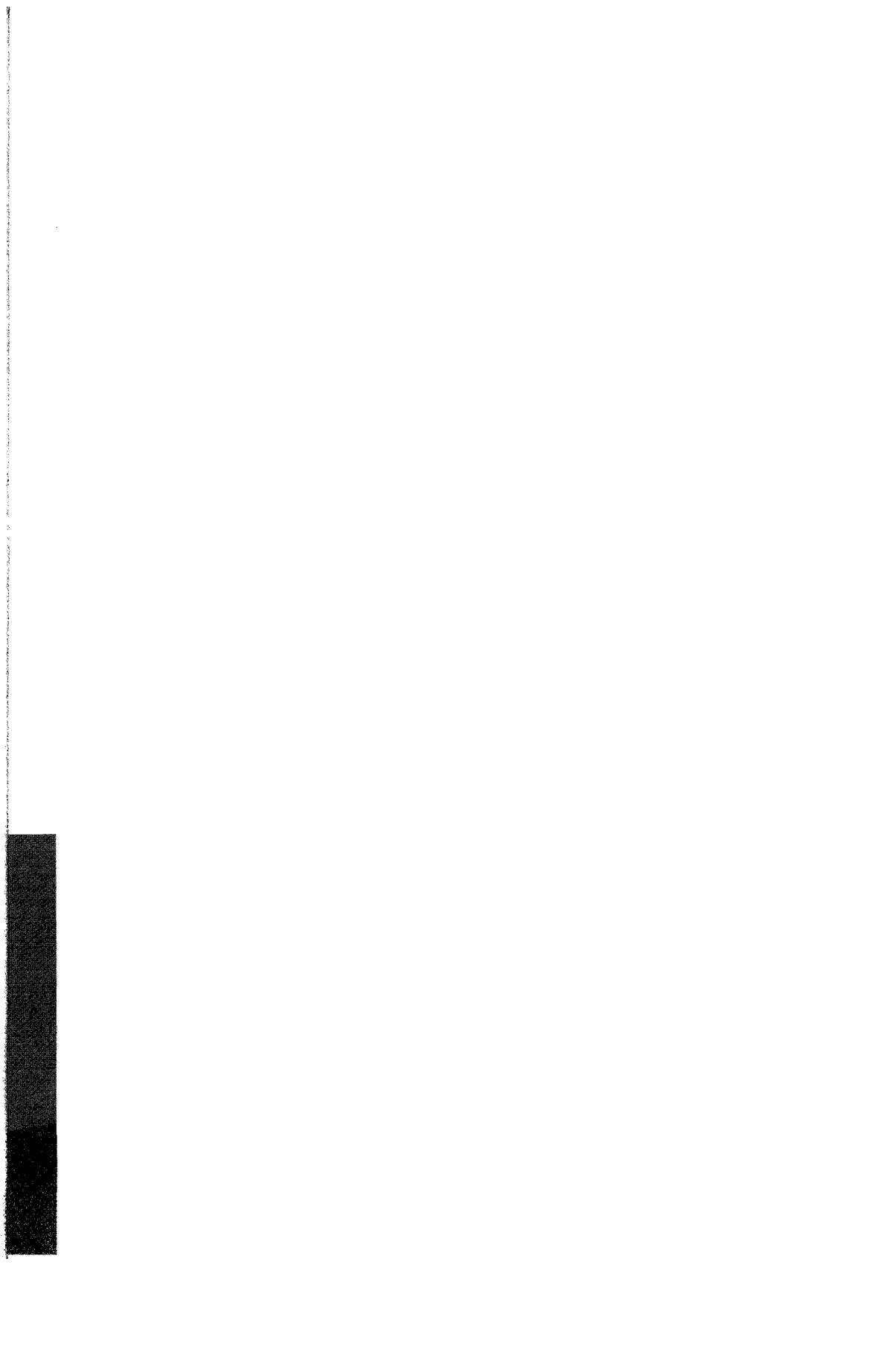
Figure 1 : Trois composantes pour comprendre les changements écologiques à long terme.	9
Figure 2 : Dégradation des écosystèmes, restauration, réhabilitation et ré-affectation.	12
Figure 3 : Modèle Pressions – États – Impact – Réponses.	20
Figure 4 : Nature et usages des indicateurs environnementaux.	20
Figure 5 : Modèle Forces motrices – Pressions – États – Impact – Réponses.	25

Tableaux

Tableau 1 : Exemple d'indicateurs de l'OCDE par thème d'environnement.	21
Tableau 2 : Indicateurs de la CSD par thème environnemental.	24
Tableau 3 : Des études diachroniques et synchroniques pour établir un système de référence et un système d'observation à long terme.	39



ANNEXES



Annexe 1 : Biodiversité animale et végétale dans les zones arides et semi-arides circum-sahariennes

La biodiversité : une préoccupation internationale, du questionnement scientifique à la mise en œuvre de la Convention sur la diversité biologique (CDB)

On a longtemps cru que les ressources seraient presque illimitées, et que la dégradation, voire la disparition d'une forêt, d'un champ ou d'un lac seraient facilement remplaçables. Cependant, la croissance économique et démographique que le monde a connue durant le siècle dernier, et spécialement depuis une cinquantaine d'années, a démontré le contraire (Solbrig, 1991). Le besoin d'une meilleure gestion des paysages, naturels ou façonnés par l'homme, dans une optique durable, a ainsi été mis en lumière et la perte de diversité biologique est une manifestation d'une gestion déficiente et inadéquate des ressources naturelles. La prise de conscience de la communauté internationale face à la disparition sans précédent de la diversité biologique a inspiré de nombreuses négociations dans le but de créer un instrument légal capable de renverser ce processus. Ces négociations ont été par ailleurs fortement influencées par l'acceptation générale de la notion de partage plus équitable des ressources naturelles et génétiques.

C'est dans ce contexte que la FAO a décidé de créer en 1983 la commission des ressources phylogénétiques, une instance intergouvernementale permanente qui coordonne, supervise et suit – dans le cadre de l'engagement international sur les ressources phylogénétiques adopté par la commission – le développement d'un système mondial de conservation et d'utilisation des ressources phylogénétiques pour l'alimentation et l'agriculture. Conformément à son mandat, la commission a régulièrement reçu des rapports sur les politiques, programmes et activités de la FAO axée sur la conservation et l'utilisation de ses ressources. Depuis 1989, elle a également examiné des rapports du Conseil International des Ressources Phylogénétiques (ex : CIRP, aujourd'hui remplacé par l'Institut International des Ressources Phylogénétiques, IPGRI).

En novembre 1988, le PNUE a mis en place un groupe de travail *ad hoc* composé d'experts, afin d'explorer la nécessité d'une convention internationale sur la biodiversité. Ce groupe de travail est devenu en février 1991 le Comité international de négociation, dont le travail a culminé le 22 mai 1992 avec l'adoption à Nairobi du texte final de la convention sur la diversité biologique.

Il est devenu évident, depuis le Sommet de la Terre, tenu à Rio en 1992, et l'adoption d'une convention internationale sur la diversité biologique, que le problème de la perte de diversité biologique revêt plusieurs aspects : social, économique, culturel et scientifique. Tous ces aspects sont également importants. Il est clair cependant que seule une approche scientifique peut apporter l'espoir d'améliorer la gestion, grâce à une meilleure compréhension des mécanismes et à l'amélioration des connaissances scientifiques. En zones arides, les études sur la biodiversité, manquent et ne fournissent généralement qu'une connaissance fragmentaire : elles méritent donc d'être fortement développées.

Pourquoi étudier la diversité biologique ?

Brève revue des définitions...

La biodiversité

Selon le point de vue de la " Stratégie mondiale de la biodiversité " (WRI, IUCN, UNEP, 1994), la biodiversité peut être subdivisée en trois catégories hiérarchisées : les gènes, les espèces et les écosystèmes, chacun représentant différents aspects des systèmes vivants, que les scientifiques évaluent de diverses manières. La " Stratégie mondiale de la biodiversité " indique que bien plus que la diversité génétique, spécifique et écosystémique – la biodiversité peut aussi inclure la diversité culturelle humaine. Les dimensions culturelles des différentes parties du monde ont joué un grand rôle dans les façons de percevoir, préserver, utiliser et apprécier la biodiversité.

Cependant, le *World Resource Institute* souligne que la richesse de la vie sur terre aujourd'hui résulte de centaines de millions d'années d'évolution. À travers la course du temps, les cultures humaines ont émergé et se sont adaptées à leur environnement, découvrant, utilisant et altérant les ressources biotiques locales. De nombreuses aires qui semblent maintenant naturelles portent les marques d'habitations humaines millénaires, de cultures, et de ressources récoltées. La domestication et la reproduction de variétés locales d'espèces de culture et du bétail ont de plus fait progresser la biodiversité.

Selon la définition communément admise par les Nations Unies depuis le Sommet de la Terre (CDB, 1992), la diversité biologique désigne « *la variabilité parmi les organismes vivants de sources diverses incluant inter alia, les écosystèmes terrestres, marins et autres écosystèmes aquatiques, ainsi que les complexes écologiques dont il font partie ; ceci inclut la diversité intra spécifique, inter spécifique et celle des écosystèmes* ».

Plus de détails ont été soulignés par le " *Global Biodiversity Assessment* " (1995) qui définit la biodiversité comme « *la diversité et la variabilité de tous les organismes vivants et des systèmes dont ils font partie* ». Cette définition inclut la variabilité des systèmes et des organismes à différents niveaux : région, paysage, écosystèmes et

biotopes, et aux différents niveaux des organismes depuis les espèces et les populations jusqu'aux gènes. Ce point de vue tient aussi compte des relations complexes entre la structure et le fonctionnement des différents niveaux d'organisation (relations intra et inter niveaux d'organisation), de leur origine et de leur évolution dans l'espace et le temps. En outre, la biodiversité peut être considérée comme le capital biologique naturel de la Terre. Il fournit les bienfaits et les services essentiels à l'existence et aux aspirations humaines, aidant les sociétés à s'adapter aux besoins de changements et aux circonstances (*Global Biodiversity Assessment*).

Finalement, selon le point de vue de la communauté scientifique, la diversité biologique est « *un ensemble constitué par la diversité génétique, la diversité spécifique et la diversité écologique et leurs interactions, en un lieu donné et à un moment donné* » (di Castri, 1996).

La fonction de la diversité biologique

Selon le paradigme scientifique, la diversité biologique contribuerait de manière majoritairement positive au fonctionnement des écosystèmes (di Castri et Younés, 1990). En effet, une diversité plus élevée garantirait à la fois :

- une meilleure utilisation des ressources abiotiques, en particulier grâce à la complémentarité entre *taxa*, ou génotypes, dans la manière dont ils exploitent le milieu ; il en résulterait une productivité primaire plus élevée (Johnson *et al.*, 1996) ;
- une plus grande stabilité face aux variations habituelles ou catastrophiques du milieu (Pimm 1991 ; Hobbs *et al.*, 1995) , notamment parce que les espèces, même similaires dans leur exploitation des ressources trophiques, peuvent différer pour leurs réponses aux variations et perturbations du milieu (Walker, 1995).

Concernant ce dernier point, la relation entre diversité et stabilité doit être circonstanciée car il existe différents types de stabilité et ce sujet est soumis à une large discussion (voir Frontier et Pichod-Viale, 1991). Rappelons que : (1) le mot stabilité recouvre des notions différentes (ex : stabilité quantitative des biomasses et des flux), (2) la diversité minimale requise constitue une condition nécessaire à la stabilisation des flux et des biomasses, mais non une condition suffisante, (3) on démontre que trop de diversité stabilise très rapidement un système complexe (Frontier et Pichod-Viale, 1991). Néanmoins, les écosystèmes les plus dégradés (faible recouvrement végétal et faible diversité) tels que peuvent l'être certains écosystèmes en zones arides, sont aussi les plus stables. Il n'y a donc pas de relation directe et univoque entre l'augmentation de la diversité et l'accroissement de la stabilité d'un système.

Ce rôle fonctionnel de la biodiversité a fait l'objet de nombreuses réflexions. Quatre grandes hypothèses ont alors été proposées par différents auteurs pour décrire les relations entre la diversité (*via* le concept "simpliste" de la richesse

spécifique) et sa fonction particulière dans la communauté ou l'écosystème. Ces hypothèses résument les réponses générales possibles des processus des écosystèmes à la réduction de la richesse spécifique (Lawton, 1994) :

- **l'hypothèse de redondance des espèces** suggère qu'il existe une diversité minimale nécessaire au fonctionnement propre de l'écosystème, mais au-delà de laquelle la plupart des espèces ont un rôle redondant (Walker, 1992 ; Lawton et Brown, 1993). Ceci signifie qu'au-delà d'une certaine richesse spécifique (seuil à définir), les *taxa* supplémentaires possèdent une fonction déjà réalisée dans la communauté (Lawton et Brown, 1993). En réalisant une fonction similaire, les espèces dont la réponse aux variations environnementales diffère, se compensent c'est-à-dire que la disparition ou l'élimination d'une espèce entraîne une augmentation de la densité des autres espèces appartenant au même groupe fonctionnel, et a pour conséquence de préserver la biomasse (Schulze et Mooney, 1993 ; Walker, 1992) ;
- **l'hypothèse du rivet** (ou d'additivité), qui suggère que toutes les espèces contribuent chacune à la performance de l'écosystème (Ehrlich et Ehrlich, 1981). Cette hypothèse assimile les espèces à des rivets tenant ensemble une machine complexe, et formule le postulat que le fonctionnement serait affaibli avec la rupture de ces rivets (espèces). Ceci signifie qu'une augmentation de la richesse spécifique (nombre total d'espèces) entraîne une stabilité plus élevée des écosystèmes ;
- **l'hypothèse de la réponse idiosyncratique**, suggère que la fonction de l'écosystème change lorsque la diversité est modifiée, mais l'ampleur et la direction du changement ne sont pas prédictibles, parce que les rôles des individus des espèces sont complexes et variés ;
- **l'hypothèse nulle** souligne que la fonction de l'écosystème est insensible à la perte ou à l'addition des espèces.

Bien sûr, aucun modèle n'est universel, mais à chaque situation une hypothèse ou une autre sera dominante suivant l'écosystème et la fonction écologique considérés (Mooney *et al.*, 1995).

En conclusion, si l'étude de la diversité biologique demande un effort important d'inventaire, il est au moins aussi important de comprendre les mécanismes qui maintiennent ou modifient la diversité. Cette compréhension est essentielle afin de décider de stratégies de gestion pertinentes de la diversité biologique et du fonctionnement des écosystèmes. Pour les mêmes raisons, il est nécessaire de comprendre quels mécanismes de la diversité biologique peuvent affecter le fonctionnement biogéochimique et la stabilité des écosystèmes.

Les résultats de telles études seront utiles pour évaluer les impacts économiques de la perte ou de l'altération des écosystèmes et les " services " qu'ils peuvent fournir en retour aux sociétés humaines (Costanza *et al.*, 1997).

État des lieux des connaissances mondiales

La Convention sur la diversité biologique et les parties contractantes reconnaissent « *la valeur intrinsèque de la diversité biologique et de la valeur de la diversité et des ses éléments constitutifs sur les plans environnemental, génétique, social, économique, scientifique, éducatif, culturel, récréatif et esthétique* » (CDB, 1992).

La perte de diversité biologique revêt donc plusieurs dimensions, illustrées par les exemples suivants :

- les considérations éthiques : perte de vie, prérogative de l'espèce humaine à éliminer les autres espèces ;
- les considérations esthétiques : paysages uniques ;
- les spéculations économiques : utilisation potentielle des espèces pour l'alimentation humaine, la production de médicaments, en tant que ressources génétiques pour les plantes et les animaux domestiqués, ou encore comme substances chimiques à usage pharmaceutique et industriel...
- les arguments écologiques scientifiques : perte d'espèces nouvelles propriétés biologiques, fonctions dans l'écosystème.

Dès 1991, l'atelier de travail du LUBS-SCOPE-UNESCO sur la biodiversité a permis de poser deux questions à la communauté scientifique : « *Quelle est l'importance de la biodiversité sur le fonctionnement propre des systèmes biologiques, depuis les populations jusqu'aux écosystèmes ?* » et « *Comment les changements de la biodiversité affecteraient le fonctionnement des écosystèmes ?* ».

Selon leurs hypothèses, les changements de biodiversité attendus pourraient résulter de l'impact des activités humaines. La fragmentation des habitats ou biotopes, la perte ou l'invasion d'espèces, les modifications du fonctionnement et de la structure des écosystèmes, et la capacité des écosystèmes appauvris à répondre aux changements climatiques ou/et autres, apparaissent comme des problématiques récurrentes et les questions qu'elles posent sont des plus inquiétantes.

Tous les auteurs soulignent que la perte de biodiversité est difficile à percevoir et à quantifier à cause de la difficulté de différencier les changements naturels des changements anthropogéniques. En outre, ils insistent sur le fait que sur la plus grande surface du globe les mesures de base manquent pour les relier à des changements perceptibles. Le problème est similaire pour identifier les changements climatiques résultant des activités humaines. En conséquence, ils ont mis en lumière qu'aucune prédiction précise et fiable ne peut être faite à l'heure actuelle concernant la réponse future des systèmes biologiques aux changements anthropogéniques. Néanmoins, ils s'accordent à dire que les connaissances sont suffisantes pour juger que la réponse la plus probable serait une augmentation de la fragilité des écosystèmes (Solbrig, 1991).

Ainsi, le besoin d'une meilleure connaissance scientifique de la biodiversité a été souligné par les grands programmes internationaux de recherche sur l'environnement, pour réagir aux problèmes posés par l'impact à moyen et long terme des activités humaines sur la biosphère, en particulier par l'intermédiaire des changements climatiques et atmosphériques, de l'utilisation des terres, et de l'érosion de la diversité biologique (di Castri et Younès, 1990 ; Lubchenko *et al.*, 1991 ; Barbault et Hochberg, 1992 ; Steffen *et al.*, 1992 ; DIVERSITAS, 1996).

Le rapport « *Planète Vivante 2002* » propose une mise à jour de l'état des écosystèmes naturels de la planète, mesuré par " l'indice planète vivante " (*Living Planet Index* ou LPI). " L'indice planète vivante " découle des tendances observées ces trente dernières années parmi des populations de centaines d'espèces d'oiseaux, de mammifères, de reptiles, d'amphibiens et d'espèces marines. En trente ans, cet indice, représenté par la moyenne de trois indices basés sur l'écosystème, a régressé de 35%. Les tendances illustrées par le LPI confirment la régression quantitative très rapide de la biodiversité. Le rapport fait aussi le point sur la pression exercée sur les écosystèmes par l'homme du fait de la consommation des ressources naturelles renouvelables – mesurée par l'empreinte écologique.

L'empreinte écologique mesure la consommation de ressources naturelles par un groupe humain, à l'échelle d'un pays, d'une région ou du monde entier. Elle correspond à la surface totale, terrestre ou aquatique, biologiquement productive nécessaire pour produire tous les types de cultures, de viandes, de poissons, de bois et de fibres qu'il consomme, pour maintenir sa consommation en énergie et répondre aux besoins en espace nécessaire pour accueillir ses infrastructures. Elle est comparable à la capacité productive biologique terrestre et aquatique disponible de ce groupe humain.

L'empreinte écologique du consommateur moyen mondial en 1999 était de 2,3 hectares par personne, soit 20% de plus que la capacité biologique de la Terre (1,9 hectares par personne, les moyennes par pays et continent étant très variables).

État des lieux des connaissances en Afrique

La diversité végétale en Afrique en quelques chiffres

En 1995, Le Houérou est à l'origine d'une synthèse sur le thème de la diversité végétale en Afrique. On peut retenir de ce travail un tableau synthétique présentant la richesse floristique de quelques pays et régions d'Afrique (**Tableau 1**).

Quelques enseignements peuvent être tirés de ce tableau :

- le nombre d'espèces végétales a été estimé et les chiffres présentés ici sont à prendre avec précaution, puisque l'estimation dépend en grande partie des connaissances. Celles-ci peuvent être très variables selon les régions considérées ;

Tableau 1 : Richesse floristique de quelques pays et régions d'Afrique (Le Houérou, 1995).

Région ou pays	Estimation du nombre d'espèces végétales	Aire (10 ⁴ km ²)	Richesse aréale (nbre spp/10 ⁴ km ²)
Afrique continentale et insulaire	68500	3000	23
Ouest Africain (1)	7500	503	15
Est Africain (2)	11000	176	63
Afrique du Nord (3)	6000	605	10
Steppes du Nord de l'Afrique (4)	2640	63	42
Sahara (5)	2800	813	3,4
Sahel (6)	1500	300	5
Algérie	3139 espèces (3692 avec les ssp.)	238	13
Burkina-Faso	1100	27	41
Cap Vert	740	0,4	1850
Égypte	2100	100	21
Éthiopie	7000	112	62
Kenya	7000	56	120
Mali	2000	150	12
Maroc	4200	75	56
Mauritanie	1100	103	11
Niger	1200	125	10
Sénégal	2100	20	105
Tunisie	2200	16	138

- (1) Ouest Africain : territoire de « *Flora of West Tropical Africa* » de Hutchinson et Dalziel.
 (2) Est Africain : territoire de « *Flora of Tropical East* » : Kenya, Ouganda et Tanzanie.
 (3) Afrique du Nord : Maroc, Algérie, Tunisie, Libye et Égypte.
 (4) Steppes du Nord de l'Afrique : zones arides au Nord du Sahara entre les isohyètes annuelles de 100 et 400 mm dans les pays suivants : Maroc, Algérie, Tunisie, Libye et Égypte.
 (5) Sahara : au-dessus de l'isohyète annuelle de 100 mm des pays riverains suivants : Maroc, Algérie, Tunisie, Libye, Égypte, Soudan, Tchad, Niger, Mali et Mauritanie.
 (6) Sahel : zone comprise entre les isohyètes annuelles de 100 et 600 mm dans les pays suivants : Mauritanie, Sénégal, Mali, Burkina-Faso, Cap Vert, Niger, Tchad, Nigéria et Soudan.

- la richesse aréale ne permet pas de tirer d'information pertinente puisqu'elle est fonction de la superficie des pays ou régions considérées (ex : le Cap Vert est marqué par un effet d'insularité propre où les espèces ont connu un important phénomène de spéciation sur un petit territoire, par contre le Sahara ne présente que peu d'espèces par rapport à son étendue) ;
- la région méditerranéenne (Afrique du Nord) et l'Afrique de l'Est sont caractérisées par une forte diversité tandis que l'Afrique de l'Ouest, et en particulier la région sahélienne, manifeste une diversité faible compensée par une importante diversité génétique ;
- enfin, il est évident que les pays ou régions caractérisés par différents type de climats, ayant un relief important... présentent une diversité également importante (Kenya, Éthiopie, Maroc).

Ressources naturelles, diversité biologique et dégradation des terres

◆ La biodiversité des zones sèches : un patrimoine mondial

Tandis que de nombreuses études sur la diversité biologique ont été entreprises à travers le monde et particulièrement en Europe, en Amérique du Nord et dans les zones tropicales, les zones semi-arides et arides autour du Sahara n'ont pas bénéficié de tant d'attention. La diversité biologique dans la zone circum-saharienne doit donc être inventoriée et surveillée. Afin d'assurer les quantités maximales et la qualité des ressources renouvelables, il est nécessaire d'apprendre à les utiliser durablement en prenant notamment en compte la vitesse de cicatrization des écosystèmes et le maintien de la capacité de résilience (moindre dans les écosystèmes fragilisés).

Comme l'a souligné Cornet (2000, 2002) la diversité végétale en zone circum-saharienne présente une flore originale. Les particularités de telles flores résident dans l'existence de ressources génétiques originales et de biotopes particuliers, résultant de processus d'adaptation et d'évolution en réponse à l'aridité croissante et à une pression anthropique ancienne. Actuellement, le facteur anthropozoïque joue un rôle déterminant et il est intéressant de discriminer son importance par rapport aux facteurs climatiques et géologiques, dans les adaptations écophysiologiques et génétiques des espèces circum-sahariennes. Il est probable que le facteur anthropozoïque contribuera, à long terme, à l'individualisation de nouveaux pools génétiques. De plus, les adaptations écophysiologiques et les propriétés génétiques des espèces végétales et animales dans les zones arides en réponse à la sécheresse et la diversité des écosystèmes qui les abritent, font de ces zones des centres de ressources génétiques précieuses pour des utilisations futures.

L'appropriation par les populations locales des pratiques agricoles anciennes permettent de disposer d'un stock important : (1) de variétés traditionnelles de

plantes cultivées et (2) de populations ou de races animales domestiques adaptées. Certaines sont connues pour posséder des caractères génétiques utilisables dans le monde entier dans le cadre de programmes d'amélioration. Par exemple, de récentes études ont montré l'importance des ressources génétiques que constituent les variétés traditionnelles de " mil " (*Pennisetum spp.*) et les espèces sauvages apparentées dans la région sahélienne. De nombreuses espèces fourragères sont aussi utilisées dans le monde, en particulier les espèces tropicales telles *Cenchrus ciliaris* qui sont originaires de ces zones et constituent des centres de diversité génétique pour leur amélioration. Bien sûr, l'intérêt de la diversité biologique dans ces zones doit être étendu à d'autres groupes biologiques, notamment aux micro-organismes (cf. relations avec les processus pédo-édapho-hydrologiques).

De nos jours, la plupart des acteurs (États, ONG sur la conservation de la nature, ONG de développement, associations rurales...) prennent en compte le besoin d'associer les stratégies de conservation sur la diversité biologique et la valorisation de ce potentiel par les populations humaines. Vu le rôle de la diversité biologique dans la résilience des écosystèmes et le fait qu'ils devront s'adapter à des changements climatiques, les générations actuelles ont le devoir de préserver la diversité biologique locale et de favoriser les adaptations floristiques et faunistiques à des conditions plus sèches afin de faciliter les évolutions futures. Pour favoriser la conservation *in situ* de la diversité biologique, il est nécessaire de maintenir une densité suffisante de zones protégées pourvus d'écosystèmes et de biotopes diversifiés (cf. Parcs Nationaux, Réserves naturelles, Réserves de la biosphère...).

La diversité biologique doit être considérée non seulement comme un patrimoine mondial de l'humanité, mais également comme une des bases potentielles du développement local en relation avec les utilisations actuelles et potentielles par les populations. Les études sur la diversité biologique, sa valorisation et sa conservation ne doivent donc pas être limitées aux zones de richesse élevée (*hot spots*), mais étendues à l'ensemble des régions du monde. Généralement, les zones sèches n'ont pas bénéficié de l'attention voulue eu égard à leur contribution aux stratégies nationales et internationales sur la conservation et la valorisation de leur diversité biologique. Néanmoins, depuis la conférence de Rio en 1992, la nécessité de la lutte contre la désertification et la conservation de la diversité biologique dans les zones sèches ont été soulignées, particulièrement en Afrique circum-saharienne.

◆ Dynamique de la biodiversité en zones sèches

Il est désormais admis que si les stress de sécheresses sévères peuvent induire des changements saisonniers dans la structure et le fonctionnement des écosystèmes, les activités humaines constituent des facteurs de perturbations des écosystèmes. Des sécheresses prolongées peuvent cependant provoquer des perturbations importantes, surtout en conjonction avec la sur-exploitation des ressources. Des modifications surviennent alors en réponse à ces stress et perturbations, résultant en une différenciation de la structure et du fonctionnement des écosystèmes.

Les modifications de l'occupation des terres et de leur utilisation en zones sèches et la dégradation qui en résulte sont donc les principaux facteurs qui expliquent la perte de diversité biologique, au travers de la surexploitation des populations végétales et/ou animales et la destruction des biotopes. Dans ce contexte de dégradation, l'évaluation de la diversité biologique nécessite l'étude des différentes composantes des écosystèmes, notamment :

- la faune sauvage et domestique, dont les conditions de bonne gestion et de conservation ne sont plus garanties ;
- la flore, certaines espèces constitutives de la pharmacopée et des systèmes de culture traditionnels se font rares, voire disparaissent ;
- les cours d'eau, jadis permanents, sont devenus intermittents, modifiant profondément les biotopes de nombreuses espèces ;
- les oiseaux migrateurs qui trouvent des biotopes de plus en plus précaires dans les zones humides résiduelles du Sahel ou des systèmes " oasiens ".

Les études entreprises et celles qui sont en cours sur les territoires des observatoires du réseau ROSELT/OSS permettent d'inventorier, d'évaluer et de surveiller la diversité biologique originale caractérisant une grande partie, à terme, de la zone circum-saharienne.

Dégradation des terres et changements climatiques

Les interactions entre dégradation des terres et changements climatiques soulèvent questions et débats. Notre connaissance sur les processus de dégradation et les mécanismes des changements climatiques est encore bien incomplète et quatre questions principales et tentatives de conclusion peuvent résumer l'information fragmentaire actuelle (cf. Cornet 2000, 2002) :

- (1) *Les fluctuations régionales récentes du climat ont-elles accru la désertification ?*

Il est évident que la diminution de la pluviosité et sa variabilité ont accru la vulnérabilité des ressources naturelles à la dégradation (*i.e.* longue sécheresse au Sahel). Cependant, l'impact de ces sécheresses est faible là où l'impact des activités humaines est faible ou nul. Ainsi, le phénomène de sécheresse ne conduit pas à la désertification, mais accentue l'effet anthropique sur la dégradation du potentiel biologique des terres sèches.

- (2) *Un changement climatique global et un réchauffement global induit sont-ils responsables des périodes de sécheresse accrue ? Avec quelles conséquences pour la désertification ?*

Même si des incertitudes persistent, l'ensemble de la communauté scientifique admet que les changements climatiques globaux sont

prévisibles : les terres sèches subtropicales seraient soumises à un accroissement des conditions extrêmes y compris d'aridité (sécheresse prolongée) et de pluviométrie (crues, inondations), augmentant à la fois les pressions humaines sur les ressources naturelles et les processus de dégradation.

- (3) *La dégradation des terres a-t-elle un effet en retour sur le climat local ou régional ?*

L'existence de rétroactions entre la dégradation des terres et l'évolution du climat local n'est pas démontrée. Mais les effets locaux seraient largement contrôlés par les changements globaux dans ces régions. Parmi ces effets, on peut signaler le fait que l'érosion éolienne et hydrique puisse contribuer à une modification importante des états de surface à forte réflectance lorsque la végétation est très dégradée sur de longs pas de temps.

- (4) *La dégradation des terres arides exerce-t-elle une influence sur le climat global ?*

À l'échelle globale, la dégradation des zones sèches contribue à la modification du climat. Néanmoins, l'importance relative de cette contribution reste encore inconnue.

Conventions et programmes internationaux

Depuis le Sommet de Rio (1992), le concept de développement durable a intégré celui de l'environnement comme l'une des composantes fondamentales du développement. Cette nouvelle vision a été confirmée au travers de nombreuses conventions internationales notamment : la Convention des Nations Unies sur les changements climatiques, la Convention sur la diversité biologique et la Convention de lutte contre la désertification (Fezzani, 1995). Il ne fait aucun doute que le Sommet de la Terre avec son Agenda 21 et ses trois conventions environnementales constituent le cadre global de coopération internationale en matière de préservation des ressources naturelles et de l'environnement.

Précédant le deuxième Sommet de la Terre sur le développement durable (Johannesburg, Afrique du Sud, 26 août-4 septembre 2002), l'ONU (2002) souligne que « *pour assurer le développement durable, il faut améliorer la qualité de vie de l'ensemble de la population mondiale sans accroître l'utilisation des ressources naturelles au-delà de ce que peut supporter la planète. Si des mesures différentes s'imposent probablement dans chaque région du monde, il n'en reste pas moins que pour instaurer un mode de vie véritablement durable, il faut agir de façon intégrée sur trois fronts principaux : croissance économique et équité ; préservation des ressources naturelles et de l'environnement et développement social* ».

La Convention des Nations Unies sur les changements climatiques

L'objectif ultime de cette convention, et de tout instrument juridique connexe que la Conférence des Parties pourrait adopter, est de stabiliser les concentrations des gaz à effet de serre dans l'atmosphère à un niveau qui empêche toute perturbation anthropique dangereuse du système climatique. Il conviendra d'atteindre ce niveau dans un délai suffisant pour que les écosystèmes puissent s'adapter naturellement aux changements climatiques, que la production alimentaire ne soit pas menacée et que le développement économique puisse se poursuivre d'une manière durable (Article 2).

En particulier, il a été souligné que les pays-parties devront préparer, en coopération, l'adaptation à l'impact des changements climatiques, en développant et en élaborant des plans appropriés et intégrés pour la gestion des zones côtières, pour les ressources en eau et l'agriculture, et pour la protection et la remise en état des zones, particulièrement en Afrique, affectées par la sécheresse et la désertification, aussi bien que par les inondations (Article 4).

La Convention sur la diversité biologique

Les objectifs de cette convention sont la conservation de la diversité biologique, l'utilisation durable de ses composantes et le partage juste et équitable des avantages découlant de l'exploitation des ressources génétiques (Article 1).

Chacune des parties contractantes (pays signataires), en fonction des conditions et des moyens qui lui sont propres :

- élabore des stratégies, plans ou programmes nationaux tendant à assurer la conservation et l'utilisation durable de la diversité biologique ou adopte à cette fin ses stratégies, plans ou programmes existants qui tiendront compte, entre autres, des mesures énoncées dans la convention ;
- intègre autant que possible et de la manière la plus appropriée, la conservation et l'utilisation durable de la diversité biologique dans ses plans, programmes et politiques sectoriels ou inter-sectoriels pertinents (Article 6).

Afin d'accomplir ces objectifs, chaque partie contractante devra concentrer ses efforts sur :

- l'identification et la surveillance de la diversité biologique (Article 7) ;
- la conservation *in situ* (Article 8) ;
- la conservation *ex situ* (Article 9) ;
- l'utilisation durable des éléments constitutifs de la diversité biologique (Article 10) ;

- les mesures d'incitation (Article 11) ;
- la recherche et la formation (Article 12).

La Convention de lutte contre la désertification (CLD)

L'objectif de cette convention est de lutter contre la désertification et d'atténuer les effets de la sécheresse dans les pays gravement touchés par la sécheresse et/ou la désertification, en particulier en Afrique, grâce à des mesures efficaces à tous les niveaux, appuyées par des arrangements internationaux de coopération et de partenariat, dans le cadre d'une approche intégrée compatible avec le programme d'Agenda 21, en vue de contribuer à l'instauration d'un développement durable dans les zones touchées.

Pour atteindre cet objectif, il faudra appliquer des stratégies intégrées à long terme axées simultanément, dans les zones touchées, sur l'amélioration de la productivité des terres ainsi que sur la remise en état, la conservation et une gestion durable des ressources en terres et en eau, et aboutissant à l'amélioration des conditions de vie, en particulier au niveau des collectivités (Article 2).

Évidemment, il est important de garder à l'esprit que, dans le cadre de la mise en œuvre de la Convention de lutte contre la désertification (CLD), les parties accordent la priorité aux pays-parties d'Afrique touchés, compte tenu de la situation particulière qui prévaut dans cette région, sans négliger pour autant les pays en développement touchés dans d'autres régions (Article 7).

Mise en œuvre des conventions internationales

Changements de l'utilisation des terres, changements climatiques et diversité biologique : ces trois composantes environnementales sont étroitement liées.

Comme l'article 8 de la CLD l'a établi, les parties encouragent la coordination des activités menées en vertu de la convention, et si elles y sont parties, en vertu d'autres accords internationaux pertinents, notamment la Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques et la Convention sur la diversité biologique, afin de tirer le meilleur profit des activités prévues par chaque accord tout en évitant les doubles emplois. Les parties encouragent l'exécution de programmes communs, en particulier dans les domaines de la recherche, de la formation, de l'observation systématique ainsi que de la collecte et de l'échange d'informations, dans la mesure où ces activités peuvent aider à atteindre les objectifs des accords en question.

Le problème de la conservation et de la gestion de la biodiversité pose un défi aux décideurs et aux scientifiques. Heureusement, la communauté internationale a reconnu être en mesure de le relever, au moins en partie. L'entrée en force de la Convention sur la diversité biologique, en décembre 1993, illustre non seulement

cette reconnaissance, mais aussi un changement de l'ensemble de la stratégie de conservation de la biodiversité. Cela signale un mouvement vers une position plus active qui cherche simultanément à satisfaire les besoins des peuples en ressources biologiques, tout en assurant la durabilité à long terme du capital biologique de la Terre. Le programme des Nations Unies sur l'environnement (PNUE) a joué un rôle clé dans le développement des questions concernant la biodiversité. Les efforts internationaux ont inclus la mise en œuvre de la Convention sur la diversité biologique, son suivi, et ont pris en considération les efforts pour renforcer simultanément les bases nationales et mondiales des connaissances sur la biodiversité (*Global Biodiversity Assessment*).

Mobilisation des acteurs au plan international

Impulsés par les conventions internationales, de nombreux programmes internationaux et réseaux (**Tableau 2**) ont vu le jour. Les objectifs internationaux de ces programmes sont de développer et de mettre en oeuvre des méthodes détaillées pour la compréhension, l'évaluation et la surveillance des changements à long terme, qui fournissent des informations utiles pour la gestion opérationnelle de la biodiversité. Cet objectif est une réponse au besoin de données fiables et de qualité et sur les conditions et l'évolution des écosystèmes terrestres comme cela a été fortement exprimé par les décideurs en charge des politiques environnementales.

Tableau 2 : Les principaux programmes internationaux sur la biodiversité.

Programmes internationaux	
Outils de connaissance scientifique	<p>Programme "Man and Biosphère" (MAB/UNESCO)</p> <p>DIVERSITAS</p> <p>Programme sur la biodiversité de l'UICN</p> <p>Global Biodiversity Information Facility (GBIF)</p> <p>Global Terrestrial Observing System (GTOS)</p> <p>Global Change and Terrestrial Ecosystems (GCTE)</p> <p>Species 2000 (Espèces 2000)</p>
	<p>Outil financier</p>

◆ **Programme « Man and Biophere » (MAB) de l'UNESCO**

Le programme MAB est un programme de recherche et de formation interdisciplinaire qui tente de développer les bases, à l'interface entre les sciences naturelles et sociales, pour l'utilisation rationnelle et la conservation des ressources

de la biosphère, et pour améliorer les relations entre population humaine et environnement.

Le MAB a organisé un réseau innovant, constitué de trois cent trente-sept réserves de biosphère dans quatre-vingt cinq pays. Les réserves de biosphère sont « *des aires portant sur des écosystèmes ou une combinaison d'écosystèmes terrestres et côtiers/marins* », où, grâce à une zonation appropriée et des mécanismes de gestion, la conservation des écosystèmes et de leur biodiversité est combinée à l'utilisation durable des ressources au bénéfice des populations locales ; en incluant des activités pertinentes de recherche, surveillance, éducation et formation. Elles représentent ainsi un outil majeur de la mise en œuvre des intérêts de l'Agenda 21, de la Convention de la diversité biologique et des autres accords internationaux. ROSELT/OSS a d'ailleurs labellisé les réserves de biosphères MAB de l'aire aride et semi-aride circum-saharienne en tant qu'observatoires du réseau (ex : El Omayed en Égypte, Haddej-Bou Hedma en Tunisie).

En 1995, le MAB a adopté une stratégie appelée « *Stratégie de Séville pour le 21^{ème} siècle* ». En résumé, les réserves de biosphère devraient contribuer à la préservation et à l'entretien des valeurs naturelles et culturelles, grâce à une gestion durable, s'appuyant sur des bases scientifiques correctes et une créativité culturelle. La stratégie de Séville fournit des recommandations pour aider au développement de réserves de biosphère fonctionnelles et à la mise en place des conditions nécessaires au fonctionnement du réseau. Elle ne reprend pas les principes généraux de la Convention sur la diversité biologique, ni de l'Agenda 21, mais tente plutôt d'identifier le rôle spécifique que les réserves de biosphère peuvent jouer dans le développement d'une nouvelle conception des relations entre la conservation et le développement. La stratégie définit des grands objectifs, caractérisés par des objectifs spécifiques, et suggère à quels niveaux (international, national et au niveau de chaque réserve) chacune des recommandations aura le plus d'effet.

◆ DIVERSITAS

DIVERSITAS est un programme de recherche international sur les changements environnementaux globaux, sponsorisé par le Conseil de l'Union Internationale de la Science (ICSU), le Comité Scientifique sur les problèmes de l'environnement (SCOPE), l'Union Internationale des Sciences Biologiques (IUBS), l'Union Internationale des Sociétés Microbiologiques (IUMS), le Programme International Géosphère-Biosphère (PIGB) et l'UNESCO-MAB. Les missions de DIVERSITAS et son expertise, en réponse aux objectifs de l'Agenda 21 et de la CBD, sont :

- de promouvoir une science intégrative de la biodiversité, faisant le lien entre les disciplines biologiques, écologiques et sociales, et s'efforçant de générer de nouvelles connaissances socialement pertinentes ;
- de fournir les bases scientifiques pour une compréhension de la perte de biodiversité, et d'en retirer les implications au niveau des politiques de conservation et d'utilisation durable de la biodiversité.

DIVERSITAS propose d'articuler son plan scientifique autour de trois projets centraux :

- **projet central 1** : « *Comprendre, surveiller et prédire les changements de biodiversité* » ;
- **projet central 2** : « *Évaluer les impacts des changements de la biodiversité* » ;
- **projet central 3** : « *Développer la science de la conservation et l'utilisation durable de la biodiversité* ».

DIVERSITAS a défini des éléments des projets centraux dans cinq domaines : (1) Effet de la biodiversité sur le fonctionnement des écosystèmes ; (2) Origines, maintien et changement de biodiversité ; (3) Systématiques : Inventaires et classification ; (4) Surveillance de la biodiversité et (5) Conservation, restauration et utilisation durable de la biodiversité.

Il a aussi établi six " domaines cibles spéciaux de recherches " (*Special Target Areas of Research, STAR*) : (1) Biodiversité des sols et des sédiments ; (2) Biodiversité marine ; (3) Biodiversité microbienne ; (4) Biodiversité des eaux intérieures ; (5) Dimensions humaines et (6) Espèces envahissantes et leur effet sur la biodiversité.

En plus de ces programmes à long terme, DIVERSITAS a initié un programme international d'observation de la biodiversité durant l'année 2001-2002 (*International Biodiversity Observation Year, IBOY 2001-2002*).

◆ UICN

L'UICN (Union Internationale pour la Conservation de la Nature), fondée en 1948, est aujourd'hui la plus importante organisation de conservation de la nature et de la biodiversité. Son rôle premier est de sensibiliser les pays à la conservation de la nature, de susciter et d'accompagner des actions de recherche, de protection et de gestion durable de la biodiversité et des ressources naturelles.

◆ *Global Biodiversity Information Facility (GBIF)*

Le GBIF est né en janvier 1996 d'une initiative du groupe de travail du forum Mégascience de l'OCDE sur la circulation de l'information biologique. C'est un réseau de bases de données concernant la biodiversité et les outils technologiques de circulation de l'information, qui permettra aux utilisateurs de disposer d'une grande quantité d'information sur la biodiversité mondiale afin d'en retirer des bénéfices aux niveaux national, économique, environnemental et social.

Le but du GBIF est de concevoir, exécuter, coordonner, et promouvoir la compilation, le lien, la standardisation, la numérisation et la dissémination globale des données sur la biodiversité mondiale, dans un cadre approprié pour les droits de propriété. Il est conçu pour travailler en coopération étroite avec les programmes établis et les organisations qui compilent, maintiennent et utilisent des sources d'information biologique. Les participants, travaillant dans le GBIF, établiront et supporteront un système de diffusion de l'information qui permettra aux utilisateurs

d'accéder et d'utiliser de vastes quantités d'informations, nouvelles et anciennes, sur la biodiversité afin de générer de nouvelles connaissances, la richesse et la durabilité écologique.

Le GBIF

- sera une facilité de diffusion, tout en encourageant la coopération et la cohérence ;
- sera global dans son échelle, en étant mis en pratique aux niveaux national et régional ;
- sera ouvert à la participation individuelle de tous les pays, et offrira les bénéfices potentiels à tous les pays, tandis qu'il sera financé dans un premier temps par les pays qui ont la plus grande capacité financière ;
- aidera à s'affranchir des barrières entre les langages humains en faisant la promotion de standards et de logiciels faciles à adapter dans différents langages, jeux de caractères et codage informatique ;
- servira à disséminer les capacités technologiques en encourageant et en rendant largement disponible l'information scientifique et technique ;
- facilitera le respect de la contribution faite par ceux qui rassemblent et fournissent cette information.

La mission principale du GBIF est de rendre disponible universellement l'information sur la biodiversité mondiale. À l'heure actuelle, de nombreuses activités internationales sur la biodiversité existent et des liens entre celles-ci et le GBIF sont établis et détaillés dans les paragraphes suivants.

◆ **Global Terrestrial Observing System (GTOS)**

(<http://www.fao.org/gtos>)

GTOS est un programme d'observation, de modélisation et d'analyse des écosystèmes terrestres visant à supporter le développement durable. Ceci devrait faciliter l'accès à l'information sur les écosystèmes terrestres afin que les chercheurs et les décideurs puissent détecter et gérer les changements environnementaux aux échelles mondiales et régionales.

GTOS a deux systèmes complémentaires d'observation, le *Global Climate Observing System (GCOS)* et le *Global Oceanic Observing System (GOOS)*. Chaque système est une part du plan plus large qui fournit des données détaillées et mondiales sur l'environnement biophysique, les processus des écosystèmes et les forces socio-économiques qui les influencent. Cette connaissance de base est une condition préalable à la gestion planétaire effective. L'objectif spécifique de GTOS est d'améliorer la qualité et la couverture des données terrestres (cf. TEMS), afin de les intégrer dans un système d'information planétaire et de faciliter son accès aux scientifiques et aux décideurs, ainsi qu'au public. GOOS joue un rôle analogue en s'attachant à l'étude des systèmes marins.

◆ GTOS/Goos et GBIF

Les représentants de GTOS doivent être impliqués dans le groupe scientifique et technique consultatif du GBIF.

◆ *Global Change and Terrestrial Ecosystem (GCTE)*

(<http://www.gcte.org>)

GCTE est un projet du programme international Géosphère-Biosphère (*International Geosphere-Biosphere Program, IGBP*) ayant pour objectifs scientifiques : (1) de prédire les effets des changements climatiques, de la composition atmosphérique, et de l'utilisation des terres sur les écosystèmes terrestres, incluant les agroécosystèmes et la biodiversité ; et (2) de déterminer comment ces effets entraînent des rétroactions sur l'atmosphère et les systèmes physiques climatiques.

Le projet de recherche est organisé autour de quatre thèmes, avec une accentuation croissante dans le recouplement des activités du GCTE et de l'IGBP :

- **thème 1** : physiologie des écosystèmes,
- **thème 2** : changements de la structure des écosystèmes,
- **thème 3** : agroécologie et systèmes de production,
- **thème 4** : changements globaux et biodiversité.

◆ *Espèces 2000 (Species 2000)*

Le programme Espèces 2000 élabore un index uniformisé et de qualité des noms de toutes les espèces végétales et animales connues. Cette mission s'apparente au programme « Catalogue de la Vie » proposé par GBIF. L'organisation Espèces 2000 utilisera l'index pour fournir :

- une liste d'espèces (disponible sous format électronique) utilisée dans les projets d'inventaires dans le monde entier ;
- un " portail " Internet aux bases de données espèces/biodiversité dans le monde entier ;
- un système de référence favorisant les comparaisons entre inventaires ;
- un catalogue détaillé comprenant la description du statut, de la classification et du nom de toutes les espèces.

Dans le but d'accomplir ses objectifs, le programme Espèces 2000 développe :

- une liste dynamique accessible sur Internet grâce au " système commun d'accès ", au travers duquel l'utilisateur peut localiser une espèce par son nom avec une batterie de bases de données taxonomiques en ligne ;

- une liste annuelle actualisée, disponible sur Internet grâce au “ système commun d'accès ” et sur un CD-Rom, proposée comme une édition mise à jour une fois par an ;
- un programme pour compléter la batterie de bases de données taxonomiques, en complétant les bases de données existantes et en assistant à l'élaboration de nouvelles bases de données pour couvrir les lacunes identifiées ;
- un système de liens entre chaque espèce entrée dans la liste et une large gamme d'autres bases de données ayant des informations sur cette espèce (pour inclure les collections, les aires naturelles, l'utilisation et les autres systèmes...).

Espèces 2000 a été initié comme un programme scientifique résultant de l'union scientifique entre l'Union Internationale des Sciences Biologiques (IUBS : <http://www.iubs.org/>), le Comité pour les données scientifiques et technologiques (CODATA : <http://www.codata.org/>) et l'Union Internationale des Sociétés de Microbiologie (IUMS : <http://www.iums.galilee.fr/>), associés à DIVERSITAS, et par conséquent au programme sur la biodiversité du Programme des Nations Unies pour l'environnement (PNUE) et avec le centre d'échanges de la CDB.

◆ **Global Environment Facility (GEF) du système des Nations Unies**

Le GEF a été établi pour renforcer la coopération internationale et les actions financières afin de répondre à quatre menaces importantes pour l'environnement mondial : la perte de biodiversité, les changements climatiques, la dégradation des eaux internationales et la réduction de la couche d'ozone. Les projets relatifs à l'étude de la dégradation des terres, associés aux quatre domaines d'étude focaux, sont aussi éligibles pour l'obtention de fonds GEF.

Lancé en 1991 à titre expérimental, le GEF a été restructuré après de Sommet de la Terre (Rio-de-Janeiro, 1992), afin de servir les intérêts environnementaux des peuples dans toutes les parties du monde. Le fonctionnement qui a émergé après la restructuration était plus stratégique, efficace, transparent et participatif.

• **Biodiversité**

L'éventail des efforts, pour conserver et utiliser durablement la diversité biologique de la terre, rassemble près de la moitié des projets GEF. En tant que mécanisme financier pour la CDB, le GEF reçoit des directives de la conférence des parties (COP) sur la politique, la stratégie, les programmes prioritaires, les critères d'éligibilité relatifs à l'utilisation des ressources afin d'accomplir les objectifs de la convention. Généralement, les projets traitent de un ou plusieurs des quatre types d'écosystèmes cruciaux et des populations humaines qui y vivent : (1) les zones arides et semi-arides ; (2) les ressources en eau douce, marine et côtière ; (3) les forêts et (4) les montagnes.

- **Dégradation des terres**

L'intérêt du GEF dans le financement des activités de prévention et de contrôle de la dégradation des terres vient de la nature et de l'étendue de ses liens avec les changements environnementaux globaux. La destruction des forêts et la dégradation des ressources en eau mettent en péril la biodiversité, induisent des changements climatiques, et perturbent les cycles hydrologiques.

Prenant en compte les objectifs de la Convention de lutte contre la désertification, une douzaine de projets recoupe les quatre domaines d'étude focaux afin d'étudier la dégradation des terres.

- **Biodiversité et dégradation des terres dans les projets GEF**
(comm. Pr. M. Abdel Razik, Université d'Alexandrie, Égypte)

La relation entre la dégradation des terres et les activités des projets sur la biodiversité répond à l'aspect " complexité biologique " de la définition de la dégradation des terres de la CLD. Utilisant cette définition, 56% des projets GEF sur la biodiversité sont considérés comme ayant une composante " *dégradation des terres* " forte, à cause de leurs activités pour réhabiliter l'environnement ou diminuer la pression dans les systèmes agricoles ou pastoraux environnants.

Les projets GEF restants sont orientés autour de la prévention plus que de l'atténuation, et la gestion des aires protégées est leur activité habituelle. Ces projets ont été placés dans la catégorie : « *effets de la dégradation potentielle des terres au travers de la prévention* ».

Les projets GEF sur la biodiversité, non localisés dans des aires protégées, incluent les projets d'étude de la biodiversité dans les agrosystèmes et ceux qui sont réalisés sur la biodiversité naturelle *in situ*, en dehors des zones protégées.

Parmi les projets d'étude de la biodiversité dans les agrosystèmes, ceux qui possèdent une composante " *dégradation des terres* " forte favorisent la conservation des sols et des eaux, et l'amélioration de la gestion des sols et des terres, afin d'accroître à la fois la diversité des espèces sauvages, cultivées et domestiquées.

Les activités des projets concernant la biodiversité naturelle, en dehors des aires protégées, incluent l'amélioration de l'utilisation des terres des systèmes agropastoraux (tel le fonctionnement de la transhumance), et contrôlant les feux de brousse ou de forêt.

À l'évidence, un grand besoin est exprimé pour une meilleure compréhension dans de nombreux domaines scientifiques, techniques et socio-économiques afin d'établir des interrelations, particulièrement dans les écosystèmes des zones sèches.

Les problèmes relatifs à la biodiversité concernent :

- les rétroactions de la biodiversité sur la dégradation des terres ;
- l'intensification et l'extensification des activités humaines ;
- la résilience des écosystèmes ;
- l'amélioration génétique dans les zones sèches ;
- l'atténuation des forces directrices sociales ;
- les motivations (primes) économiques pour conserver la biodiversité.



Références bibliographiques de l'annexe 1

- BARBAULT R. and HOCHBERG M., 1992** – Population and community level approaches to studying biodiversity in international research programs. *Acta Oecologica*, 13 (1) : 137-146.
- CASTRI F. di, 1996** – *La biodiversité. Rapport mondial sur la science*. UNESCO (éd.), Paris : 253-263.
- CASTRI F. di et YOUNES T., (ed.), 1990** – Ecosystem function of diversity. *Biology International*, issue 22, IUBS, Paris.
- CDB, 1992** – *Convention sur la Diversité Biologique*.
- CORNET A., 2000** – *La désertification : un problème d'environnement, un problème de développement*. Conférence invitée, La Londe-les-Maures, France.
- CORNET A., 2002** – « La désertification à la croisée de l'environnement et du développement. Un problème qui nous concerne ». In : Barbault R., Cornet A., Jouzel J., Megie G., Sachs I. et Weber J (éd.) : *Johannesburg. Sommet Mondial du Développement durable. Quels enjeux, quelle contribution des scientifiques ?*, Ministère des Affaires Étrangères, ADFP, Paris, 207 p.
- COSTANZA R., d'ARCE R., de GROOT R., FARBER S., GRASSO M., HANNON B., LIMBURG K., NAEEM S., O'NEILL R.V., PARUELO J., RASKIN R.G., SUTTON P., VAN der BELT M., 1997** – The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature*, 387 : 253-260.
- DIVERSITAS, 1996** – *DIVERSITAS : an international science programme for biodiversity science* (Operational plan), DIVERSITAS, Paris.
- EHRlich P.R. and EHRlich A.H., 1981** – *Extinction : the causes and consequences of the disappearance of species*. New York, Random House.
- FEZZANI C., 1995** – *L'Observatoire du Sahara et du Sahel et la Ccd Un cadre international de partenariat nord-sud novateur. Mise en œuvre de la Convention des Nations Unies sur la Lutte contre la Désertification*. Journées d'Information et de Sensibilisation, Rabat, 14-15 juillet 1995 : 37-48.
- FRANKLIN J.F., CROMACK K., DENISON W. et al., 1981** – *Ecological characteristics of old-growth Douglas-fir forests*. USDA Forest Service General Technical Report PNW-118. Pacific North-West Forest and Range Experiment Station, Portland, Oregon.
- FRONTIER S. et PICHOD-VIALE D., 1991** – *Écosystèmes; Structure, fonctionnement, évolution*. Coll. d'Écologie, 21. 2^{ème} éd., Masson, Paris.
- HOBBS R.J., GROVES R., HOPPER S.D., LAMBECK R.J., LAMONT B.B., LAVOREL S., MAIN A.R., MAJER J.D., SAUNDERS D.A., 1995** – Function of biodiversity in mediterranean ecosystems in Australia. In : DAVIS G.W. and RICHARDSON D.M. (eds.) : *The function of biodiversity in mediterranean ecosystems*, Springer Verlag, : 233-284.
- JOHNSON K.H., VOGT K.A., CLARK H.J., Schmitz O.J., VOGT D.J., 1996** – Biodiversity and the productivity and stability of ecosystems. *TREE*, 11 : 372-377.

LAWTON J.H., 1994 – What do species do in ecosystems ? *Oikos*, 71: 367-374.

LAWTON J.H. and BROWN V.K., 1993 – Redundancy in ecosystems. In : SCHULZE E.D. and MOONEY H.A. (eds), *Biodiversity and ecosystem function*, Ecological Studies 99, Springer-Verlag : 255-270.

LE HOUÉROU H.-N., 1995 – *Climate change, drought and desertification*. Intergovernmental Panel on climate change (IPCC), Working group II : Adaptation and mitigation, Subgroup II.A.3 : Impacts, Drought and Mitigation. Final Version, 15 July 1995 : 1-22.

LUBCHENCO J., OLSON A.M., BRUTAKER L.B., CARPENTER S.R., HOLLAND M.M., HUBBELL S.P., LEVIN S.A., MacMAHON J.A., MATSON P.A., MELILLO J.M., MOONEY H.A., PETERSON J.H., PULLIAM H.R., REAL L.A., REGAL P.J., RISSER P.G., 1991 – The sustainable biosphere initiative : an ecological research agenda. *Ecology*, 72 (2) : 371-412.

MOONEY H.A., LUBCHENCO J., DIRZO R., SALA O.E., 1995 – « Biodiversity and ecosystem functioning : Ecosystem analyses ». In : HEYWOOD V.H. and WATSON R.T. (eds), *Global Biodiversity Assessment*, UNEP, Cambridge University Press : 333-452.

PIMM S.L., 1991 – *The balance of nature ?* University of Chicago Press, Chicago, USA.

SCHULZE E.D. and MOONEY H.A., 1993 – « Ecosystem function of biodiversity : a summary ». In : SCHULZE E.D. and MOONEY H.A. (eds.), *Biodiversity and ecosystem functioning*, Ecological Studies 99, Springer-Verlag : 497-510.

SOLBRIG O.T., 1991 – Biodiversity. Scientific issues and collaborative research proposals. *MAB Digest* 9, Paris, UNESCO, 77 p.

STEFFEN W.L., WALKER B.H., INGRAM J.S.I., KOCK G.W., 1992 – *Global Change and Terrestrial Ecosystems : the operational plan*. IGBP report n°21.

URBAN D.L., O'NEILL R.V., SHUGART H.H., 1987 – Landscape ecology. *BioScience*, 37 : 119-127.

WALKER B.H., 1992 – Biodiversity and ecological redundancy. *Conservation Biology*, 6 : 18-23.

WALKER B.H., 1995 – Conserving biological diversity through ecosystem resilience. *Conservation Biology*, 9 : 747-752.

WRI, IUCN, UNEP – *Stratégie mondiale de la biodiversité*. French edition, published by the Bureau des ressources génétiques et le comité français de l'IUCN, 259 p.

Liste des abréviations et des sigles

AEE	Agence Européenne de l'Environnement.
CDB	Convention sur la Diversité Biologique.
CLD/CCD	Convention de Lutte contre la Désertification/ <i>Convention to Combat Desertification</i> .
COP	<i>Conference Of Parties</i> (Conférences des parties).
COT	Carte d'Occupation des Terres.
CSD	<i>Commission for Sustainable Development</i> (Commission pour le Développement Durable).
CIRP	Conseil International des Ressources Phytogénétiques (remplacé par IPGRI).
DPSIR	<i>Driving force – Pression – State – Impact – Response</i> .
DSR	<i>Driving force – State – Response</i> .
FAO	<i>Food and Agriculture Organization</i> – Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (Rome, Italie).
FPEIR	Forces motrices – Pression – État – Impact – Réponse.
GCTE	<i>Global Change and Terrestrial Ecosystems</i> .
GBIF	<i>Global Biodiversity Information Facility</i> .
GCOS	<i>Global Climate Observing System</i> .
GEF	<i>Global Environment Fund</i> .
GOOS	<i>Global Oceanic Observing System</i> .
GPS	<i>Global Positioning System</i> .
GTOSS	<i>Global Terrestrial Observing System</i> .
IBOY	<i>International Biodiversity Observation Year</i> .
ICSU	<i>International Concil for Sciences Union</i> .
IGBP	<i>International Geosphere-Biosphere Programme</i> .

IUBS	<i>International Union for Biological Sciences (Paris, France).</i>
IUCN	<i>International Union for Conservation of Nature and natural resources (Gland, Suisse).</i>
IUMS	<i>International Union for Microbiological Sciences.</i>
MAB	<i>Man and Biosphere Programme (UNESCO, Paris, France).</i>
OCDE	Organisation de Coopération et Développement Économique.
ONG	Organisation Non Gouvernementale.
ONU	Organisation des Nations Unies.
OSS	Observatoire du Sahara et du Sahel (Tunis, Tunisie).
PAN	Programme d'Action National.
PER	Pression – État – Réponse.
PIGB	Programme International Géosphère Biosphère.
PNUÉ	Programme des Nations Unies pour l'Environnement.
ROSELT	Réseau d'Observatoires de Surveillance Écologique à Long Terme.
SIG	Système d'Information Géographique.
SCOPE	<i>Scientific Committee for Problems of Environment.</i>
STAR	<i>Special Target Areas of Research.</i>
TEMS	<i>Terrestrial Ecosystem Monitoring Sites.</i>
UICN	Union Internationale pour la Conservation de la Nature et de ses Ressources (Gland, Suisse).
UNEP	<i>United Nations Environment Programme (Nairobi, Kenya).</i>
UNESCO	<i>United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization – Organisation des Nations Unies pour l'éducation, la science et la culture (Paris, France).</i>
UP	Unité Paysagère.
UPC	Unité de Pratiques Combinées.
USR	Unité Spatiale de Référence.
WRI	<i>World Resource Institute (Washington, USA).</i>

PAO – DAO : SIM – 04 67 84 34 58
Impression : ATELIER SIX – 04 67 63 52 00
3^{ème} trimestre 2005.

Contributions Techniques



- CT1 : Guide ROSELT/OSS pour l'évaluation et la surveillance de la végétation.
- CT2 : Guide ROSELT/OSS pour l'évaluation et le suivi des pratiques d'exploitation des ressources naturelles.
- CT3 : Manuel d'utilisation de l'outil SIEL - ROSELT/OSS (version 1.3).
- CT4 : Application des indicateurs écologiques de la dégradation des terres à l'observatoire de Menzel Habib (Tunisie).
- CT5 : Surveillance of ecological changes in the ROSELT/OSS observatory of El Omayed (Egypt) : first results.
- CT6 : Recherche des indicateurs de changement écologique et de la biodiversité dans l'observatoire de Oued Mird (Maroc) : premiers résultats.
- CT7 : Surveillance des changements écologiques dans l'observatoire ROSELT/OSS de Haddej-Bou Hedma (Tunisie) : premiers résultats.
- CT8 : Espaces-ressources-usages : première application du Système d'Information sur l'Environnement à l'échelle Locale sur l'observatoire ROSELT/OSS de Banizoumbou (Niger).
- CT9 : Recherche d'indicateurs de désertification par analyse comparative de quelques observatoires ROSELT/OSS.
- CT10 : Une approche spatiale pour la surveillance de la faune – Étude de cas au sud du Maroc : la vallée de l'oued Mird.
- CT11 : Guide pour l'évaluation et la surveillance des états de surface et des sols.
- CT12 : Système de circulation de l'information ROSELT/OSS : définition des métadonnées et élaboration des catalogues de référence.
- CT13 : Guide ROSELT/OSS pour la cartographie dynamique de la végétation et des paysages.
- CT14 : Fiches Techniques pour la construction de quelques indicateurs écologiques ROSELT/OSS.
- CT15 : Synthèse comparative de quatre années de surveillance environnementale sur trois observatoires ROSELT/OSS du Nord de l'Afrique : El Omayed, Haddej-Bou Hedma et Oued Mird.
- CT16 : L'approche foncière environnementale : droit et anthropologie à la rencontre des sciences écologiques.

Documents Scientifiques



- DS1 : Conception, organisation et mise en œuvre de ROSELT/OSS.
- DS2 : Organisation, fonctionnement et méthodes de ROSELT/OSS.
- DS3 : Concepts et méthodes du SIEL - ROSELT/OSS (Système d'Information sur l'Environnement à l'échelle Locale).
- DS4 : Indicateurs écologiques ROSELT/OSS. Une première approche méthodologique pour la surveillance de la biodiversité et des changements environnementaux.
- SD1 : Conceptual, organizational and operational framework of ROSELT/OSS.
- SD2 : ROSELT/OSS organization, operation and methods, edition 2001, revised in 2004.
- SD3 : Concepts and methods of ROSELT/OSS-LEIS (Local Environment Information System).
- SD4 : ROSELT/OSS ecological indicators first methodological approach for the surveillance of biodiversity and environmental changes.



ROSELT / OSS

Réseau d'Observatoires de Surveillance Écologique à Long Terme

Centre IRD

BP 64501 - 34394 Montpellier Cedex 5 - France

Tél. : (33 ou 0) 4 67 16 31 90

Fax : (33 ou 0) 4 67 16 31 99

www.roselt-oss.org

OSS

Observatoire du Sahara et du Sahel

Boulevard de l'Environnement

BP 31 - 1080 Tunis Cedex - Tunisie

Tél. : (216) 71 80 65 22 ou (216) 71 80 68 91

www.unesco.org/oss

IRD

Institut de Recherche pour le Développement

Chef de file de la coordination régionale ROSELT / OSS

Département Milieux et Environnement

213, rue La Fayette - 75480 Paris Cedex 10 - France

www.ird.fr