

CT NUMÉRO 1

RÉSEAU  
D'OBSERVATOIRES  
DE SURVEILLANCE  
ÉCOLOGIQUE À  
LONG TERME

**ROSELT/OSS**

**Guide méthodologique pour l'étude  
et le suivi de la flore et de la végétation**

OBSERVATOIRE  
DU SAHARA  
ET DU SAHEL



Collection ROSELT/OSS - Contribution Technique n° 1



Guide méthodologique pour l'étude  
et le suivi de la flore et de la végétation

Roselt/OSS

2008

Roselt/OSS CT1, 2007, Guide Roselt/OSS pour l'étude et le suivi de la flore et de la végétation, Collection Roselt/OSS, CT n° 1, Tunis, 175 p.

Auteur : Edouard Le Floch

Contributions : Dalila Nedjraoui (CRSTRA/USTHB, Algérie), Azziz Hirche, Abdelmajid Boughani (CRSTRA/USTHB, Algérie), Mostefa Salamani (CRSTRA/USTHB, Algérie), Mohamed Abdelrazik (Université d'Alexandrie, Egypte), Azaïez Ouled Belgacem (IRA, Tunisie), Amor Tbib (IRA, Tunisie), Ahmed Ramdane (ORMVAO), Abderhaman Aafi (DREF, Maroc), Mohamed Taleb (DREF, Maroc), Fadiala Dembele et Moussa Karembe (IER, Mali), Ali Mahamane (Niger), Abdoulaye Wélé (CSE, Sénégal), Magatte Ba (PDL, Sénégal), Ichaou Aboubacar (INRAN, Niger), Sibiri Ouedraogo (INERA, Burkina Faso), Sandrine Jauffret (OSS), Gilbert Long (ex-Président du CST/Roselt/OSS), Jean-Marc d'Herbès (IRD, Montpellier), Maud Loireau (IRD, Montpellier), Jean Christophe Desconnet (IRD, Montpellier), Olivia Delanoë (INEA) et Bertrand de Montmollin (BiolConseils, membre du CST/Roselt/OSS).

Photographie de couverture : Mélanie Requier-Desjardins, © OSS

ISBN : 978-9973-856-35-7

# Sommaire

<b>Introduction</b> .....	<b>3</b>
<b>Chapitre I : Zonage et échantillonnage de l'espace choix des sites étudiés et suivis</b> .....	<b>15</b>
Introduction .....	15
Zonage .....	18
I. Carte d'occupation des terres (COT) .....	20
A. La codification .....	21
B. Réalisation de la COT .....	28
C. Interprétation de la COT .....	30
II. Autres cartes thématiques dérivées .....	30
A. Carte des séquences de végétation .....	31
B. Carte de l'état actuel de la dégradation .....	31
C. Cartes de la sensibilité à la dégradation. ....	31
D. Carte des paysages .....	32
E. Carte de l'utilisation du sol et de son évolution .....	33
Echantillonnage .....	33
I. Définition et description de l'échantillonnage stratifié .....	36
II. Les phases de l'échantillonnage pour le programme Roselt/OSS .....	37
A. Phase de la caractérisation initiale des milieux et de l'état des ressources ..	37
B. Phase de suivi-surveillance .....	38
<b>CHOIX DES SITES DE MESURES ET D'OBSERVATIONS</b> .....	<b>40</b>
I. Phase de caractérisation initiale des milieux et de l'état des ressources	40
II. Phase de suivi-surveillance .....	41
<b>Chapitre II : Evaluation et surveillance de la végétation, des états de surface et des ressources</b> .....	<b>45</b>
Introduction .....	45

Caractérisation qualitative des milieux .....	51
I. Les méthodes de mesure et d'observation .....	52
A. Homogénéité (aire minimale) .....	52
II. Caractérisation de la composition et de la structure .....	57
C. Structure verticale .....	69
D. Paramètres calculés .....	71
Caractérisation quantitative des milieux .....	75
I. Phytomasse .....	75
A. Définition et concepts .....	75
B. Protocoles de mesure .....	76
II. Production et Productivité .....	83
<b>Chapitre III : Evaluation et surveillance de la biodiversité à divers niveaux</b> .....	<b>87</b>
Introduction .....	87
Concepts généraux .....	87
Protocoles de collecte des données .....	89
I. Délimitation et qualification des paysages et des biotopes .....	90
II. Choix des sites et stations .....	91
A. Etape de caractérisation de l'état initial .....	91
B. Etape de suivi-surveillance .....	91
III. Recensements floristiques : établissement des listes floristiques ....	91
IV. Quantification des taxons .....	92
A. Evaluation de l'abondance-dominance .....	93
B. Mesure du recouvrement (Contribution spécifique) .....	93
INTERPRETATIONS .....	94
I. Richesse stationnelle et ses diverses expressions .....	94
II. La diversité spécifique .....	100

<b>Chapitre IV : Evaluation et surveillance de la diversité écologique et structurelle des paysages</b>	<b>105</b>
Introduction	105
Concepts	105
I. Diversité écologique (diversité des biotopes)	106
A. Protocole	106
B. Traitement des données	107
C. Interprétation	107
II. Diversité structurelle	108
<b>Chapitre V : Métadonnées</b>	<b>111</b>
I. Métadonnées pour la description des jeux de données d'un inventaire des habitats, de la flore et de sa diversité	111
II. Métadonnées pour la description des jeux de données d'un inventaire de la végétation	112
<b>Chapitre VI :Récapitulatif des paramètres à relever</b>	<b>115</b>
<b>Références bibliographiques</b>	<b>117</b>
<b>Annexe I a. Etablissement de la carte d'occupation des terres</b>	<b>129</b>
A- Conception & définitions	129
B- Réalisation	130
<b>Annexe I b. Rappel des différentes méthodes d'échantillonnage</b>	<b>143</b>
A. Méthodes « non probabilistes »	143
B. Méthodes probabilistes	144
<b>Annexe I c. esure de la qualité d'un échantillonnage</b>	<b>151</b>
<b>Annexe II a. Méthodes usuelles de mesures du recouvrement de la végétation</b>	<b>153</b>
A. La méthode linéaire	153
B. Les points-quadrats	153
C. La lecture par segments	157
D. La méthode de la ligne d'interception	157

<b>Annexe II b. Méthodes usuelles de mesure de la phytomasse</b> .....	<b>159</b>
A. Définitions .....	159
B. Problèmes fondamentaux .....	159
C. Mesure de la Phytomasse pastorale totale .....	161
<b>Glossaire</b> .....	<b>167</b>

# Introduction

Suite au Sommet de la Terre, tenu à Rio en 1992, les problèmes liés à la dégradation des milieux : perte de diversité biologique, diminution quantitative des ressources naturelles, etc., ont pris une ampleur considérable sur les plans politique, économique, social et culturel.

Des conventions environnementales ont été élaborées (en particulier sur la diversité biologique et sur la lutte contre la désertification) et approuvées, avec pour objectif d'inciter les pays à préserver les écosystèmes dans un cadre réglementaire et législatif concerté. Cependant, il n'en reste pas moins nécessaire de considérer que les problèmes ne peuvent être réglés qu'en prenant en compte les réalités dynamiques de terrain (hommes-ressources-espaces). C'est pour cette raison que la communauté internationale s'est délibérément tournée vers les scientifiques espérant qu'à terme l'amélioration des connaissances et une meilleure compréhension des mécanismes déterminant les processus de dégradation des terres et de perte de biodiversité permettront d'améliorer la gestion des milieux et des ressources, et de juguler (voire de réparer) ainsi les effets des graves mésusages passés.

La Convention sur la diversité biologique a pour objectifs *la conservation de la diversité biologique, la gestion durable de ses composantes et le partage juste et équitable des bénéfices provenant de l'utilisation des ressources génétiques*. Le terme diversité biologique (ou biodiversité) est, du moins dans ce contexte, communément utilisé pour décrire le nombre et la variabilité des organismes vivants au niveau des biotopes. Il s'agit notamment de la diversité au sein d'un même taxon (diversité génétique), au niveau des divers taxons (diversité spécifique) et parmi les écosystèmes (diversité écosystémique). Cette expression 'diversité biologique' peut également concerner la valeur intrinsèque des organismes vivants dans leurs habitats (biotopes) et ce, pour divers points de vue : écologique, génétique, social, économique, éducationnel, culturel, etc.

La Convention de lutte contre la désertification a pour objectifs *de combattre la désertification, d'atténuer les effets de la sécheresse sur les ressources et d'accroître le niveau de vie des populations*. Le contenu du mot désertification signifie, de fait, la dégradation des terres en régions sèches, et recouvre une large gamme de processus et des manifestations plus ou moins graves. Il ne faut cependant pas confondre dégradation et sécheresse, la part de l'homme étant élevée dans la mise en œuvre des processus de la dégradation. Les actions anthropiques (surpâturage, agression des façons culturales dans les milieux les plus fragiles, etc.) déterminent des modifications plus ou moins irréversibles au niveau à la fois des sols (fertilité, épaisseur, etc.) et de la

végétation (composition floristique, couvert végétal, etc.). En clair, dans un contexte climatique donné, les activités humaines menacent plus ou moins gravement et directement la biosphère.

En Afrique sèche, la disponibilité en terres (pâturages naturels, friches, jachères, parcelles cultivées irriguées ou non, etc.) joue, pour un contexte social donné, un rôle fondamental dans la détermination des systèmes de production. Ces terres sont soumises à une pression humaine croissante (surpâturage, prélèvements divers, mise en culture), engendrant généralement une dynamique régressive (dégradation) des écosystèmes. Il s'avère que les systèmes pastoraux, tropicaux ou méditerranéens, mais également les agrosystèmes, sont complexes et de nombreux facteurs interagissent pour en déterminer les caractéristiques.

Les écosystèmes (ou biotopes ou unités de milieux) peuvent être décrits par leurs caractéristiques propres (composition, structure, fonctionnement, etc.), mais également par les divers facteurs, dits environnementaux, qui les définissent (climat, géologie, etc.). Ces divers paramètres peuvent être classés comme suit :

- les paramètres écologiques :
  - o abiotiques : le climat (variabilité et risques), le substrat, la topographie ;
  - o biotiques :
    - la flore et la végétation (physionomie végétale, couvert végétal, flore et production végétale) ;
    - la faune, en particulier domestique (espèces, densité, besoins alimentaires, charge, production) ;
- les paramètres socio-économiques :
  - o unités de production (population, occupation et utilisation de l'espace et des ressources, accessibilité aux espaces, etc.) ;
  - o facteurs économiques (possibilité de commercialisation, etc.) ;
- les services rendus par les écosystèmes (notés ici pour mémoire).

L'affirmation selon laquelle les activités anthropiques menacent fortement, du court au long terme, les espaces et les ressources (adéquation délicate environnement-développement) a comme corollaire que la surveillance du processus et des conséquences des interactions activités humaines-environnement devient capitale. Cette surveillance sera d'autant plus utile qu'elle contribuera effectivement au choix des bonnes décisions de gestion afin de minorer les méfaits de la dégradation des milieux (espaces et ressources) et d'accéder ainsi à des pratiques de gestion convenables.

Le contexte général des sciences et techniques a rendu progressivement possible la mise en œuvre de la chaîne des opérations de la surveillance écologique (et du suivi-évaluation). Le développement des moyens d'observation de la Terre (satellites géostationnaires d'observation de la Terre) et de collecte ainsi que de traitement de données (modélisation) permet actuellement de rendre compte de l'impact des activités humaines aux divers niveaux hiérarchiques de l'espace (de la parcelle au biome et à la planète). Un certain nombre de programmes ont émergé, avec l'explicitation des notions de *développement durable*, de *changements climatiques globaux*, de *biodiversité* et de *désertification*, qui ont donné de nouvelles dimensions aux démarches de surveillance écologique. Ces programmes s'intéressent donc à :

- l'évaluation de la gravité des phénomènes de détérioration des espaces, et des ressources qu'ils contiennent ;
- l'identification des solutions les plus appropriées pour enrayer, ou du moins, réduire les effets des processus de cette dégradation.

Progressivement, les bases conceptuelles et méthodologiques de la surveillance écologique ont été élaborées. Ainsi le modèle dit de *Pressions-Etat-Réponses* fondé sur le raisonnement qui veut que les activités humaines entraînent des pressions sur les milieux et en modifient l'état est fréquemment retenu pour caractériser l'apparition et l'extension des phénomènes de dégradation des milieux. Retenons cependant que la dégradation des parcours étant progressive (et non linéaire), ce modèle ne s'applique pas parfaitement. Les décideurs (depuis les paysans jusqu'aux politiques) réagissent à toute nouvelle situation, ainsi créée, en modifiant leurs pratiques d'utilisation de ces espaces et des ressources.

La dégradation des milieux est sous la dépendance de nombreux facteurs agissant à diverses échelles d'espace et de temps. Les plus actifs et les plus influents, sur l'évolution de ces milieux, sont le climat et l'action de l'homme sous ses formes multiples. Le choix d'indicateurs performants (descripteurs pertinents et fiables), prenant en compte à la fois les divers champs disciplinaires et les niveaux hiérarchiques d'espace impliqués, peut permettre d'évaluer avec suffisamment de précision l'état des espaces et des ressources.

Un tel suivi de l'état des espaces et des milieux, à l'aide d'indicateurs, est envisageable et il peut devenir efficace dès lors qu'il est fondé sur les attendus suivants :

- le suivi des changements écologiques ne permet pas, à lui seul, de prédire le devenir des espaces et des ressources ; il est désormais admis qu'il est impératif de tenir également compte des processus économiques, sociaux, ethniques, etc. ;

- la compréhension des raisons des changements observés rend nécessaire d'évaluer et de mesurer les facteurs explicatifs et donc de formuler des hypothèses sur la nature de ces facteurs ;
- la mise en évidence des changements écologiques nécessite la répétition, à intervalle raisonné, des mêmes mesures effectuées selon les mêmes procédures ;
- l'extrapolation des résultats de recherches écologiques ne peut être effective que sur des pas de temps compatibles avec le fait que de nouvelles interactions peuvent toujours apparaître.

Il ressort de la prise en compte de ces attendus la nécessité de tirer un certain nombre de conclusions, telles que :

- la nécessaire interdisciplinarité (choix d'indicateurs pertinents dans diverses disciplines scientifiques ou non) ;
- la nécessaire prise en compte des connaissances déjà acquises (station ayant une histoire scientifique connue) ;
- la mise en œuvre d'un programme de surveillance environnementale harmonisé à long terme (observatoires de terrain étudiés, si possible, en réseau à fin de comparaison) ;
- le suivi d'indicateurs performants pour la description de l'état et de la dynamique des milieux et relatifs soit aux paramètres de composition (floristique, faunistique, micro-organismes), de structure, de fonctionnement ou encore aux services rendus par ces milieux.

Le programme Roselt (Réseau d'observatoires de surveillance écologique à long terme), pour les régions arides et semi-arides circum-sahariennes, qui est l'un des programmes lancés par l'Observatoire de Sahara et du Sahel (OSS), concorde parfaitement avec les divers points évoqués précédemment. Il est le premier réseau de cet ordre en Afrique et a pour missions essentielles :

- d'organiser une surveillance scientifique de l'environnement afin : i) de caractériser les causes et les effets de la dégradation des terres, et ii) de mieux comprendre les mécanismes qui conduisent à la désertification ;
- d'acquérir des données fiables sur la dégradation des terres en zones arides, de dégager des indicateurs biophysiques et socio-économiques pertinents de la désertification, et d'établir un état de l'environnement de la zone Roselt/OSS ;
- de fournir des aides à la décision afin d'améliorer la gestion des milieux et de juguler l'extension des phénomènes qui conduisent à leur dégradation.

Il s'agit d'un programme ambitieux consistant d'abord à évaluer les changements des écosystèmes dans l'espace (de la station à l'observatoire) et dans le temps

(pas de temps du saisonnier au pluriannuel et à l'opportuniste). La menée à bonne fin d'un tel programme est difficile car, à la nécessaire disponibilité d'équipes interdisciplinaires, s'ajoute la délicate obligation de tenter de fonctionner en réseau dans, et entre, un grand nombre de pays.

Pour une situation donnée du programme Roselt/OSS, l'ensemble des travaux (cartographie, mesures et observations de caractérisation et de surveillance) se déroulent donc dans ce que l'on nomme un *observatoire*. Il s'agit de fait, le plus souvent, d'une région naturelle (tabl. 1), représentative d'un espace plus étendu, bénéficiant si possible d'une histoire de collecte d'informations scientifiques mobilisables, et située dans les meilleurs des cas à proximité d'un espace naturel bénéficiant de mesures de protection (parc national, réserve de biosphère, etc.). De fait, les observatoires retenus ne répondent, le plus souvent, qu'imparfaitement aux critères de labellisation adoptés dans le cadre Roselt (Roselt/OSS, 1995) à savoir : intérêt écologique au sens large, acquis scientifiques au sens large, capacité logistique et opérationnelle. D'autres critères (accessibilité, intérêt pour plusieurs équipes de recherche, etc.) ont parfois, heureusement, prévalu.

Dans l'absolu, le respect rigoureux de la démarche aurait imposé d'effectuer un premier zonage majeur, au niveau circum-saharien (autrement dit l'espace Roselt/OSS), sur la base de trois catégories de composantes : physique (climat), biologique (végétation, faune), anthropique (occupation du sol). Ceci aurait alors permis une répartition raisonnée (représentativité, répartition, équilibres nationaux et régionaux, etc.) des observatoires Roselt/OSS dans les grandes unités de ce zonage régional. La démarche suivie a été plus pragmatique mais étant cependant très réfléchie elle s'est révélée être efficace (Quillevéré, 2004) même si la situation a par la suite imposé que soit testée l'adéquation des choix opérés avec les résultats d'une démarche plus 'conforme'.

Le souhait de travailler en réseau rend nécessaire de recourir à des indicateurs testés et validés dans les différents observatoires, mais également de mettre en place des procédures communes (ou à défaut cohérentes) de collecte des données (depuis le choix des stations jusqu'à la mesure de terrain), de traitement et d'interprétation des résultats.

C'est en référence au document « Organisation, fonctionnement et méthodes de Roselt » (Roselt/OSS, 2001), et à la présentation du schéma conceptuel global pour l'étude des changements environnementaux dans le réseau, que le présent guide méthodologique a été élaboré en vue de proposer une approche méthodologique harmonisée de collecte, de traitement et d'analyse des données relatives à la flore et à la végétation (d'autres guides concernent les autres composantes des systèmes biophysiques).

Ce Guide a pour objectif essentiel d'exposer les démarches communes, de zonage, d'échantillonnage et de mesures de paramètres, retenues dans le cadre de Roselt/OSS. Il concerne aussi les méthodes majeures d'interprétation des résultats incluant donc les diverses activités depuis la fabrication de nouveaux indicateurs par calcul, le calcul d'indices et leur interprétation. Sera donc, en toute logique, successivement exposé dans la deuxième partie de ce document le contenu des chapitres suivants :

- zonage et échantillonnage de l'espace (Chap. I),
- évaluation et surveillance, de la végétation, des états de surface et des ressources (Chap. II),
- évaluation et surveillance de la biodiversité, à divers niveaux d'espace (Chap. III),
- évaluation et surveillance de la diversité écologique des paysages (Chap. IV).

Il serait possible, et très aisé, de faire des propositions maximalistes de grande robustesse théorique et très rassurantes pour les concepteurs du Programme pour ce qui est de l'assurance d'accéder aux informations les plus pertinentes. Dans le contexte de développement de Roselt/OSS, ceci serait franchement illusoire, voire absurde. L'on se trouve, de fait, face à un dilemme important concernant le choix des données à collecter afin de satisfaire aux objectifs tout en tenant compte de ce qui est réellement possible. Il nous faudra donc souvent effectuer des arbitrages en considérant, d'une part, les objectifs, et, d'autre part, l'étendue de la tâche et des moyens raisonnablement mobilisables (temps, finances et compétences) au niveau des observatoires.

Un point important à garder en mémoire est le mot *Surveillance* employé dans la définition du programme Roselt/OSS. Il s'agit bien de surveillance et non seulement de suivi. Le terme même de surveillance contient ici les notions d'indicateurs (au niveau des protocoles de terrain) et de seuils (dans l'interprétation des résultats). Pour cette raison le terme de suivi-surveillance est parfois employé dans la suite de ce texte.

Un autre dilemme, auquel les opérateurs de terrain du programme Roselt/OSS ont à faire face, est celui de la durée. Les opérations de caractérisation ne constituent qu'une première étape et il est évident que des difficultés naîtront avec le temps, rendant peut-être délicat le maintien des opérations de suivi. En effet, les mesures et les observations doivent pouvoir être toujours menées avec la même rigueur sur le moyen ou même le long terme avec des observateurs qui ne seront pas toujours les mêmes. Les paramètres à mesurer et/ou à observer devront correspondre à des protocoles simples et bien expliqués. Ces paramètres devront également être en nombre, relativement, réduit pour ne pas grever les

activités de chercheurs, par ailleurs, très sollicités. La majorité des travaux de recherche se font sur le court terme pour des raisons de rapport favorable entre temps consacré et possibilité de publication dans des revues internationales. Le suivi environnemental, et c'est là tout son bénéfice, est une tâche à long terme, ce qui contraint le chercheur à s'inscrire dans une toute autre démarche. Il serait vraisemblablement possible d'associer cette démarche de suivi avec une démarche basée sur des travaux procurant des résultats plus immédiats.



# Chapitre I :

## Zonage et échantillonnage de l'espace choix des sites étudiés et suivis

### INTRODUCTION

Rappelons que la délimitation des observatoires Roselt/OSS n'a, du moins à l'origine, pas toujours été effectuée avec une grande clarté. L'expérience a montré cependant qu'il a toujours été possible de modifier, si besoin était, les limites pour leur donner une certaine cohérence vis-à-vis des objectifs du programme.

Un des obstacles au dialogue, sur le terrain entre les spécialistes impliqués, est lié au fait que les références diffèrent entre disciplines (et parfois pour la même discipline) en ce qui concerne les unités de milieux et les niveaux de perception d'espace. Il en découle souvent des différences d'échelles de travail auxquelles doivent se dérouler les travaux de terrain. Les spécialistes des sciences de la nature doivent, dans le souci d'améliorer le dialogue avec les autres scientifiques, bien définir leurs besoins. Les écologues ont, dans ce sens, retenu (Long, 1974) une pyramide de niveaux de perception écologique de l'espace avec cinq niveaux principaux emboîtés : zone, région, secteur, station, élément. A chacun de ces niveaux correspondent :

- des unités identifiables de végétation,
- des variables (ou des états de variables) écologiques prépondérantes,
- des niveaux d'intégration des systèmes écologiques,
- des échelles d'expression cartographique aptes à traduire les caractères analytiques ou synthétiques propres à chaque niveau.

Il importe, dans le cadre du programme Roselt/OSS, de ne pas se tromper de cible. L'objectif primordial de suivi-surveillance n'implique nullement, même si ce n'est pas exclu, de réaliser des travaux académiques, longs et fastidieux. Il faut donc garder raison en choisissant la démarche appropriée pour accéder, avec les moyens disponibles, à une bonne connaissance des milieux considérés. L'établissement de la Carte d'occupation des terres et la phase de zonage qui lui fait suite doivent pouvoir être réalisées dans des délais raisonnables et compatibles avec les charges des scientifiques. Dans le cadre des observatoires Roselt/OSS, les activités de mesures et d'observations de terrain sont, le plus souvent, limitées dans le temps et se déroulent sur des terrains parfois fort éloignés. Généralement les travaux de terrain se limitent à une seule campagne annuelle de mesures et d'observations. Il importe de tenir compte de cette

réalité non pas pour libérer les scientifiques de la nécessaire rigueur scientifique, mais plutôt pour les inciter à user de stratagèmes pour dégager le nécessaire du superflu. La vertu est, ici, quelque part entre le trop et le trop peu. Les campagnes de terrain seraient inutiles si elles ne permettaient qu'une accumulation de données factuelles ininterprétables. Un effort supplémentaire, même limité mais réfléchi et concerté, peut parfois permettre d'améliorer considérablement l'intérêt des données collectées lors d'une campagne. Il est déjà évident que dégager le nécessaire implique des efforts considérables de concertation et de coordination entre les scientifiques (chercheurs et techniciens) intervenant dans la collecte des données en particulier de terrain.

Il serait, certes, confortable au niveau du programme Roselt/OSS de disposer, sur tous les observatoires, de travaux relatifs à la mise en évidence des corrélations végétation-milieu (profils écologiques, groupes écologiques, ordination des unités, etc.). Là où elles font encore défaut, il n'est pas proposable que de tels travaux soient impérativement entrepris pour prétendre s'inscrire dans la problématique Roselt.

Dans les activités du programme Roselt/OSS, le zonage présente un intérêt double. Il constitue : a) un cadre initial de réflexion pour la conception de l'échantillonnage et la localisation des sites de mesures ; mais également b) une donnée définissant le stade initial et pouvant être réactualisée dans les opérations de suivi-surveillance (cf. § B.2). En effet, les modifications de la situation dans l'espace et de l'étendue des diverses formations végétales (cultivées ou non) constituent autant d'indications pouvant être traduites sous forme de nouveaux zonages de grand intérêt pour un suivi-surveillance.

Au tableau 1, les niveaux hiérarchiques suivants d'espace ont été retenus : la région (observatoire), le paysage (équivalent à secteur), l'écosystème (biotope). Les notions d'observatoire et de station ne constituent pas des niveaux hiérarchiques de perception de l'espace et ne sont donc pas inscrits dans ce tableau.

De même, au même tableau 1, il est possible de distinguer des niveaux hiérarchiques biologiques (à la fois taxonomique et génétique) auxquels sont effectuées les mesures de terrain du programme Roselt/OSS à savoir : la communauté et les espèces.

Dans la nature, la première diversité que l'on perçoit, alors que l'on se déplace sur le terrain, est une mosaïque de formations végétales à divers stades de leur développement (jachère, friches, steppes, savanes, champs, etc.). Il est moins évident de concevoir qu'il s'agit en réalité d'une mosaïque mouvante dans le

temps (de la saison à l'année). Ainsi, par exemple, le couvert de la végétation, qu'elle soit spontanée ou cultivée, change au cours de l'année et lors de la succession des années. C'est de cette double réalité espace et temps qu'il faut tenter de rendre au travers de la cartographie.

Le zonage de l'espace doit pouvoir être effectué à des niveaux de perception et de précision (échelle) compatibles avec les divers besoins du programme Roselt/OSS. Un tel zonage est nécessaire et constitue de fait la première étape dans la démarche proposée ici. C'est certainement, aussi, sur la répétition de zonages dans le temps que doit être fondé le premier stade du suivi-surveillance. Le zonage présente, ainsi que cela a déjà été évoqué, un intérêt double : a) pour la caractérisation de l'état initial et b) éventuellement comme outil pour le suivi.

S'il est difficile d'envisager que le levé de cartes aussi complètes que la Carte d'occupation des terres (COT, voir § A qui suit) soit effectué à des pas de temps rapprochés et décidés arbitrairement, il est par contre envisageable que :

- soit assuré le suivi (et les levés cartographiques) sur une portion particulièrement sensible du territoire de l'Observatoire,
- soit répété, au pas de temps décidé, le zonage d'un thème (par exemple l'utilisation des terres) dont le levé peut-être amplement facilité par le recours à la télédétection satellitaire. Cette démarche amènera à n'intervenir de manière plus lourde que quand quelques signaux d'alerte auront été décelés.

De par son aspect synoptique et diachronique, sa résolution spatiale et spectrale, la télédétection satellitaire doit être considérée comme étant un outil de choix pour la menée à bonne fin de la réalisation de tels documents. Les images satellitaires à basse et à haute résolution permettent, en effet, assez aisément, d'évaluer certains paramètres tels que : le recouvrement de la végétation, les états de surface du sol, les ressources hydriques, etc., et ce, par les variations de signatures spectrales et des validations au sol. Il est souvent capital de pouvoir disposer d'un jeu d'images à plusieurs dates et au minimum aux deux dates contrastées que sont le pic de végétation et le milieu de la saison sèche.

Au tableau 1, nous avons tenté de synthétiser les informations et les relations concernant les niveaux hiérarchiques, les observations et mesures et les objectifs du programme Roselt/OSS.

Tableau 1 : mesures et observations Roselt/OSS aux différents niveaux de perception et d'organisation de l'espace et du vivant

Niveaux hiérarchiques		Opérations, Mesures & Observations 'Roselt'	Objectifs 'Roselt' (Thèmes d'étude et de suivi)
Ecologique (espace)	Taxonomique (vivant)		
Région écologique		ZONAGE  Choix et délimitation de l'Observatoire Carte de l'occupation des terres  Elaboration du tabl. d'échantillonnage	<i>Représentativité de l'espace retenu Interrelations des paysages</i>
Paysage		Choix des toposéquences, et transects Caractérisation des paysages	<i>Interactions Homme-Milieu Caractérisation initiale/Suivi Connexité, Fragmentation</i>
Ecosystème & Elément ou Parcelle	Communauté	Choix et caractérisation des sites et biotopes (aire minimale) Inventaire floristique Mesures : couvert, biomasse, etc. Rendements agricoles	<i>Cartographie Caractérisation des milieux Biodiversité Evaluation des ressources Suivi de l'évolution des milieux</i>
	Population & Espèces	Abondance/Dominance Appétibilité Traits de vie	<i>Causalité Biodiversité</i>

## ZONAGE

L'établissement d'une carte phytoécologique est un travail long et complexe. Il paraît dès lors intéressant de proposer le passage par une cartographie, plus analytique, plus rapide à exécuter sur le terrain et cependant susceptible de satisfaire au besoin de constituer une base sérieuse pour tous les travaux ultérieurs.

Un tel document répondant à la dénomination de 'Carte d'occupation des terres' (COT) présente comme avantages :

- d'être d'un levé assez rapide, s'il est possible de bénéficier du recours à la télédétection (De Wispelaere & Waksman, 1977, etc.) ; ceci permet d'envisager des travaux diachroniques comparatifs si l'on choisit, bien à propos, la périodicité et/ou les portions de territoire où la cartographie sera renouvelée ;
- d'offrir la possibilité d'effectuer un zonage hiérarchisé en régions, sous-régions ou encore unités de milieux. Un tel zonage est une base fondamentale, en particulier, pour l'établissement d'un système de surveillance de l'évolution des espaces et des ressources.

## Questions de sémantique

Ces définitions élaborées lors de conversations, entre des membres de la Coordination Roselt/OSS, ont été adoptées pour ce guide.

Occupation des terres (angl. *Land cover*). Il serait certainement plus opportun d'avoir recours au terme 'Recouvrement des terres' et d'ajouter, aux notions déjà contenues dans la Carte d'occupation des terres (COT) et relatives à la description de la végétation, la description des états de surface, au sens partie superficielle du sol.

Utilisation du sol (angl. *Land Use*). La Carte d'utilisation du sol (*Land use map*), à préférer à 'Occupation du sol', correspond à ce qui ailleurs est dénommé 'Carte des types d'usage' (zone agricole, zone forestière, etc.).

Affectation parcellaire de l'utilisation du sol (angl. *Land use allocation*). Ce terme est à préférer à celui d'Occupation du sol pour les travaux scientifiques traitant de l'Utilisation du sol au niveau parcellaire (champ cultivé en telle espèce, jachère de tel âge, etc.).

## Relations avec les Unités spatiales de référence (USR) au CT n° 2 (2005).

Pour analyser la dynamique des changements environnementaux, la proposition méthodologique, rapportée au CT n° 2, consiste à distinguer formellement deux plans d'information spatiale exprimant deux séries de facteurs. C'est seulement par la confrontation ultérieure de ces deux plans que l'on peut évaluer l'impact de l'un sur l'autre et les rétroactions qui peuvent en découler.

Il s'agit donc de délimiter, d'une part, des *espaces homogènes du point de vue biophysique* (Unités paysagères = UP), d'autre part, des *espaces homogènes du point de vue des pratiques d'exploitation des ressources par l'homme* (Unités de pratiques combinées = UPC). L'intersection de ces deux plans d'information spatiale détermine des Unités Spatiales de Référence (USR). L'ensemble des USR reconstruit un paysage sur lequel il est devenu possible de connaître la part respective de ces deux séries de facteurs en interaction.

La définition des USR fait partie intégrante des phases 'diagnostic' dans les observatoires Roselt/OSS, c'est-à-dire qu'elle doit être réitérée à intervalles réguliers et compatibles avec la dynamique des changements que l'on veut mettre en évidence (5 à 10 ans).

Le multi-usage de l'espace et des ressources est la règle dans la plupart des zones arides et semi-arides. Les caractéristiques des USR sont donc issues de divers modes d'utilisation, et déterminent la nature et la quantité de ressources pour les usages considérés.

L'objectif étant d'analyser l'état et l'évolution des USR en fonction de ces différents modes d'utilisation, associés à autant de modes de gestion, une *approche analytique, par module*, est privilégiée avant de réaliser un bilan constituant la synthèse des interventions et des prélèvements. Chaque usage est associé à une (des) ressource(s) et leurs relations dans le temps et l'espace sont spécifiques.

## I. Carte d'occupation des terres (COT)

Notons que les règles habituelles d'établissement de ce document ont été sensiblement modifiées suite à la décision d'y ajouter la proposition de relever, conjointement à la végétation, les états de la surface du sol. Il s'agit donc d'une COT 'révisée' cependant dénommée COT.

### *Concept et principes*

La démarche se fonde sur le postulat selon lequel la végétation actuelle et les états de surface constituent des variables synthétiques traduisant les réponses du milieu aux pressions exercées par l'homme (techniques diverses, pression pastorale, etc.). La notion de pression humaine (degré d'artificialisation) permet d'affiner la connaissance des milieux en ajoutant quelques éléments de description des conditions d'exploitation et d'utilisation par l'homme des espaces et des ressources qu'ils exploitent. En ce sens, la COT constitue déjà une étude et une expression des ressources végétales actuelles et de leur localisation dans l'espace.

Ce type de document polycritérique a d'abord été proposé pour satisfaire aux besoins de description quantitative du milieu sous une forme cartographique. Il s'agit de fait de représenter (et donc d'effectuer un zonage) des éléments de la couverture du sol, à savoir :

- la végétation actuelle au travers des types de végétaux dominants, de leurs stratifications verticale (strates de hauteur) et horizontale (recouvrement), et des espèces végétales dominantes et co-dominantes par strates et d'y adjoindre des informations relatives au niveau de pression anthropique (degré d'artificialisation) sur le milieu.
- les états de la surface du sol. L'initiative d'ajouter cette information au contenu de la COT se révélera, certainement, très fructueuse, l'évolution des milieux se traduisant, également, par des modifications (déflation, accumulation, etc.) parfois importantes des éléments superficiels du sol (sables, croûtes, pellicules de battance, pierres, etc.).

## Recommandations

L'adjonction à la COT d'une rubrique *Indices d'évolution des milieux* ne serait pas superflue pour les documents établis en zones arides et semi-arides et plus particulièrement dans les projets de suivi-surveillance.

Le relevé mais également l'interprétation des données de terrain doivent avoir comme axe prioritaire la vision dynamique des milieux et des systèmes. Il s'agit, ici, de se montrer attentif aux signes (indices) pouvant aider à une compréhension claire de l'évolution (progression, stabilité ou régression) de l'état des ressources et des espaces qui les portent. Toutes les indications, même qualitatives et relatives, sont concernées par exemple : la densité relative des germinations (éventuellement évaluation du stock de graines viables du sol), l'évaluation de la démographie des peuplements (% individus jeunes/âgés), indices de déflation du sol, de déchaussement des plantes ou encore épaisseur du voile éolien, etc.

Il faut également insister sur le fait que, dans les situations les plus dégradées, l'on atteint aisément des stades où la végétation rare et la flore très homogénéisée ne permettent plus de discerner des indicateurs fiables d'évolution des milieux. Il semble que seuls les indicateurs liés à la géomorphologie, sous ses aspects les plus dynamiques, peuvent prendre très utilement le relais pour l'évaluation de la gravité de la dégradation des milieux.

### *Protocoles pratiques*

Concrètement, il importe, après avoir décidé d'un itinéraire sur carte topographique, ou mieux sur photographie aérienne ou autre document de télédétection, de parcourir l'ensemble du territoire de l'Observatoire et de placer, à chaque fois que l'on rencontre une nouvelle situation (type de végétation, d'utilisation du sol, etc.) un relevé assez sommaire du milieu. Ce travail conduit à survoler ainsi l'ensemble du territoire de l'Observatoire. De tels relevés sommaires, correctement localisés, sont réduits à une brève description de la végétation (espèces, hauteur, couvert, etc.) et de l'état de la surface du sol. Les informations ainsi relevées et collectées, sur une série de quelques dizaines de telles descriptions brèves, sont synthétisées. Cette synthèse conduit à l'établissement d'une première esquisse de la légende de la COT. L'on peut à partir de là également débiter la codification, de la réalité locale, proposée au § qui suit. Elle sera affinée par la suite.

#### *A. La codification*

Quelques règles pratiques de codification des observations et mesures de terrain sont proposées. Leur large adoption faciliterait la lecture générale,

homogène, de cartes et autres documents établis sur le même thème pour divers sites, éventuellement, localisés dans divers pays et divers biomes.

## 1. La végétation actuelle

### a. Types de végétaux dominants

Une codification détaillée a été proposée par Godron et al. (1968, 1969) qui est détaillée à l'annexe I.a. Globalement l'on distingue les grands types végétaux suivants (Tableau 2), constituant autant de strates :

Tableau 2 : distinction entre les grands types de végétaux

- Ligneux :	hauts (hauteur supérieure à 2 m)	Code = LH
	bas (hauteur inférieure à 2 m)	Code = LB
- Herbacées :	pérennes	Code = H
	annuelles	Code = h

Cette donnée est déjà essentielle et, par exemple, la végétation dite "steppique" des zones arides nord-africaines est dominée par la catégorie 'ligneux bas', alors qu'au sud du Sahara les savanes arborées sont elles dominées par les ligneux hauts et les herbacées pérennes.

Une telle classification très générale doit pouvoir être adaptée afin de permettre la description correcte de certaines situations particulières. Ainsi en Amérique latine, il serait nécessaire d'ajouter (Etienne et al., 1983) une catégorie cactoïdes végétaux non directement assimilables à des ligneux hauts. La même adaptation serait à employer par exemple pour décrire certaines formations d'Euphorbes cactiformes du littoral marocain. Ce cas particulier n'est pas exclusif, d'autres singularités pouvant exister dans l'aire du programme Roselt/OSS.

### b. Structure de la végétation

#### b1. Structure verticale (strates de hauteur)

Il est évident que la proposition générale, évoquée ci-dessous, devra pouvoir également tenir compte de la taille des végétaux. Par exemple, il sera nécessaire, en Afrique sud-saharienne, de subdiviser la catégorie 'ligneux hauts' en fonction de leur hauteur parfois très supérieure à 2 m. Des exemples de telles adaptations sont rapportées dans Le Floc'h, 1979 ; Etienne et al., 1983 ; Ayyad & Le Floc'h, 1983. Il reste important de tenter de s'inscrire dans une codification si possible homogène (même si elle n'est pas uniforme) et c'est pourquoi nous proposons le cadre suivant (Tableau 3) où le code des hauteurs est combiné avec celui des types de végétaux dominants précédemment évoqués.

Tableau 3 : codification de la structure verticale (strates de hauteur)

	<b>Classe</b>	<b>Code</b>
Ligneux hauts (LH), hauteur > 2m	2-4 m	LHa
	4-8 m	LHb
	8-16 m	LHc
	> 16	LHd
Ligneux bas (LB), hauteur > 2m	0-0,25 m	LBa
	0,25-0,50 m	LBc
	0,50- 1 m	LBd
	1-2 m	LBC
Herbacées pérennes (H & h)	0-0,25 m	Ha
	0,25-0,50 m	Hb
	0,50- 1 m	Hc
	> 1 m	Hd

### *b2. Structure horizontale (recouvrement)*

Les espèces herbacées, et surtout les annuelles, sont susceptibles de présenter de très grandes variations interannuelles (voire inter-saisonnières), de recouvrement et de ce fait, les données de couvert les concernant mériteront d'être interprétées avec circonspection en tenant compte, en particulier, des données climatiques de la période.

Pour de telles raisons, certains auteurs proposent de porter surtout l'attention aux informations concernant les végétaux pérennes, moins sujets à de telles variations sur le relativement court terme.

Pour un espace aussi vaste que celui concerné par le programme Roselt/OSS, des adaptations régionales sont nécessaires pour parvenir à rendre compte de certaines particularités telles que l'abondance des ligneux bas au nord du Sahara, la coexistence de strates ligneuses hautes et herbacées souvent annuelles au Sahel et à l'abondance de fourrés épineux en Afrique de l'Est. Ce qui importe reste, bien entendu, la cohérence vis-à-vis du schéma d'ensemble retenu dans le cadre de Roselt/OSS. Les seuils de couvert sont délicats à adopter, chaque situation ayant des valeurs seuils. Les difficultés résident dans la possibilité de bénéficier à la fois a) du recours à la télédétection et b) d'une signification vis-à-vis de la dégradation. Les seuils ne sont pas nécessairement les mêmes.

La codification adoptée dans le code rédigé par Godron et *al.* (1968) suivante n'est pas retenue ici. Nous avons en effet opté, étant donné la variabilité des situations rencontrées, pour une vision nettement plus analytique où la même importance est accordée aux couverts quel que soit le type de végétaux impliqués. Les classes de couvert retenues sont les suivantes (Tableau 4) :

Tableau 4 : codification de la structure horizontale (recouvrement total)

Code	Classes de couvert
1	< à 5%
2	5 à 10 %
3	10 à 25 %
4	25 à 50 %
5	50 à 75 %
6	> 75%

### c. Codification des espèces dominantes ou co-dominantes

Les espèces dominantes et co-dominantes sont celles qui marquent les physionomies végétales et permettent donc de les décrire, si possible, de façon durable, d'où un recours privilégié aux espèces pérennes. Toutefois certaines formations ne peuvent être utilement décrites qu'en recourant également aux espèces annuelles et c'est pourquoi il est fortement conseillé d'effectuer les relevés cartographiques durant la période de végétation.

De fait, les espèces dominantes les plus largement répandues, et marquantes physionomiquement, sont également souvent peu discriminantes. Il est, en conséquence, important d'ajouter 1, 2, voire 3, espèces co-dominantes, plus diversifiantes afin de parvenir à un bon découpage (zonage) de l'espace. En Tunisie par exemple, *Rhanterium suaveolens* est une des espèces physionomiquement dominante dans les steppes sur sols sableux, des étages bioclimatiques aride inférieur et saharien supérieur. Ces steppes ne peuvent être utilement différenciées que si, à l'espèce dominante, on associe des espèces co-dominantes telles que *Artemisia campestris*, ou encore *Lygeum spartum*, etc.

Les espèces dominantes ou co-dominantes sont codées par deux lettres évoquant, autant que possible, pour en faciliter la mémorisation, leurs noms scientifiques tels qu'ils sont rapportés dans les Flores, ou les Catalogues, de référence. Afin d'aider à la mémorisation mais également afin d'accroître le nombre de combinaisons possibles, l'on a opté de retenir conventionnellement :

- 2 lettres majuscules, pour les ligneux hauts (phanérophytes). Par exemple, *Adansonia digitata* (baobab) pourra être codé **AD**,
- 1 lettre majuscule suivie d'1 lettre minuscule, pour les ligneux bas (chaméphytes). *Rosmarinus officinalis* (romarin) pourra être codé **Ro**,
- 1 lettre minuscule suivie d'1 lettre majuscule, pour les herbacées vivaces (hémicryptophytes et géophytes). Ainsi *Imperata cylindrica* pourra être codé **iC**,
- 2 lettres minuscules, pour les herbacées annuelles (thérophytes). *Neurada procumbens* pourra être codé **np**.

Bien entendu, les espèces cultivées peuvent également être codées selon les mêmes règles.

Une codification des hauteurs est également proposée en annexe I. Elle reste relativement superflue pour les herbacées qu'elles soient pérennes ou annuelles.

De fait, pour chaque espace (un observatoire par exemple), la première prospection permet d'établir une première esquisse de la liste de ces espèces dominantes et co-dominantes puis de procéder à leur codification de manière aussi cohérente que possible dans le respect des règles précédemment évoquées. Bien entendu, il ne peut y avoir, pour une même catégorie de végétaux, plusieurs taxons correspondant à la même combinaison de lettres d'où la nécessité de souplesse dans l'application de la règle en la matière.

## 2. Le niveau d'artificialisation

### **La notion d'indicateurs de pression agricole sur les ressources au CT n° 2 (2005)**

Dans les zones circum-sahariennes, les modes dominants d'utilisation des ressources, ayant un impact significatif sur le milieu, sont bien identifiés : usage agricole (céréaliculture), l'usage pastoral et usage pour la fourniture d'énergie domestique.

Pour chaque type d'usage identifié, un modèle d'utilisation de l'espace et des ressources est élaboré. Un seul modèle est utilisé pour la représentation spatiale des pratiques sur l'espace rural (détermination des UPC). Le modèle retenu est celui qui concerne l'activité humaine qui structure fondamentalement le paysage : activité agricole en zone agro-pastorale sahélienne, activité pastorale dans les zones où l'agriculture pluviale ne peut plus être pratiquée.

Les autres modèles de fonctionnement identifiés sur le territoire de l'observatoire sont reportés sur les USR délimitées et structurées à partir du module 'principal'.

La notion d'indicateurs de pression agricole sur les ressources (CT n° 2, 2005) recouvre plusieurs indices dont :

- l'indice relatif d'investissement agricole sur le milieu (ou de degré d'artificialisation par pratique d'exploitation agricole) qui coïncide très bien avec les notions développées ci-après ; dans ce document, cité en référence, est indiquée la procédure de construction de cet indice relatif d'investissement agricole sur le milieu ;
- l'indice absolu d'investissement agricole sur le milieu (ou degré d'artificialisation à l'échelle de l'Observatoire) ;
- et d'autres indices et indicateurs.

Dans une même région, les divers systèmes écologiques présents ne sont pas soumis au même niveau de pression humaine. Ainsi par exemple, l'exploitation des parcours est réputée ne pas nécessiter beaucoup de main d'œuvre contrairement aux cultures beaucoup plus exigeantes.

Généralement l'appréciation du degré d'artificialisation est totalement subjective mais cependant raisonnée. Pour tenter d'échapper à cette subjectivité, il est possible d'intégrer par exemple à la fois la pression humaine (et animale) passée et la quantité de travail nécessaire à l'exploitation. Cette intégration peut se faire en transformant en 'jour de travail' les coûts des investissements consentis pour l'exploitation. Il s'agit par exemple de l'achat de produits phytosanitaires, de fertilisants et des autres intrants tels que les besoins en irrigation, etc. (Le Floc'h, 1979). L'on obtient alors une échelle de niveaux d'artificialisation totalement éclatée allant par exemple, pour le Sud tunisien de 0,25 jour de travail par an et par hectare pour la conduite pastorale traditionnelle à 365 jours de travail par hectare et par an pour des cultures sous tunnel plastique. Une telle approche est également abordée dans le CT n° 2 sous la rubrique d'indice absolu d'investissement agricole sur le milieu (*cf.* encart qui précède).

Globalement, et sans tenir compte des considérations précédentes, l'on retient les classes suivantes (Tableau 5) :

Tableau 5 : codification du degré d'artificialisation

Code	Description sommaire
<b>ZN</b>	Zone sans végétation : désert édaphique (chott, erg, etc.)
<b>0</b>	Végétation éventuellement rare mais considérée comme peu ou pas soumise à l'action de l'homme (steppe à halophilie élevée, etc.)
<b>1</b>	Végétation éventuellement rare mais considérée comme peu ou pas soumise à l'action de l'homme (steppe à halophilie élevée, etc.)
<b>2</b>	Végétation spontanée soumise à une pression régulière mais raisonnable (parcours peu accessibles)
<b>3</b>	Végétation spontanée subissant les méfaits d'une surexploitation (zone surpâturée avec des niveaux qu'il est possible de détailler)
<b>4</b>	Végétation en place introduite par l'homme (céréaliculture traditionnelle, etc.)
<b>5</b>	Cultures et plantations bien entretenues et exploitées
<b>6</b>	Cultures d'espèces exigeantes en irrigation, etc.
<b>7</b>	Cultures d'espèces très exigeantes
<b>8</b>	Cultures légumières
<b>9</b>	Cultures sous serres, etc.
<b>10</b>	Cultures non agricoles

### 3. Les états de la surface du sol

Le développement des études sous pluies simulées a progressivement permis de déterminer les facteurs conditionnant à la fois l'infiltration des pluies et le ruissellement. C'est ainsi que se sont dégagés comme facteurs prépondérants : le couvert végétal, la rugosité du sol, les caractéristiques de surface des sols (sable, croûte, pierres, etc.), l'importance des animaux (fouisseurs, insectes, etc.).

Sous l'effet de la pluie parvenant au sol, il se produit une réorganisation superficielle des éléments et à chaque nouveau type coïncide un comportement hydrodynamique particulier (Escadafal, 1981, 1989 ; Casenave & Valentin, 1989). Il ressort qu'au même titre, que le couvert végétal (protégeant le sol de l'impact de l'eau de pluie), les états élémentaires de la surface du sol peuvent être utiles au diagnostic de l'état de dégradation des milieux particulièrement en zones arides.

Les typologies proposées, dans les travaux scientifiques, sont assez complexes, c'est par exemple le cas pour la détermination du type de croûte au Sahel (Casenave & Valentin, 1989). S'il ne semble pas possible de retenir toutes les

propositions des travaux aussi savants, il paraît cependant primordial, lors des levés de la COT, de noter les informations relatives au recouvrement des différents constituants de la surface du sol, selon une typologie simple. Ce qui est proposé est donc de noter les proportions de la surface du sol occupées par les divers éléments suivants : rochers, pierres, graviers, sables (éventuellement 'ripple marks'), limons, argiles, sol nu, litière au sol, etc.

Ces états de surface seront observés et portés sur le document cartographique en même temps que sera relevée la végétation actuelle (cf. Chapitre II).

### *B. Réalisation de la COT*

Le zonage se base sur la réalité terrain, les données bibliographiques et un certain nombre de documents tels que les photographies aériennes, les images satellitaires, les cartes topographiques numérisées aux différentes échelles 1/200 000, 1/100 000, etc. et autres cartes thématiques.

En effet, il été plusieurs fois démontré que la COT (ou bien même la carte des formations et espèces dominantes et co-dominantes) constitue un zonage efficace de l'espace sur le plan biocénotique et donc floristique. La végétation, désignée par l'espèce ou les espèces physionomiquement dominantes et co-dominantes, traduisant les différents faciès de végétation, est donc considérée comme un indicateur suffisamment efficace et pertinent de l'état de la diversité écologique et phytocénotique d'un espace.

**Questions de vocabulaire concernant les notions de paramètre, indicateur, indice, etc.** (extraits de propositions de Jauffret S. (*inédit*) du Document scientifique Roselt n° 4)

Dans son travail intitulé « Indicateurs écologiques Roselt/OSS. Une première approche méthodologique pour la surveillance de la biodiversité et les changements environnementaux ». Jauffret (*inédit*) propose un certain nombre de définitions en majeure partie reprises ici.

Un paramètre, facteur pouvant présenter des valeurs différentes qui peut être un élément d'appréciation d'un élément ou d'un facteur. Il peut-être qualitatif ou quantitatif et par exemple décrire une caractéristique permanente du milieu.

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 in Jauffret, *inédit*).

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, in Jauffret inédit). 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 : a) un étalon de mesure quantitatif (calculé à partir d'observations réalisées sur le terrain en divers points et exprimé en proportion de la superficie totale d'un pays, ou d'une région donnée), b) une description qualitative.

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

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

Retenons (Barry et *al.*, s.d.) que les unités déterminées par des différences édaphiques ou géomorphologiques fortes liées aux sables, au gypse, lit d'oued, etc., sont toujours plus aisément individualisées que les unités se différenciant sur la base de critères climatiques.

Il reste alors à établir la clé de cartographie, considérée comme définitive même si des ajustements peuvent toujours survenir jusqu'à la phase ultime de l'établissement du document. La finalité de cette légende est de permettre à la fois :

- de renseigner utilement chacune des unités de la carte thématique ; l'établissement de la clé de cartographie est donc une opération cruciale puisque c'est la pertinence des éléments décrits (unités) qui déterminera la possibilité de levés cartographiques cohérents même s'ils sont effectués par des opérateurs différents, pour peu qu'ils aient reçu le même entraînement ;
- de faciliter la communication avec les divers utilisateurs, par exemple par le choix du langage employé et des codifications communes. L'extraction de thèmes simples peut également grandement aider à cette communication.

La légende d'une carte de végétation, même si elle ne concerne pas à proprement parler des unités phytoécologiques, doit comporter les éléments de passage d'une unité à la suivante, ou à la précédente, c'est-à-dire un schéma dynamique (séquence de niveaux de dégradation, etc.) qui recouvre la notion de temps déjà évoquée. Un tel schéma dynamique accompagne d'ailleurs la légende d'un certain nombre de documents de la littérature.

La réalisation concrète passe par l'établissement, en premier lieu, de la maquette de la Carte d'occupation des terres (COT) puis, après validation sur

le terrain, de la carte définitive qui peut dès lors faire l'objet d'interprétations partielle (thématiques particulières) ou globale.

### *C. Interprétation de la COT*

Une légende hiérarchisée doit permettre d'effectuer une lecture assez directe du schéma dynamique des unités répertoriées et de connaître rapidement la situation d'ensemble d'un territoire (vision synoptique).

Le document final peut aussi :

- connaître diverses présentations selon le paramètre que l'on souhaite mettre en valeur,
- donner lieu à un certain nombre d'extractions, ou de simplifications plus directement lisibles sous forme de documents cartographiques d'interprétation tels que :
  - la carte des formations végétales,
  - la carte des séquences de végétation,
  - la carte des ressources ligneuses (en classes),
  - la carte des niveaux d'anthropisation (degré d'artificialisation, etc.).
- être en outre associé à d'autres sources de données spatialisées, ou non, pour donner naissance à de nouvelles cartes. Ainsi, par exemple, associée à des résultats de mesure de biomasse et des évaluations de l'appétibilité des espèces, elle permettra d'établir une carte des disponibilités pastorales.

La COT peut également, suite par exemple à la mesure des superficies (planimétrie) des unités, conduire à l'établissement de bilans, de statistiques, etc. Une telle phase du travail, en révélant l'importance relative de chaque type d'unités, constitue un apport majeur dans l'élaboration du tableau d'échantillonnage, dont il sera question plus loin (§ B de ce même chapitre).

L'évaluation de la biodiversité pose des problèmes particuliers de zonage. Il importe alors en effet non pas de privilégier une vue synoptique et synthétique de l'espace mais au contraire de tenir compte de la plus petite unité présentant quelque originalité dans la combinaison de facteurs écologiques et de ce fait susceptible de receler des taxons de distribution éventuellement très limitée. La démarche sera explicitée au Chapitre III consacré à l'évaluation et au suivi de la biodiversité.

## **II. Autres cartes thématiques dérivées**

Nous regroupons sous ce vocable les documents, plus ou moins subjectifs mais cependant raisonnés, qu'il est possible d'élaborer en se fondant sur le zonage et

la caractérisation de l'espace déjà opérés pour la COT. Sans prétendre à l'exhaustivité, évoquons ici des documents tels qu'ils ont déjà été établis pour des zones arides de l'aire Roselt/OSS ou ailleurs. Les thèmes apparaissant les plus pertinents pour la problématique Roselt/OSS et en particulier ceux susceptibles de faciliter la réflexion pour l'établissement du tableau d'échantillonnage des milieux, dont il sera question plus loin dans ce chapitre, sont bien entendu privilégiés ici.

### *A. Carte des séquences de végétation*

Ainsi que cela a déjà été évoqué plus haut la partie de la légende relative à la végétation doit, si possible, être structurée de manière à rendre évident les éléments de transition entre les unités. Un schéma dynamique, reliant entre elles les unités (faciès de végétation) situées dans la même séquence de dégradation, aidera grandement à la compréhension de ladite légende. Un tel schéma dynamique permettra également l'établissement d'une carte des séquences de végétation comme il est possible d'en trouver dans la littérature (Floret & Le Floc'h, 1973).

### *B. Carte de l'état actuel de la dégradation*

Le thème est à extraire des informations relatives au degré d'artificialisation (cf. la COT). Il est ainsi aisé de raisonner sur l'état actuel de la dégradation, selon une grille ne comportant qu'un petit nombre de classes (5 par exemple). Ces classes répondent à une possibilité de diagnostic dont la base est constituée par l'observation d'un petit nombre d'indicateurs permettant une interprétation claire des informations disponibles qu'elles soient ou non chiffrées. C'est également ici, et au § suivant, que les recommandations proposées en fin de la première partie prennent tous leurs sens.

### *C. Cartes de la sensibilité à la dégradation.*

De tels documents peuvent se révéler fort utiles lors du choix des sites à observer pour la mise en place d'un réseau de suivi-surveillance du type 'Alerte précoce' (cf. § B.2 de ce chapitre). La démarche proposée a été amplement développée en Tunisie aride (Floret & Le Floc'h, 1973, 1983 ; Floret et al., 1977, 1978, etc.).

En l'absence de naturalistes très expérimentés, pour la zone concernée, il est nécessaire de procéder à de l'expérimentation afin d'acquérir une idée assez précise sur la dynamique des milieux et de leur capacité de cicatrisation après régression ou même disparition des causes de leur dégradation (résilience).

Divers types et niveaux de sensibilité à la dégradation (Floret & Le Floc'h, 1973) peuvent être distingués. En effet, il est aisé de concevoir que selon que la

végétation a été ou non détruite les sensibilités peuvent apparaître différentes. Pour la Tunisie aride, il a été distingué :

- la sensibilité des divers types de végétation soumis soit à la mise en culture soit au surpâturage (à plusieurs niveaux d'intensité) ;
- la sensibilité des sols soumis aux mêmes actions humaines (mise en culture, surpâturage).

En l'absence de données expérimentales, il reste possible d'aborder ce thème de manière analytique en retenant comme critères :

- d'une part, l'attractivité des milieux pour les diverses activités humaines ; ainsi, par exemple, les zones de sols superficiels ne seront pas attractives pour la mise en culture, etc.
- d'autre part, la sensibilité intrinsèque des milieux aux mêmes activités humaines. Ainsi l'on admet que les milieux sableux mobiles sont intrinsèquement très sensibles à la mise en culture. Ces mêmes milieux sableux sont par contre, en réalité et globalement, peu sensibles dans la mesure où les agriculteurs ont depuis fort longtemps acquis l'expérience de la dangerosité de les cultiver (l'attractivité de ses milieux est faible pour la mise en culture).

#### *D. Carte des paysages*

Le climat, la géologie, la circulation locale des eaux, le niveau de pression humaine, etc., expliquent une répartition différenciée des sols et des types de végétation qui présentent en outre entre eux des interactions fortes. C'est sur de tels constats que Forman & Godron (1981) ont défini un paysage comme étant *un assemblage d'écosystèmes interagissant d'une manière qui détermine des patrons spatiaux qui se répètent et sont reconnaissables*. Cette définition, qui prend en compte les relations entre les divers éléments du paysage, a été retenue pour les besoins du programme Roselt/OSS. Elle offre en outre l'avantage indéniable de rendre possible des mesures, sa délimitation objective n'étant pas soumise à interprétation. Il est effectivement reconnu que les unités en aval, le long d'une toposéquence [modèle de terrain conduisant d'un point haut (sommet) vers un point bas (bas fond, dépression, lit de rivière)] dépendent des unités en amont du fait de la circulation et de l'accumulation différenciée des eaux et des sols. L'homme prend en compte le caractère plus ou moins favorable des situations ainsi créées pour localiser, au mieux, ses activités (collectes des eaux sur les pentes, cultures de bas fonds, etc.), dans un paysage. Le paysage constitue donc un niveau hiérarchique 'carrefour' d'autant plus important qu'il est reconnu par la majorité des disciplines scientifiques mobilisables ici. La détermination la plus simple

(photographies aériennes) du paysage consiste à assimiler paysage à bassin versant. Il y a en effet au niveau du bassin versant des interactions entre les divers éléments. Il est ainsi proposé que l'espace puisse être ainsi découpé, même si cette opération reste délicate dans les plaines et autres situations à reliefs faibles. Les divers paysages (bassins versants) d'un observatoire peuvent à leur tour être caractérisés par les unités de milieux qu'ils comportent, l'importance relative de ces divers types d'éléments et de nombreux autres critères qui seront exposés plus loin (cf. Chapitre IV).

### *E. Carte de l'utilisation du sol et de son évolution*

La procédure la plus pratique consiste à prendre appui sur la délimitation des divers milieux (COT) en considérant les formations végétales et les degrés d'artificialisation évoqués plus haut.

Il est aisé à partir des informations relatives au degré d'artificialisation et avec éventuellement l'aide des indications de structure verticale de la végétation, d'extraire une donnée spatialisée de l'utilisation du sol : savane arborée, savane herbeuse, steppe, céréaliculture, arboriculture, etc.

De tels documents peuvent, quand ils existent, être retenus comme données à prendre en compte pour réfléchir à la fois un plan d'échantillonnage et un scénario de suivi-surveillance des milieux.

#### **Remarque**

Il reste possible de croiser les données relevées pour la COT avec des valeurs de paramètres issues des mesures stationnelles (ex. phytomasse) ou synthétiques [ex. valeur pastorale des unités de milieux (cf. Chapitre II)] pour obtenir d'autres cartes dérivées (carte de valeur pastorale) que nous n'exposons pas ici malgré leur intérêt évident, malgré que l'échelle de la COT se prête assez mal à cet exercice.

## **ECHANTILLONNAGE**

Deux étapes distinctes d'échantillonnage, relevant bien entendu toutes deux de la même méthode, sont à mener. Elles doivent être sérieusement réfléchies. La première, la plus ample, concerne la caractérisation initiale des milieux et la seconde le suivi-surveillance.

Parmi les diverses méthodes d'échantillonnage, exposées en annexe I b, c'est la méthode de l'échantillonnage stratifié qui est retenue pour les travaux poursuivis dans le cadre de Roselt/OSS. A cette méthode, est également, associée la notion d'une démarche de type probabiliste afin d'assurer aux travaux effectués une bonne robustesse des résultats.

Il faut concevoir que deux échantillonnages, si possible emboîtés, sont nécessaires pour satisfaire aux besoins du programme Roselt/OSS. Ces deux phases d'échantillonnage stratifié doivent être conçues dans une démarche unique cohérente :

- la première phase d'échantillonnage est effectuée afin d'assurer une caractérisation initiale pertinente de l'espace considéré. Cet échantillonnage est nettement plus lourd et exigeant que le second.
- la seconde phase d'échantillonnage (pour le suivi-surveillance) devra être conçue avec comme contrainte une éventuelle adaptation dans le temps. En effet, pour être efficaces, les mesures et observations du suivi-surveillance devront être répétées au cours du temps (lignes et placettes permanentes) sur les mêmes portions d'espaces choisies de manière à la fois à être réellement représentatives et à se prêter à des suivis selon des protocoles allégés. Il est aisé de concevoir que la poursuite de la mise en culture, et son lot d'abandons cultureux, peut à terme modifier sérieusement le zonage de l'espace et que la premier échantillonnage peut alors se révéler totalement obsolète n'assurant plus une bonne représentativité de l'état des milieux.

Pour conduire un échantillonnage stratifié et raisonné, il faut, dans la situation la plus favorable, disposer d'informations relatives à un certain nombre de paramètres considérés comme majeurs. De tels paramètres, permettant une description efficace des milieux, sont relativement nombreux et concernent les différentes disciplines des sciences de la nature. Ils sont également plus ou moins délicats à repérer et à relever. Par exemple, l'on peut ainsi considérer comme capitale la prise en compte des caractéristiques géologiques, hydro-géologiques, etc., du territoire considéré. Si ces informations existent, elles pourront en effet se révéler très utiles mais il semble improbable que leur absence dans la littérature préexistante, relative à un observatoire, puisse être comblée par des travaux spécialement entrepris, à leur sujet, dans le cadre du programme Roselt/OSS.

L'étude du climat et de son évolution conduit à la synthèse, quand elles existent, des données de séries anciennes. A défaut, il est impératif de disposer au moins des données récentes et actuelles. Il y a, en effet, un intérêt particulier à suivre le climat actuel. En effet, la variabilité des précipitations, qui est une caractéristique de l'ensemble des zones arides, peut expliquer les variations, parfois incohérentes, de l'utilisation du sol. Les années favorables sur le plan pluviométrique sont aussi les plus péjorantes pour l'intégrité des milieux car elles favorisent l'extension de certains mésusages. Ces mêmes données peuvent également se révéler capitales pour la compréhension de

certaines variations floristiques (absence ou abondance d'annuelles, etc.) et ce point sera à nouveau évoqué plus loin.

D'autres caractéristiques telles que des informations sommaires relatives à la géomorphologie, l'hydrographie, la pédologie sont souvent aisées à relever sur le terrain et constituent un grand apport :

- le recours à la simple notion de position topographique procure une amélioration considérable de la compréhension des traits globaux de la répartition de la végétation. En fait, d'étroites relations existent, au moins au niveau du paysage, entre les formes de terrain et le mode de distribution des principales formations végétales. Ce diagnostic des formes de terrain peut être réalisé par la consultation des cartes topographiques, et des photographies aériennes, puis quelques vérifications avec vérification sur le terrain. Il s'agit de faire ressortir les principales unités de formes de terrain (montagnes et zones rocheuses, plateaux, collines, zones d'épandage, sommet, versant, etc.). Aux paramètres géomorphologiques, il faut associer les paramètres hydrographiques ; ces caractéristiques étant également importantes pour une bonne description des paysages.
- Parmi les caractéristiques pédologiques, une place particulière est accordée aux états de surface ; ces paramètres étant aussi réputés être de bons indicateurs de l'état des milieux.

Il n'est pas question de réaliser, ici, un exposé exhaustif de l'ensemble des méthodes exposées dans la littérature, mais bien de présenter, jusque sous ses aspects pratiques, la méthode d'échantillonnage retenue comme constituant le fondement méthodologique de Roselt/OSS. Les autres méthodes et procédés seront exposés en Annexe 1 b.

L'échantillonnage de la végétation, mais aussi des états de surface, relève de la théorie générale statistique qui implique de déterminer, dans une population donnée, un échantillon aussi représentatif que possible de l'ensemble et susceptible, après mesures et observations de ses caractéristiques, de définir les propriétés de l'ensemble de la population.

Il importe donc, au préalable à toute étude de la végétation, de définir clairement la problématique qui conditionnera :

- la définition d'un plan d'échantillonnage qui sera réalisé selon différentes variantes en fonction des contraintes techniques, scientifiques ou temporelles rencontrées ;
- les mesures à réaliser (densité, poids, taille, etc.), selon les choix méthodologiques adoptés, afin de garantir la fiabilité de l'interprétation statistique des données obtenues ;

– l'interprétation statistique des résultats. Il est à rappeler que la statistique est non paramétrique ou paramétrique. La première, généralement moins puissante et aux calculs quelquefois plus fastidieux, est plus rarement utilisée mais présente l'avantage d'être plus robuste quant aux hypothèses posées. La statistique non paramétrique est particulièrement intéressante quand les échantillons sont nombreux et que la distribution s'écarte de la normalité. La statistique paramétrique suppose souvent la présence d'une distribution normale, ce qui n'est pas toujours réalisé.

## **I. Définition et description de l'échantillonnage stratifié**

L'échantillonnage stratifié, appliqué à l'étude de la végétation, consiste à découper l'espace, à échantillonner, en unités (ou strates), successives, homogènes vis-à-vis de quelques paramètres considérés, *a priori*, comme constituant des facteurs actifs déterminant de la répartition des plantes. Une strate homogène vis-à-vis d'un premier critère (facteur) sera ensuite subdivisée en tenant compte d'un deuxième critère et ainsi de suite. Pour cette opération, il convient que les critères (facteurs) retenus puissent être scindés en un nombre suffisant de classes (5 à 7 par exemple). Il est assez fréquent au niveau d'un tableau d'échantillonnage de se trouver en présence de cases dites 'létales' correspondant à des combinaisons de facteurs ne pouvant exister sur le terrain (ex. pente forte associée à marécage, etc.).

Dans le cas général, la végétation naturelle a une distribution hétérogène et aléatoire et des connaissances statistiques plus ou moins poussées sont nécessaires à son interprétation. Dans la problématique Roselt/OSS, l'échantillonnage doit impérativement être à la fois stratifié et de type probabiliste sous peine de ne pouvoir permettre que soient tirés des enseignements concernant l'ensemble de la population (ou des espaces) échantillonnée (Godron, 1976).

Il faut également tenter de rationaliser, ou de planifier, le nombre et la répartition des relevés. Les deux principaux écueils à éviter sont :

- a. d'effectuer des relevés inutiles (sur représentation de certaines strates), et
- b. de privilégier outre mesure les milieux les plus fréquents en ignorant certains milieux moins étendus mais très significatifs sur le plan écologique.

Une procédure de mesure de la qualité d'un échantillonnage, décrite par Daget *et al.* (1997), est rapportée avec détails, en Annexe I c. Pour qu'un échantillonnage soit dit optimal (ou mieux 'optimal au sens de Neyman' ou 'N-optimal'), il a été prouvé que le nombre de relevés doit être le même dans toutes les strates, du tableau d'échantillonnage, présentes sur le terrain. Ces relevés doivent être réalisés en nombre suffisant (de l'ordre de cent au total)

pour que les calculs statistiques effectués par la suite soient réellement valides. Le choix des sites et des emplacements des relevés doit être planifié afin d'être à la fois pertinent et économe en moyens. En conséquence si pour un critère retenu (ex. formation végétale) une des classes du critère (ex. savane arborée) occupe la majorité de l'espace (d'où un risque de sur-échantillonnage et une mauvaise qualité de l'échantillonnage), il reste possible et important de le subdiviser (par exemple par la densité des ligneux, etc.).

Bien entendu dans l'absolu le recours à un échantillonnage n'est pas toujours obligatoire si la population (nombre de strates à étudier) est relativement restreinte : population d'une espèce rare à distribution restreinte pouvant être appréhendée dans son intégralité ou encore l'étude d'une parcelle plantée de faible superficie et dont la totalité des individus peut être renseignée.

## **II. Les phases de l'échantillonnage pour le programme Roselt/OSS**

### *A. Phase de la caractérisation initiale des milieux et de l'état des ressources*

Dans l'application de l'échantillonnage stratifié, il est souhaitable que le choix des critères de définition progressive des strates tienne compte des gradients écologiques majeurs (gradient climatique, géomorphologie, pression anthropique, etc.). Un tel schéma permet, *a priori*, de suivre les macro-variations qui peuvent intervenir dans un espace donné, par exemple au niveau d'un Observatoire.

De manière concrète, l'on pourra avoir un tableau d'échantillonnage ayant comme premier critère de discrimination les unités géomorphologiques (ou la position topographique) subdivisées par (deuxième critère) les types dominants de formation végétale, et subdivisées à la suite (troisième critère) par le niveau d'anthropisation. Les unités ainsi établies constituent autant de strates (entités considérées comme étant homogènes vis-à-vis d'un, ou mieux, de plusieurs descripteurs retenus comme étant discriminants). Il est évident que la disponibilité de documents cartographiques thématiques (climat, sol, géomorphologie, végétation, etc.) est un secours puissant dans la démarche. De ce point de vue, la Carte d'occupation des terres (COT) peut constituer un préalable essentiel pour l'établissement d'un tableau d'échantillonnage optimal. Le nombre de strates retenues détermine le volume de travail à réaliser. Les thèmes décrits pour les cartographies dérivées (état actuel de la dégradation et sensibilité à la dégradation peuvent bien entendu, selon les besoins locaux, constituer des strates du tableau d'échantillonnage).

Un exemple schématique de tableau d'échantillonnage, prenant en compte la pluviométrie, la lithologie et la topographie, est présenté au tableau 6 qui suit.

Tableau 6 : exemple de construction d'un tableau d'échantillonnage

Pluies mm/an	Lithologie et situations topographiques												
	croûte calcaire			sable			limon			alluvions			
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	4
< 50 mm	x	x	-	-	x	x	-	-	-	-	-	x	x
50-100	x	x	-	-	x	x	-	-	-	-	-	x	x
100-200	x	x	-	-	x	x	-	-	x	-	-	-	x
200-300	x	x	-	-	x	x	-	-	x	-	-	-	x
300-400	x	-	-	-	x	x	-	x	x	-	-	-	x
> 400	-	-	-	-	x	x	-	x	x	-	-	-	x

Situations réellement observables sur le terrain x      Situations létales (non observables) –  
Topographies : 1 : sommet ; 2 : mi-versant, glacis ; 3 : bas de versant, plaine; 4 : dépression

La réalisation d'un échantillonnage pertinent, sur la base d'une interprétation claire de la COT, permet, ainsi que cela a déjà été exprimé, d'établir des statistiques fiables quant aux types majeurs de milieux, au niveau global d'anthropisation, à la sensibilité potentielle à la dégradation, etc.

### B. Phase de suivi-surveillance

La démarche est, bien entendu, la même que celle évoquée pour l'étape précédente. Toutefois, la finalité sensiblement différente impose des modifications relativement importantes de protocole.

De fait, le suivi à long (ou moyen) terme est une opération qui, quoique considérée comme étant capitale, est trop rarement entreprise. Il importe de faire évoluer cette situation tout en assurant la pérennité et la pertinence du suivi et ce, en acceptant d'alléger les procédures au niveau du choix :

- des phénomènes à suivre en ne retenant que ceux considérés comme étant essentiels,
- des sites (emplacements) adéquats et autorisant un suivi prolongé,
- d'un 'kit minimum' d'indicateurs pertinents pour le suivi proposé.

Un problème majeur se pose au niveau du choix des sites. En effet, pour un territoire donné, l'évolution des pratiques impose de réfléchir à la disposition des sites de suivi-surveillance dans l'espace de l'Observatoire. Il s'agit en effet à la fois de suivre les changements tout en maintenant suffisamment de sites de mesures et observations dans les formations restées peu transformées.

Il est proposé que le suivi débute par une 'veille' [avec le recours éventuel à la télédétection satellitaire, puis les systèmes d'information géographique (SIG)] au niveau des modifications de l'utilisation du sol. L'opérateur de terrain aura à raisonner, compte tenu de l'état initial de l'utilisation du sol (statistiques globales obtenues par interprétation de la COT) le niveau seuil de modifications de l'utilisation du sol au-delà duquel seront déclenchées les mesures et les observations stationnelles plus lourdes rendues ainsi significatives.

Au-delà du seuil adopté, les modifications de l'utilisation du sol entraîneront la modification du tableau d'échantillonnage. Les réajustements opérés ayant pour objectif de distribuer les nouveaux sites de mesures de manière à bien cerner les phénomènes émergents.

De telles directives ne peuvent, bien entendu, être des absolus dans la mesure où ce qui importe est bien la réactivité des opérateurs de terrain. Le premier échantillonnage peut en effet se révéler imparfait ou des événements imprévus (feu, inondation, etc.) peuvent au cours du temps venir altérer, ou même anéantir, la qualité d'un suivi mis en place.

Les diverses opérations (ex. établissement d'un tableau d'échantillonnage), mesures et observations proposées aux divers niveaux hiérarchiques de l'espace, d'un observatoire Roselt/OSS, seront explicitées dans les chapitres qui suivent. Il reste possible d'en présenter une vue synoptique comme dans le tableau 1 où nous avons en outre inscrit les objectifs visés. Il apparaît que la prise en considération de mesures effectuées à un certain niveau ne peut être réellement intégrées et interprétées qu'au niveau hiérarchique supérieur. Les niveaux paysage et écosystèmes (ou biotope ou unité de milieu) sont les plus concernés ici. Il est signifié ainsi que les données collectées lors des mesures effectuées au niveau de différents écosystèmes gagneront certainement à être aussi interprétées à l'échelle du paysage qui les englobe.

La grande majorité des protocoles s'appliquent au niveau écosystème (biotope) avec le choix des stations (placettes, lignes, etc.).

L'analyse de la diversité végétale peut être effectuée aux différents niveaux hiérarchiques de l'espace. Elle nécessite la prise en compte de milieux parfois nettement moins étendus et même négligeables au niveau des ressources mais qui, soumis à des conditions écologiques particulières (microclimatiques, édaphiques, inaccessibilité, etc.), présentent des différences floristiques marquantes. Les phases de caractérisation et de suivi méritent alors une attention toute spéciale, qui sera évoquée plus en détail au chapitre III.

## **CHOIX DES SITES DE MESURES ET D'OBSERVATIONS**

Un site est une surface où les conditions écologiques sont considérées comme étant homogènes et où la végétation est uniforme. Dans le vocabulaire retenu ici un site correspond, de fait, à une unité de cartographie.

Une station est, dans un site, le lieu précis où sont effectuées les mesures et observations destinées à caractériser une unité d'une légende d'une carte thématique. Les sites (unités) choisis comme lieu de mesures seront, si possible, assez étendus afin que l'on puisse, par exemple, par tirage au hasard, y placer plusieurs stations de mesure constituant autant de répétitions.

Il importe de fait de raisonner, avec les opérateurs de terrain, le choix des sites et des stations des deux étapes (caractérisation et suivi-surveillance). Cette précaution ne préserve hélas pas d'éventuels désagréments mais les limitent certainement.

### **I. Phase de caractérisation initiale des milieux et de l'état des ressources**

#### *Concept*

Rappelons qu'il ne s'agit nullement de mettre en place une étude phytoécologique visant à étudier les relations entre flore-végétation et facteurs environnementaux, mais bien de caractériser un état initial des milieux et des ressources. La prise en compte raisonnée et l'intégration de l'ensemble des informations disponibles sous forme cartographique (COT, paysages, topographie, etc.) ou non (données climatiques, dynamique et filiation des unités, etc.) doit aboutir à proposer un schéma optimal du dispositif de choix des sites. L'ensemble, tout en n'étant pas figé, doit donner une bonne efficacité au dispositif et laisser une part au hasard (démarche probabiliste). Une telle précaution vise à assurer, en exécutant pour chaque site un certain nombre de répétitions des mesures (sur des stations choisies au hasard), une validité statistique satisfaisante des résultats.

Il faut, ici, signaler un problème d'importance. Il est souhaité que les observatoires Roselt/OSS soient situés si possible à proximité immédiate de zones de protection (parcs nationaux, réserves de Biosphère, etc.). Si de telles situations favorisent, pense-t-on, l'éventualité de comparaisons entre des situations perturbées et d'autres non ou peu perturbées, encore faut-il savoir quel crédit accorder à ces comparaisons. En effet, les biotopes dégradés constituent bien un extrême dans une séquence de détérioration mais il en est également de même pour les situations de protection qui, malgré tout, sont un artefact dans la nature. Si une zone est protégée (abandon des actions anthropiques) depuis longtemps, il importe de s'interroger sur la signification exacte de la comparaison

avec des données collectées dans des circonstances très différentes. Dans ces circonstances très contrastées, la localisation des sites doit être effectuée avec beaucoup de précaution et une définition très précise des conditions (statut d'exploitation ou de protection, etc.).

### *Protocole*

Sur la base du maintien d'une bonne représentativité (même nombre de relevés par strate du tableau d'échantillonnage déjà élaboré), plusieurs pistes de réflexion peuvent être suivies chacune amenant son lot d'avantages :

- repérer et sélectionner des sites d'échantillonnage le long d'un gradient naturel de variabilité éco-géographique (ou gradient environnemental vis-à-vis du climat, de l'anthropisation),
- repérer les toposéquences les mieux à même de rendre compte des interrelations des unités et y choisir les sites,
- repérer et placer les stations dans des unités en tenant compte des gradients de dynamique (ex. stations sur le début, le milieu et la fin d'une série d'unités de la même trajectoire dynamique).

Il importe, si l'on adopte la démarche 'transects' de pouvoir repérer plusieurs transects (succession répétitive d'unités dans l'espace) similaires afin de parvenir à un nombre suffisant de répétition par les différents types d'unités retenus pour les mesures et les observations. Bien entendu, opérer selon le mode transect ne peut avoir de signification que dans la mesure où le transect choisi répond aux critères de représentativité. Le nombre de répétitions nécessaire est sous la dépendance de la variabilité des mesures stationnelles ; il devra être au minimum de cinq afin d'obtenir une certaine fiabilité statistique.

Si l'éventualité est bonne, il faut effectuer un choix de sites en tenant compte de la possibilité de surveillance par télédétection. Finalement, et en suivant les précautions et les recommandations énoncées précédemment, il faut repérer, pour chaque type d'unité de milieu que l'on souhaite étudier, un ensemble de sites 'homogènes', les inventorier et y choisir un lot minimum de stations-tests. Celles-ci doivent permettre de caractériser les milieux naturels du point de vue de l'écologue et serviront de parcelles d'entraînement pour le 'télédétecteur' et seront éventuellement retenues pour le suivi.

## **II. Phase de suivi-surveillance**

### *Concept*

Le suivi doit être une procédure allégée basée sur la diminution consentie, à la fois, du nombre de stations de mesures et du nombre de paramètres relevés. Face à cette situation, transects, gradients et sites doivent faire l'objet de choix

pertinents afin que l'opération remplisse effectivement sa mission qui est de suivre et de surveiller, dans une démarche du type 'alerte précoce' nécessitant de se baser sur des indicateurs sensibles.

L'un des principaux problèmes du suivi-surveillance est lié au fait que l'évolution des pratiques et des modes d'exploitation des espaces et des ressources peut entraîner des modifications significatives des espaces et des ressources rendant, de fait, obsolète le tableau d'échantillonnage adopté pour la caractérisation initiale des milieux. Ainsi, par exemple, des friches peuvent être à nouveau cultivées et d'anciens champs abandonnés ; un rééquilibrage peut donc être rendu nécessaire avec en conséquence le choix de nouveaux sites de mesures et observations hors du dispositif antérieur.

Le suivi-surveillance doit également s'appuyer sur des opportunités fortes que sont les années exceptionnelles. C'est surtout au cours de telles années que se mettent en place les évolutions les plus profondes et il importe donc de ne pas manquer leur caractérisation. Bien entendu ces circonstances exceptionnelles ne sont prédictibles ni dans le temps, ni dans l'espace ni en intensité. Le suivi-surveillance dans ces conditions doit pouvoir être exercé avec les plus grandes réactivité et souplesse pour faire face à ces circonstances souvent plus riches en informations (potentialités, sensibilité, résistance, etc.) que les années 'ordinaires'. Par exemple il a pu être observé en Tunisie aride au cours d'une récente série d'années sèches la mort d'oliviers ayant pourtant résisté aux aléas pluviométriques durant au moins 400 ans. Au cours de cette même série climatique, il a également été observé la mort d'amandiers dans certaines situations écologiques. La chronique des observations écologiques des conséquences des années exceptionnelles reste à entreprendre.

### *Protocole*

Le suivi-surveillance des changements et de la dynamique (de la végétation, des ressources, de la flore, des états de surface, etc.) peut être effectué selon au moins deux procédures :

- a) mise en place de lignes et de placettes permanentes de mesures et d'observations. L'étude puis le suivi de la flore et de la végétation doivent être obligatoirement menés (choix des espaces, détection des phénomènes suivis, etc.) en accord avec les opérateurs en charge des travaux de terrain. La situation optimale serait que l'on puisse choisir, à discrétion les stations sur les transects et les sites parmi ceux déjà étudiés dans l'étape précédente de caractérisation initiale. Deux obstacles s'opposent à cela :

- la difficulté de maintenir intacts les repérages de terrain (piquets, etc.) nécessaires. Les acteurs de terrain (éleveurs, agriculteurs) ont en effet, probablement par crainte de 'gel' de leur terre (ou tout autre motif), la fâcheuse habitude de détruire assez systématiquement les repères que l'on peut y avoir laissés. Il subsiste bien entendu la possibilité de repérage par des moyens très sophistiqués, mais non largement disponibles, tels que le GPS inframétrique.

- Les modifications de l'utilisation du sol qui peuvent contraindre, dans un souci d'équilibre entre les strates d'échantillonnage, à abandonner le suivi de certaines stations et le choix de nouvelles stations non étudiées antérieurement. En tout état de cause, il importe de tenter de garder une fidélité très grande à la démarche mise en place au cours de l'étape précédente. Ceci consisterait, par exemple, à remplacer les stations de mesures détruites ou abandonnées par de nouvelles stations choisies sur les mêmes transects et gradients afin de maintenir un minimum de comparabilité.

b) Envisager l'éventualité d'être contraint, suite à l'ampleur des transformations, d'abandonner la procédure des stations permanentes. Il reste possible, dans ce cas de figure, d'opter de choisir de nouvelles stations à chaque nouvelle période de mesures. La précaution élémentaire est alors de choisir des stations dans des sites aussi similaires que possible aux précédents. De fait, le plus souvent il faudra se contenter de la présente possibilité et dans cette situation le respect de la nécessité d'effectuer un maximum de répétitions deviendra un impératif pour maintenir la validité statistique des résultats.



## Chapitre II : Evaluation et surveillance de la végétation, des états de surface et des ressources

### INTRODUCTION

Les diverses pressions exercées sur un milieu entraînent des modifications, plus ou moins marquées, jusque sur la végétation. Ces modifications influent, en effet, sur l'abondance des plantes et leurs caractéristiques physiologiques (hauteur, dimensions de la couronne, etc.). Il en résulte, également, d'éventuelles modifications de l'organisation spatiale de la végétation, autrement dit de sa structure. Le défi de l'étude de la végétation est donc d'en décrire à la fois la flore (composition floristique) et les aspects les plus saillants de sa structure (ex. fréquence des taxons, recouvrement, etc.).

La caractérisation initiale des milieux et l'évaluation des ressources naturelles (potentialités pastorales, etc.) nécessitent une méthodologie rigoureuse permettant, d'une part, de donner une image réelle de l'état des biotopes et, d'autre part, de suivre la dynamique du milieu et de la végétation par la mise en évidence des changements éventuels et l'évaluation des processus de dégradation des milieux fragilisés par une action anthropique importante.

Les mesures et les analyses réalisées sur les ressources naturelles et le milieu auront également pour objectif de faire ressortir les indicateurs biophysiques, exprimant au mieux le déclenchement du processus de dégradation.

La disponibilité d'une ressource naturelle n'a de signification que vis-à-vis d'un ou de plusieurs usages éventuels. L'ensemble « ressources/disponibilité-usages/prélèvements » est en évolution continue dans le temps. La résultante à un moment donné détermine le bilan que l'on cherche à évaluer.

Deux types majeurs d'opérations, déjà distingués au chapitre I, sont à mener et qui doivent impérativement être intégrés dès leur conception :

- Phase 1 : caractérisation initiale des espaces, des ressources qu'ils comportent et de leur état, en relation avec les pressions anthropiques, l'aridité et les sécheresses récurrentes. Il s'agit là d'une phase durant laquelle les relevés sont effectués essentiellement sur le mode synchronique ;
- Phase 2 : suivi-surveillance des changements au niveau des biotopes, au travers d'études diachroniques telles que le suivi des modifications des valeurs de certains paramètres (mesures multi-temporelles et multi-stationnelles). Les études de suivi-surveillance (démarche diachronique

et/ou synchro-diachronique), à plus ou moins long terme, visent à déceler les tendances évolutives, des espaces et des ressources, sous les effets du climat et de la pression anthropique. Les paramètres descriptifs proposés (présent chapitre) n'ont pas tous la même sensibilité (ou réactivité) aux variations des facteurs évoqués et ne présentent, en conséquence, pas tous le même intérêt pour un suivi-surveillance. Il serait opportun, compte tenu de ce constat de ne pas imposer, aux équipes de terrain, des suivis sans réel intérêt.

Même s'ils sont relativement aisés à suivre, certains indicateurs sont soumis à la difficulté de leur évaluation dans un contexte de grande hétérogénéité des milieux. De plus, certains de ces indicateurs sont obtenus suite à de très nombreuses observations qui malgré le soin que l'on y apporte sont souvent entachées d'erreurs (*cf.* pour les mesures de couverts, le recours à des aiguilles trop grosses). La précision de certains indicateurs est également délicate à estimer. C'est par exemple le cas de la hauteur des individus, etc. Le paramètre densité des individus paraît par contre devoir être considéré comme étant l'un des indicateurs les plus fiables de l'état d'une dégradation pour que l'on puisse disposer de références fiables obtenues par exemple dans des végétations de même type et en bon état.

Les méthodes développées par les écologues, pastoralistes, zootechniciens, etc. sont nombreuses et l'on distingue, généralement, deux grands types de démarche a) qualitative (non destructive) et b) quantitative (au moins partiellement destructive). Elles sont resituées les unes par rapport aux autres dans la figure 1 qui suit.

Figure 1 : schéma des démarches proposées



<sup>1</sup> donnée directement et aisément mesurable, ou observable, sur le terrain

<sup>2</sup> donnée directement mesurable sur le terrain mais exigeante en temps et moyens

<sup>3</sup> donnée obtenue par analyse au laboratoire

<sup>4</sup> donnée obtenue par calcul.

Dans ce document méthodologique, il est nécessaire d'exposer séparément les deux types de démarche. Cependant, pour plus d'efficacité sur le terrain, il faut le plus souvent assumer un compromis entre les deux et préconiser la mise en œuvre d'une démarche intermédiaire. Ce compromis peut-être considéré comme étant réaliste. Les deux démarches nécessitent, pour être réellement performantes, que soient respectées des mêmes principes rigoureux d'échantillonnage.

D'autres paramètres, que ceux notés sur ce schéma, peuvent être observés ou mesurés :

- sur le terrain comme par exemple les mesures de réflectance, etc.,
- au laboratoire :

- par le calcul d'autres indices et combinaisons d'indices pouvant être élaborés pour servir également dans les comparaisons entre stations : indices de biodiversité, indice d'équitabilité, etc. ;
- il y est également possible d'acquérir de nouvelles données comme par exemple la valeur énergétique des espèces pastorales obtenue par analyse chimique (Bechet & Nedjraoui, 1980 ; Alibes & Tisserand, 1990).

Le choix des mesures et des observations, nécessitées par les suivis, est désormais le plus souvent fondé sur la notion d'indicateurs dont l'intérêt dans la mise en relief de l'état (stabilité, dégradation ou reconstitution) d'un biotope, d'un milieu, d'un paysage, etc., a largement été démontré : Jauffret, 2001, etc. Les divers documents du programme Roselt/OSS y font fréquemment référence. Cet intérêt inciterait en fait à retenir de tels paramètres dès le démarrage des opérations de terrain et ce, sur la seule base de l'expérience qui permet de supposer a priori, certainement avec raison, la nature des paramètres qui seront de bons indicateurs. C'est ce pari qui est à la base des choix de paramètres dont la mesure, ou l'observation, sera proposée plus loin. Ces paramètres à intégrer dans un kit minimum d'indicateurs sont le plus souvent choisis dans la démarche non destructive. Ils ont alors la particularité d'offrir la possibilité éventuelle d'être suivis sur les mêmes stations dans les mêmes sites.

Il semble essentiel de suivre, sur des pas de temps assez brefs, un nombre restreint (*kit minimum*) de paramètres à la fois sensibles, fiables et pertinents (indicateurs). Ces indicateurs sont relatifs à la cartographie COT, à certain nombre de paramètres biologiques et bien entendu à des paramètres d'évaluation socio-économique. L'examen, *a posteriori*, des corrélations les plus performantes permettant de réduire, par exemple, le recours aux méthodes destructives d'évaluation de la phytomasse met en évidence l'intérêt de paramètres tels que : densité, diamètre moyen et hauteur, autant de paramètres allométriques aisés à mesurer et qui devraient donc être obligatoirement relevés et donc inscrits au niveau d'un kit minimum. Ce kit minimum ne présente d'ailleurs d'intérêt que dans la mesure où les paramètres qui y sont proposés (nécessaires et suffisants) permettent réellement d'effectuer un diagnostic de terrain convenable. Tout contenu qui ne permettrait pas cette autonomie invaliderait la notion même de kit minimum. Les notions de 'kit minimum' d'indicateurs, de pas de temps entre deux campagnes de mesures, prennent ici tout leur sens. La collecte de données thématiques selon des protocoles incohérents (pas de temps trop court, relevés de paramètres non significatifs ou de médiocre sensibilité et fiabilité) conduit, à terme, à des impasses. En effet, aucune interprétation utile ne peut être faite et l'accumulation de données n'est pas nécessairement un gage d'efficacité en la matière. Le suivi-surveillance est une opération périlleuse et certainement toujours en danger si elle s'avère coûteuse en temps. La nécessité d'économiser du temps doit conduire à bien raisonner les choix opérationnels pour les mesures de terrain.

Le recours à un kit minimum n'exclut nullement qu'au-delà de valeurs seuils (à déterminer) des paramètres, ainsi relevés, l'on puisse recourir à la collecte de

données plus complètes et complexes. De telles mesures peuvent en effet se révéler fort utiles pour la confirmation d'interprétation.

Les paramètres de la démarche qualitative sont, pour l'essentiel, relatifs à la composition-structure et ceux de la démarche quantitative au fonctionnement et aux services des écosystèmes.

Dans la réalité, des travaux tels que ceux requis dans le programme Roselt/OSS nécessitent que soit mobilisé un certain nombre de méthodes de mesures, d'observations et d'enquêtes. Au tableau 7 qui suit nous présentons un panorama de cette diversité qui justifie, qu'en plus de la présentation qui est faite dans les paragraphes qui suivent, des annexes leur soient également consacrées.

Tableau 7 : les paramètres et les méthodes de mesures ou d'observations

TYPE DE PARAMÈTRE	MÉTHODES DE MESURES OU D'OBSERVATIONS
<b>Caractérisation qualitative</b>	<b>Méthodes non destructives</b>
<i>Homogénéité</i>	
Homogénéité de la végétation	Établissement de la courbe aire-espèce
<i>Composition et structure</i>	
. <i>Composition</i>	
Composition floristique	Prospections et méthode « point-quadrat »
Indice de qualité spécifique	Enquêtes de terrain
. <i>Structure horizontale</i>	
Recouvrement	Méthode « point-quadrat »
États de surface	Id
Densité des individus par taxon	Comptage sur une surface élémentaire
Diamètre des individus	Mesure individuelle
. <i>Structure verticale</i>	
Densité des contacts	Méthode « point-quadrat »
Hauteur	Mesure individuelle/Méthode « point-quadrat »
<i>Paramètres calculés</i>	
Valeur pastorale	Calcul (indice de qualité x fréquence spécifique)
Phytovolume	Calcul (hauteur x diamètre)
<b>Caractérisation quantitative</b>	<b>Méthodes destructives ou partiellement destructives</b>
Phytomasse	Coupes & pesées ou autres évaluations de terrain
Production	Coupes & pesées
Productivité	Coupes & pesées

Nous appliquerons le schéma du tableau, qui précède, pour la présentation, ci-après, du relevé des divers paramètres.

Rappelons quelques règles majeures à respecter, proposées dans le programme Roselt/OSS, pour la mise en place de dispositifs de mesures et d'observations :

- disposer les stations de mesure dans des unités (biotopes) bien identifiées et considérées comme étant homogènes (cf. § caractérisation préalable des milieux) ;
- programmer les mesures de terrain avec le souci de compromis entre précision et temps de travail ; certains indicateurs peuvent se révéler trop longs et difficiles à mettre en œuvre et il sera alors retenu de privilégier des observations ou mesures plus aisées à répéter et dont la signification (robustesse statistique) sera, dès lors, moins hasardeuse ;
- choisir de recourir en toute circonstance, où cela est possible, à des méthodes non (ou peu) destructives ;
- choisir des dates de mesure prenant en compte la nature des paramètres que l'on souhaite mesurer (ou observer) plutôt que sur le respect strict de dates calendaires. Le rythme de la végétation, que l'on souhaite qualifier ou quantifier, est lui calé sur les événements climatiques et surtout pluviométriques qui déterminent donc les périodes favorables. La période du pic de végétation (avril-mai en Afrique du Nord, septembre-octobre en zone sahélienne) est une de ces périodes favorables. Le calendrier des activités humaines (extension des superficies mises en culture, récoltées, etc.) susceptible de modifier en profondeur la végétation est également calé sur les événements climatiques.

Dans l'absolu, une seule campagne annuelle de mesures ne permet pas d'aborder les notions de variabilité saisonnière, de rythme, de succession, etc. Une liste floristique établie au seul pic de végétation ne rend pas compte du fait que des espèces absentes à ce moment ont pu constituer, quelque temps auparavant, l'essentiel de la ressource pastorale, base de l'alimentation des animaux. Des variations saisonnières importantes dans l'évolution de la végétation ont été mises en lumière dans de nombreux travaux, en zones arides et semi-arides. L'optimum est, en conséquence, de pouvoir effectuer certaines mesures une fois par saison.

Le problème du choix des dates de mesures, sur le terrain, devient crucial dans les situations où l'on a recours à la télédétection satellitaire. Il importe en effet de rechercher la meilleure adéquation, et si possible la simultanéité, entre la date de passage du satellite dont on retient les images et les données pour

créer une carte et la date de la collecte des données de référence sur le terrain. De grands écarts de date peuvent aisément affecter la précision du suivi au niveau des stations de validation sur le terrain. Ceci conduit à rappeler également l'importance des images multi-temporelles. Un jeu minimum de deux images satellitaires aux deux dates contrastées, que sont le pic de végétation et le milieu de la saison sèche, sera nécessaire.

Pour les situations concrètes, sur le terrain, l'on ne saurait assez insister sur le nécessaire esprit d'à-propos qui permettra de choisir avec opportunité les unités où seront effectuées les mesures et ce, afin de se réserver la possibilité d'extrapoler des données sans trop de risques. La connaissance de la dynamique et des relations entre les diverses unités peut constituer une aide précieuse dans un tel schéma en choisissant les unités à mesurer de manière à rendre compréhensibles même les résultats extrapolés. Sur une série dynamique connue de 5 stades successifs, il pourrait, par exemple, être opportun d'effectuer les mesures sur les stades 1, 3 et 5 les autres pouvant éventuellement être extrapolés.

A noter que les méthodes d'étude et de suivi-surveillance de la biodiversité végétale seront proposées au chapitre III.

## **CARACTÉRISATION QUALITATIVE DES MILIEUX**

Cette caractérisation fait appel à deux sources essentielles de données de terrain, l'une provenant de mesures et l'autre d'observations (indice de qualité spécifique des taxons). Ces deux sources pouvant éventuellement être complémentaires (composition floristique).

Les mesures et/ou les observations de ces critères qualitatifs sont *a priori* non destructives. Elles présentent donc l'avantage de pouvoir, avec quelques précautions, être répétées régulièrement sur des mêmes endroits, ce qui ajoute beaucoup de possibilités pour les comparaisons dans le temps. Ces paramètres sont pour l'essentiel relatifs à la notion d'homogénéité et à la caractérisation de la composition et la structure de la végétation c'est-à-dire :

- la composition floristique,
- le recouvrement des espèces végétales et de la végétation (structure horizontale),
- la densité des taxons (structure horizontale),
- les contacts (structure verticale).

Certains paramètres intéressants, car synthétiques, sont issus de calculs effectués *a posteriori*, c'est par exemple le cas :

- du phytovolume (hauteur x diamètre), etc.
- de la valeur pastorale (contacts x indice de qualité spécifique).

## **I. Les méthodes de mesure et d'observation**

### *A. Homogénéité (aire minimale)*

Il s'agit d'une notion capitale pour les travaux du programme Roselt/OSS. En effet, les mesures et observations proposées visent, en tout premier lieu, à caractériser des unités considérées comme étant homogènes.

La répartition des éléments de la végétation et du sol est, le plus souvent, très irrégulière en zones arides et semi-arides, ce qui rend cette notion d'homogénéité délicate à aborder. Parmi les difficultés, il faut évoquer la détermination du nombre de mesures à effectuer, pour chaque site, sur la base du calcul de l'intervalle de confiance appliqué aux données acquises. En zones arides, l'on est souvent contraint de se satisfaire d'une fiabilité toute relative des moyennes obtenues. C'est par exemple le cas pour les valeurs des mesures de phytomasse sur pied, qui sont parmi les données présentant la plus grande hétérogénéité spatiale et pour lesquelles le nombre de placettes à mesurer atteint rapidement des grandeurs incompatibles avec les possibilités réelles au niveau des observatoires.

#### *Principe*

L'on considère que cette notion de relation aire-espèce permet, en particulier, de contrôler la représentativité d'une végétation. Elle est en effet fondée sur la probabilité de la présence d'une espèce dans une portion de l'étendue étudiée. De ce fait la surface considérée comme représentative constitue un modèle adapté au type de végétation, étudié dans la mesure où il tient compte de la fréquence de chacune des espèces présentes.

L'aire minimale représentative, de la végétation présente, est une de ces caractéristiques majeures de chaque type d'unité de milieu. Les données de la littérature démontrent, à souhait, à la fois les similitudes (types de formations) et les différences (niveaux de pression humaine et bioclimat) que l'on peut observer dans la nature. Les travaux qui fondent cette méthode sont ceux de Calléja et al., 1962 ; Godron, 1970, 1971 ; etc.

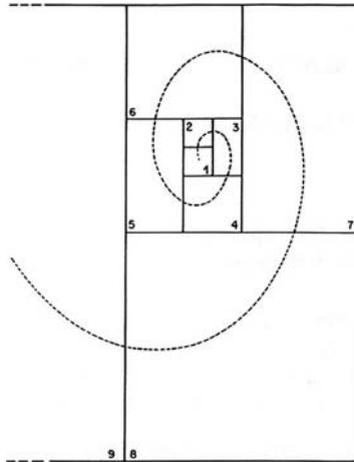
#### *Protocole pratique*

La procédure pratique consiste, dans une unité considérée *a priori* comme étant homogène et suffisamment étendue, à tirer au hasard un certain nombre d'emplacements (stations) où seront effectués les relevés (cf. Annexe I b). De manière pratique (mais certainement pas très rigoureuse !), le hasard

est obtenu, à l'intérieur de l'unité de végétation à étudier, par le jet à l'aveuglette d'un outil emmanché dont le point de chute établira le démarrage des lectures. Cette démarche n'est pas totalement indécente pour des unités de superficie limitée (rares en zones arides), susceptibles d'être totalement balayées par ce lancer. Le dispositif est mis en place de manière progressive et le relevé consiste à établir la liste floristique sur des placettes de plus en plus grandes [la surface étant doublée à chaque étape (1, 2, 4, 8, 16, 32 m<sup>2</sup>, etc.)]. Parmi les dispositifs proposés dans la littérature, nous retenons celui correspondant au schéma de la figure 2.

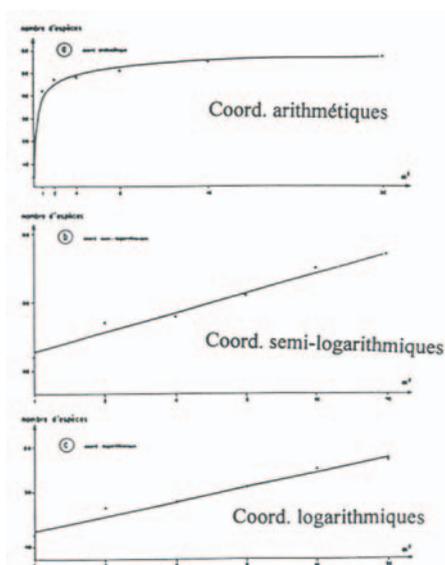
La sommation, à chaque étape, des espèces rencontrées permet d'établir la courbe aire-espèce. Si le milieu est homogène, le nombre d'espèces s'ajoutant à la liste devient progressivement quasiment nul (cf. figure 3a). Sur ce graphique, en coordonnées arithmétiques, le point d'inflexion de la courbe d'acquisition de nouveaux taxons est censé déterminer, pour ce relevé, l'aire minimale qui est une superficie en m<sup>2</sup>. Dans la pratique, l'on admet souvent la nécessité de pratiquer les mesures sur une superficie double de celle de l'aire minimale ainsi établie.

*Figure 2 : dispositif de superficies croissantes en m<sup>2</sup> (doublement à chaque étape) pour la détermination de l'aire minimale*



La courbe aire-espèce est éventuellement présentée sous divers types de coordonnées : arithmétiques, semi-logarithmiques ou logarithmiques (fig. 3a, b, c). Ces deux derniers types procurent, généralement, de bons ajustements linéaires et permettent de fournir l'équation de la courbe aire-espèces comme sur les diagrammes extraits de Daget & Poissonet, 1969.

Figure 3 : diverses expressions mathématiques des données d'une courbe aire-espèces (Daget & Poissonet, 1969)



L'interprétation de telles courbes conduit à qualifier l'homogénéité de l'unité étudiée, et cette aire minimale, représentative, devra être considérée comme la surface minimale requise pour la majorité des mesures de terrain. C'est en particulier sur la base de l'aire minimale que seront effectuées les mesures de la densité végétale (démarche qualitative) mais également de la phytomasse (démarche quantitative).

### Quelques résultats

Tunisie et Algérie : steppe à chaméphytes aire minimale = 32 m<sup>2</sup> (Floret et *al.*, 1978 ; Djebaili, 1978).

Niger : Jachère à *Sida cordifolia* en défens = 16 m<sup>2</sup> (Ouattara et *al.*, 2000).

                  "                  "                  "                  pâturées = 60 m<sup>2</sup>.

Ainsi que cela a déjà été évoqué, sous d'autres formulations, la dégradation du parcours, par suite de surpâturage, entraîne la réduction de la hauteur, du diamètre (et donc du phytovolume et de la phytomasse) des individus du moins pour les taxons les plus appréciés du bétail. Il s'en suit éventuellement leur raréfaction et même leur disparition (régression de la biodiversité).

## B. Composition et structure (Méthode des points-quadrats)

### 1. Composition floristique, Structure horizontale de la végétation, et États de surface

#### *Principe*

L'objectif est de quantifier les divers éléments de la structure d'une flore, d'une végétation ou encore d'un milieu. Afin d'atteindre cet objectif, nous avons recours à la méthode des points-quadrats et éventuellement à quelques méthodes complémentaires appliquées pour des situations particulières.

Cette méthode dite des points-quadrats a été mise au point par Levy & Madden 1933 et un bordereau de saisie type qui reste à adapter aux besoins de chaque situation est présenté en annexe II.a. Il est possible, selon cette méthode, de déterminer dans la même opération de terrain et pour une même unité de milieu :

- la composition floristique (cf. § précédent),
- la structure (horizontale et verticale),
- les états de surfaces.

Le principe de la méthode est d'effectuer des observations (présence) ou mesures (comptages du nombre de contacts) dans la végétation, à intervalles réguliers le long d'une ligne. La méthode se base sur le fait qu'il est possible, lorsque le nombre de points d'observations ou de mesures devient assez élevé, d'assimiler une fréquence à un recouvrement.

Nous avons, pour des raisons de précision de la mesure, opté pour la méthode des points-quadrats de préférence à la méthode dite de la 'ligne intercept' (Canfield 1941). Il s'avère en effet que, lors d'études comparatives, la méthode des points-quadrats s'est révélée être la plus valable. Toutefois la méthode 'ligne intercept', dont nous rapportons le protocole en annexe (Annexe II.a) pourrait être retenue dans certaines circonstances nécessitant des campagnes de terrain plus rapides.

Certains milieux, très hétérogènes, peuvent se révéler délicats à étudier. Comme exemple nous pouvons évoquer les auréoles concentriques en bordure des dépressions salées. La notion d'unité est, dans cette situation, assez délicate à discerner. Les zonations sont complexes et les transitions parfois rapides ne permettent pas la délimitation d'unités suffisamment larges et étendus pour qu'y soient appliquées, de manière rigoureuse, les méthodes ci-dessus évoquées d'étude des milieux. Une adaptation des dispositifs selon

une procédure proposée par exemple par Corre (1970) peut dans une telle situation favoriser la mise en évidence des corrélations alors que les modifications des milieux (et de la flore) sont quasiment continues. La méthode des transects est employée avec le recours à d'autres ingénieuses adaptations. Des transects sont mis en place qui suivent les axes des variations écologiques que l'on veut voir mettre en évidence. L'application de la méthode des limites 'optimales' (Godron & Bacou, 1975) permet ensuite de séparer avec le plus de rigueur possible deux (ou plus) parties d'une biocénose hétérogène. Le repérage de ces 'coupures', dans un continuum écologique, autorise ensuite à appliquer à droite et à gauche des intervalles déterminés des procédures de lecture de lignes de points-quadrats avec une confiance suffisante quant à l'homogénéité des milieux que l'on veut ainsi caractériser. Un tel dispositif peut également s'appliquer à l'étude du profil dunaire depuis la dépression jusqu'à l'arrête puis à travers la flèche. Une procédure de même type peut également s'appliquer sur des espaces beaucoup plus étendus.

### *Protocole*

Le protocole le plus simple, adopté et proposé ici, est celui adapté par Daget & Poissonet (1971). La procédure proposée est la suivante :

- une ligne graduée (il s'agit souvent d'un double décamètre) est tendue dans la végétation. Une aiguille, aussi fine que possible (simulant de fait une ligne de visée), est descendue jusqu'au sol, à intervalles réguliers et repérés dans la végétation, le long de la ligne graduée ;
- deux personnes (1 lecteur, 1 transcripateur) interviennent pour réaliser le relevé. A chaque point de lecture, le lecteur suit la ligne de visée le long de l'aiguille descendue dans la végétation et annonce successivement le point de lecture et la liste des éléments qui y sont rencontrés. Il s'agit soit d'espèces végétales, dont un organe au moins touche l'aiguille, soit d'éléments de la surface du sol (litière, sol nu, éléments grossiers, végétation basale, etc.) touchés par l'extrémité de la même aiguille arrivée au sol. Le deuxième observateur reporte les informations sur un bordereau préétabli. A noter encore que les mesures gagnent, pour plus de précision, à être effectuées lors de jours sans vent.

La longueur de la ligne mais également l'espace entre les points de lecture, le long de la ligne, varient éventuellement en fonction du type de végétation. La distance entre deux points de lecture le long de la ligne est choisie comme étant inférieure au diamètre moyen des végétaux et à la distance qui sépare deux individus de cette végétation. Les intervalles les plus utilisés vont de 5 à 20 cm avec une préférence marquée pour 10 cm. Des calculs statistiques basés sur de nombreuses mesures de ligne ont, en effet, démontré que la maille de

10 cm est la plus adaptée au recensement des espèces steppiques (Nedjraoui, 1981) et probablement au recensement de toutes les végétations ouvertes des régions arides et semi-arides.

La dérive la plus fréquente, entraînant des surestimations, parfois très importantes de la fréquence des espèces, est liée à l'usage d'aiguilles trop grosses et à la prise en considération que la lecture doit être effectuée en considérant l'aiguille comme étant réduite à une simple ligne de visée. Goodall (1952) avait signalé la très grande incidence du diamètre de l'aiguille et rappelé que la lecture doit être réalisée comme le long d'une ligne (sans épaisseur réelle) de visée.

Il y a une relation directe entre le nombre de points lus et la précision de la mesure. Ainsi la longueur de la ligne est déterminée, de façon à obtenir un minimum de 100 points de lecture où de la végétation a été notée. Le nombre de points lus croît donc avec la raréfaction du couvert végétal.

## 2. Structure verticale de la végétation

### *Principe et protocole pratique*

La précision apportée à la mesure le long de la ligne de points-quadrats et décrivant la structure horizontale peut également être apportée à la lecture le long de l'aiguille, descendue dans la végétation et décrivant donc la structure verticale de cette végétation. Il s'agit là d'une extension du protocole déjà décrit. Il faut tout de même avoir à l'esprit que cette extension est singulièrement coûteuse en attention et en temps.

### *Protocole*

Il s'agit, le long de l'aiguille descendue verticalement dans la végétation, de compter et de noter le nombre de contacts de l'aiguille avec la végétation (densité verticale de la végétation) et ce, à chaque point d'observation. L'information (comptage des contacts) est relevée pour chacune des espèces végétales identifiées séparément et en distinguant les strates de végétation où elles sont présentes. Ce protocole est long à mettre en œuvre surtout dans le cas de végétation comportant de nombreuses strates (classes de hauteur) de végétation.

## **II. Caractérisation de la composition et de la structure**

Dans la réalité, d'autres indicateurs que ceux concernant la composition et la structure pourraient être ajoutés qui amélioreraient et complèteraient la caractérisation des unités de milieux. Il s'agit en particulier des indicateurs de fonctionnement et de services. Ces deux points ne sont pas réellement abordés dans ce guide ou, du moins, pas formalisés comme tels. De fait, la

productivité peut-être interprétée comme étant un indicateur du fonctionnement au même titre que la phytomasse (cf. Caractérisation quantitative, présent Chapitre) est un indicateur de services. La caractérisation complète du fonctionnement des unités de milieux constituerait une opération très lourde et hors de propos des objectifs obligatoires de Roselt/OSS. La notion de services est, par contre, à réfléchir sérieusement et représente un axe très intéressant d'extension possible de la problématique Roselt/OSS.

Nous nous limiterons ici à la caractérisation de la composition et de la structure tout en ayant à l'esprit l'étroitesse des relations entre composition, structure, fonctionnement et services. En effet, une modification de la structure d'une végétation est susceptible de modifier son fonctionnement ainsi que la qualité des services rendus, etc.

## *A. Composition et qualités spécifiques des différents taxons*

### **1. Composition floristique**

Rappelons, à nouveau, que la liste floristique établie, comme ici, au niveau des relevés de la végétation ne remplace en rien la nécessité de conduire des travaux relatifs à la biodiversité végétale traitée aux Chapitre III.

#### *Principe*

Une première expression succincte, cependant très insuffisante, de la composition floristique est donnée par la liste des taxons rencontrés le long de la ligne de lecture selon la méthode dite 'des points-quadrats' déjà exposée. Il faut en effet avoir à l'esprit que plusieurs espèces présentes sur un site, mais peu fréquentes, de petite taille ou encore peu couvrantes, peuvent ne pas être relevées lors de la lecture de la ligne de points-quadrats. Il importe donc de ne pas se satisfaire de ce résultat.

#### *Protocole pratique*

L'établissement de la composition floristique d'une unité donnée (liste floristique considérée complète) nécessite, outre le relevé de la liste des espèces de la ligne de points-quadrats, une prospection complémentaire aux abords (notion d'extension) de la ligne de lecture sur une superficie au moins égale à l'aire minimale. Ceci requiert déjà une certaine compétence botanique des personnes en charge de tels relevés.

#### *Interprétation*

La composition floristique (abstraction faite de l'abondance) peut faire l'objet d'interprétations séparées de celles des données obtenues concernant les autres paramètres relevés simultanément :

- Coefficient de similitude floristique de Jaccard

Ce coefficient permet des comparaisons entre stations. Le plus connu est le coefficient de similitude floristique de Jaccard (1902, 1928; in Roux & Roux, 1967). Sur la base de la formule mathématique suivante, ce coefficient  $P_j$  exprime la proportion d'espèces communes (c) par rapport aux espèces particulières (a et b) aux relevés comparés deux à deux.

$$P_j = \frac{c}{a+b-c} \times 100$$

où a = nombre d'espèces de la liste a (relevé A),

b = nombre d'espèces de la liste b (relevé B),

c = nombre d'espèces communes.

Les relevés d'un même site auront des valeurs élevées de ce coefficient, de même parfois que des sites éloignés géographiquement mais présentant les mêmes conditions écologiques.

- *La distance de Hamming*

Daget et al. (2003) proposent, pour les comparaisons floristiques, entre deux relevés, de recourir au calcul de la distance de Hamming selon la formule :

$$H = 1 - J$$

où J est le coefficient de communauté de Jaccard tel qu'il est explicité plus haut.

Daget et al. (*op. cit.*) retiennent les seuils suivants :

-	différence floristique très faible :	H < 20,
-	"    "    faible :	20 < H < 40,
-	"    "    moyenne :	40 < H < 60,
-	"    "    forte :	60 < H < 80,
-	"    "    très forte :	80 < H

D'autres indices permettront de pondérer les espèces en fonction de leurs contributions respectives (abondance) à la végétation d'un site donné.

Il est toujours possible d'améliorer les interprétations en associant à la composition floristique d'autres paramètres relatifs aux taxons (espèces, sous-espèces). Certains travaux ont déjà abordé la relation qui existe entre biodiversité et gestion pastorale (Le Floc'h, 2001). Il est souhaitable que progressivement les taxons des observatoires soient renseignés vis-à-vis d'un maximum de traits biologiques (type biologique, phénologie, traits de vie, etc.) mais également sur la biogéographie (naturalisée, subsponnée, endémique, etc.) et leur statut vis-à-vis de leur besoin éventuel de protection. Ce type de question sera plus abondamment évoqué au Chap. III.

## 2. Indice de qualité spécifique (Is) et autres catégories de traits biologiques

### *Principe*

L'intérêt pastoral d'une espèce végétale relève de nombreux paramètres ; sa valeur énergétique, son appétibilité mais aussi sa vitesse de croissance, sa toxicité éventuelle, etc. Les éleveurs et les pasteurs ont, à ce propos, des connaissances subjectives parfois mal formulées mais tout à fait réelles et il peut-être opportun de les collecter.

Les évaluations d'indices de qualité spécifiques des espèces pastorales sont relativement nombreuses (Algérie : Aidoud *et al.*, 1982 ; Egypte : Ayyad & Le Floc'h, 1983 ; Mauritanie : Mosnier, 1961 ; Tunisie : Le Houérou & Ionesco, 1973 ; El Hamrouni & Sarson, 1974, etc.).

Le constat a été fait que lorsque l'indice d'un taxon est bien déterminé, il se trouve aussi être fortement corrélé à sa valeur énergétique. Les taxons les plus digestibles, et à valeur énergétique élevée, sont recherchés par les animaux et ont donc un Is élevé (Nedjraoui, 1981).

### *Protocole pratique*

Dans la pratique, la procédure adoptée est de classer les taxons pérennes et annuels selon les appréciations moyennes estimées par un certain nombre d'éleveurs et de pasteurs questionnés à ce propos à travers des enquêtes de terrain. La résultante peut être un classement allant de 0 (toxique, non consommé) à 10 (très bonne espèce, très recherchée du bétail) ou encore de 0 à 5. La note relative décernée à un taxon constitue son indice de qualité spécifique (Is) tel qu'il est utilisé dans la formule de calcul de la valeur pastorale d'une unité, présentée au § afférent.

### *Interprétation*

Une première approximation de la qualité d'un parcours peut aussi être donnée par le simple examen des valeurs d'indice Is des espèces composant ce parcours. En effet, un pâturage très dégradé, et donc de peu d'intérêt, sera caractérisé par l'abondance relative de taxons de faible valeur de l'indice Is.

La détermination des valeurs d'indice Is peut-être effectué à un niveau national (Le Houérou & Ionesco, 1973 pour la Tunisie) ou à un niveau régional dans un pays (Ayyad & Le Floc'h, 1983 pour la région côtière du N.W de l'Egypte) selon les besoins. De fait, il est effectif que l'appréciation de cet indice, peut pour un même taxon, varier selon le contexte écologique et de pression animale. Un même taxon refusé dans un site peu pâturé et où l'offre pastorale est forte est peut-être mieux apprécié ailleurs, où l'offre pastorale est réduite.

Notons également, ainsi que cela a été largement démontré, en particulier par Waechter (1981), que le niveau relatif d'acceptabilité d'un taxon dépend de l'état physiologique de l'animal, de la phénologie du taxon, du mode de conduite du troupeau, etc. Il ressort aussi que, tenaillés par la faim, les animaux sont capables de modifier leurs instincts de consommation. Des taxons (*Thymelea hirsuta* et *Asphodelus microcarpus*) totalement négligés dans les steppes de Tunisie sont, par contre, bien consommés dans le N.W. de l'Égypte. Le *Is* de ces taxons est faible en Tunisie et élevé en Égypte. Il y a là matière à réflexion pour l'interprétation de ce paramètre.

Les résultats obtenus donnent lieu à des illustrations diverses pouvant également prendre en compte différentes catégories et regroupements de taxons, comme par exemple:

- taxons palatables a) pérennes : graminées/légumineuses/autres
- " " b) annuelles : " " "
- taxons pérennes non palatables

## B. Structure horizontale

### 1. Fréquence/recouvrement

#### *Principe et Protocole*

Il s'agit de la procédure déjà présentée dans ce chapitre.

#### *Protocoles pratiques complémentaires à la méthode des points-quadrats*

Le protocole de la méthode des points-quadrats s'avère difficile, voire impossible à utiliser pour les ligneux hauts (arbres). C'est la raison pour laquelle de nombreux protocoles de substitution (ex. radiométrie, etc.) ont été proposés, parmi lesquels nous retenons :

- *le périscope à miroir* d'Emlen (1967) décrit par Hamidou (1987) et qui permet de conserver la même méthode de lecture que celle des points-quadrats. Le principe est que cet appareil permet, pour les ligneux hauts, d'effectuer des lectures par visées, à l'aplomb des points où, le long de la ligne, sont effectuées les lectures pour les herbacées et les petits buissons.
- *La projection des couronnes*. Cette méthode, assez rapide, mais relativement imprécise, consiste à mesurer, sur une ligne et si possible quand le soleil est au zénith (ou proche du zénith), l'ombre de la couronne ou encore à déterminer les projections de cette même couronne au sol.
- *Le dénombrement pour l'analyse des ligneux des pâturages*. Le diamètre de tous les brins des ligneux est mesuré au centimètre près, à chaque obser-

vation et espèce par espèce. L'évolution dans le temps de ces diamètres traduit aussi l'état évolutif de tout le peuplement. De fait, dans les stades jeunes des peuplements, les fortes variations du nombre de repousses ne se traduit que par une faible modification du couvert des ligneux et dans ce cas le dénombrement exact des individus présents, dans des placettes de référence, constitue une solution. Dans ces placettes, le diamètre moyen des tiges est obtenu en utilisant un ruban souple, dont les graduations entières des centimètres sont espacées de 3,14 cm (la valeur de  $\pi$ ), placé de manière à entourer étroitement la tige et permettant la lecture directe du diamètre moyen.

### *Calcul & Interprétation*

Il s'agit là d'une opération nécessaire compte tenu du rôle des ligneux dans certaines formations végétales. Cora & Daget (1996) ont proposé un protocole de comparaison de résultats concernant le dénombrement des ligneux. Les paramètres statistiques classiques (diamètres maximal et minimal, diamètres moyen et médian, écart-type, surface terrière, etc.) peuvent être relevés ou calculés.

Pour chaque taxon relevé le long de la ligne de lecture des points-quadrats, il est possible de procéder à divers traitements et interprétations. Bien entendu, les résultats de ces mesures peuvent être interprétés séparément (paramètre par paramètre) ou conjointement ce qui est certainement le plus souvent préférable dans le cadre Roselt/OSS.

#### *a. Recouvrement global de la végétation*

La lecture du bordereau de saisie (cf. annexe III) donne directement accès aux informations concernant le nombre de points où un taxon au moins a été rencontré et, par différence avec le nombre de points 'lus', le nombre de points sans végétation. La fréquence globale (souvent donnée comme étant le recouvrement global R de la végétation) exprime cette donnée en pourcentage du nombre total de points lus.

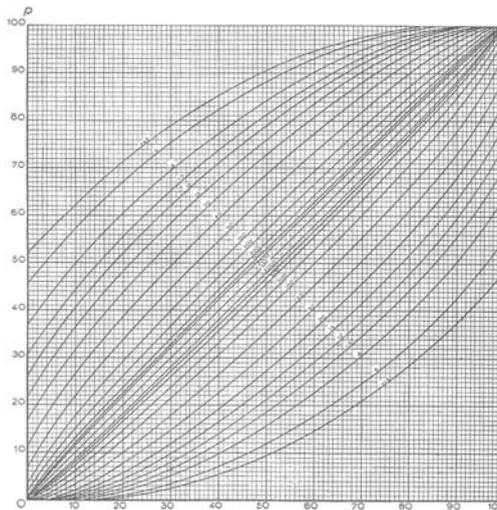
Cette évaluation de la fréquence globale ne peut être assimilée à un recouvrement global de la végétation que si elle satisfait aux conditions de probabilité évoquées au § *Fréquence spécifique* qui suit. Le 'sol nu' (absence de végétation à ce point de lecture) qui est le complément à 100 du recouvrement global. Les strates ligneuses ont une persistance élevée et leur recouvrement ne devient un indicateur fiable et de bonne sensibilité, vis-à-vis de la dégradation, que sur des périodes de 5 à 10 ans. Les strates herbacées sont nettement plus réactives (ce qui peut être excessif) aux changements pluviométriques comme à la dégradation des milieux.

L'évaluation du recouvrement des taxons, mais aussi de la végétation, donne accès à une appréciation de l'état de la végétation, de son évolution (reconstitution, stabilité ou dégradation).

*b. Fréquence spécifique absolue (FS)*

La fréquence spécifique (FSi) est le nombre de points de lecture où un taxon donné *i* est relevé 'présent' lors d'un comptage sur les lignes de lecture. Un abaque (Figure 4) permet de connaître l'intervalle de confiance des FS relevées. Par exemple, pour un taxon de fréquence *f* (axe des *x*) = 10 %, un effectif de 200 points de mesure donnera 95 % de probabilité *p* (axe des *y*) d'avoir un résultat compris entre 6 et 15 %. Ceci signifie que plus le nombre de relevés est grand et plus l'intervalle de confiance (fourchette des valeurs « bornes ») est réduit. Il y a donc intérêt à accroître le nombre de relevés. Les résultats des mesures de terrain sont dans le même raisonnement plus fiables pour les taxons les plus fréquents.

Figure 4 : abaque donnant l'intervalle de confiance en fonction de la fréquence



*f* : fréquence observée (en %) sur un échantillon d'effectif *n*

*p* : proportion (en %) dans la population échantillonnée

*c. Fréquence spécifique centésimale (FSC) et recouvrement spécifique*

La FSC est le rapport entre le nombre de points où le taxon est présent et le nombre de points de relevés, le tout rapporté à cent. Exprimée autrement, la fréquence spécifique centésimale (FSCi) d'un taxon *i* est égale au rapport,

exprimé en pour cent, du nombre de fois ( $n_i$ ) où le taxon  $i$  a été recensé le long de la ligne au nombre total de points échantillonnés.

$$FSC_i \% = \frac{n_i \times 100}{N}$$

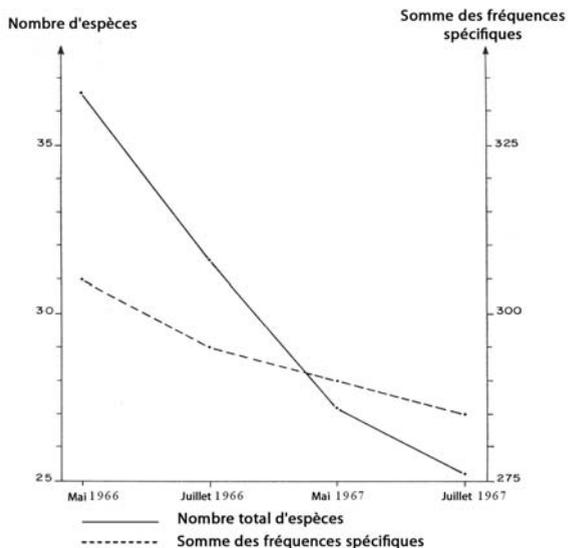
La fréquence spécifique exprime la probabilité de présence d'un taxon dans l'unité échantillonnée. La précision de la mesure dépendra du nombre d'unités échantillonnées. La FSC tend vers une limite qui, lorsque le nombre de points est infini, égale la probabilité de présence du taxon dans l'unité. Si les points du relevé sont considérés comme n'ayant pas de dimension, la probabilité de présence est synonyme de recouvrement du taxon. De fait, l'on considère qu'il faut 100 points de lecture de végétation pour pouvoir assimiler une fréquence à un recouvrement.

Le recouvrement d'un taxon est défini comme étant le pourcentage de la surface de la station couverte par la projection verticale, au sol, des organes aériens de ce taxon.

Le plus souvent, et surtout dès que la végétation atteint un certain seuil de couvert, le couvert total ne coïncide pas avec la somme des recouvrements des taxons présents. En effet, plusieurs taxons peuvent être présents (et donc relevés) au même point de lecture.

Il reste également possible d'établir des relations avec d'autres paramètres. Ainsi Jacquard et *al.* ont dressé le graphique de la figure 5.

Figure 5 : variations du nombre total de taxons et de la somme des fréquences spécifiques dans le temps (in Jacquard et al., 1968)



- Contribution spécifique

La contribution spécifique (CSi) d'une espèce *i* définit sa participation au tapis végétal. Elle est égale au quotient de la fréquence spécifique centésimale de ce taxon (FSCi) par la somme des fréquences spécifiques de tous les taxons rencontrés dans le relevé (Daget & Poissonet, 1971).

$$CS_i \% = \frac{FSC_i \times 100}{\sum FSC_i} = \frac{n_i}{\sum n_i} \times 100$$

Dans les formations ouvertes et peu recouvrantes des zones arides, les plantes (touffes, etc.) en relativement petit nombre peuvent être éparées et il est intéressant alors, pour avoir une idée plus précise de l'état du tapis végétal, de pondérer les contributions spécifiques par le recouvrement global de la végétation (R). La valeur corrigée C'Si exprime la contribution réelle de l'espèce *i* au tapis végétal (Aidoud, 1983).

$$C' S_i \% = CS_i \times \frac{R}{100}$$

Dans le cas particulier, et extrême, où chaque point de lecture le long de la ligne ne comporte qu'une seule espèce, on peut dire que fréquence spécifique centésimale et contribution spécifique sont équivalentes (Hirche et al. 1999).

$$C' S_i = FSC_i$$

### Remarques

Il importe d'avoir à l'esprit que plus la fréquence d'un taxon est élevée et plus cette donnée est fiable. Même sur des lignes permanentes, il n'est nullement assuré que l'absence, une année donnée, d'un taxon de fréquence très faible puisse être interprétée comme un indice de dégradation. Les hasards de lecture peuvent 'éviter' de tels taxons. Ce n'est que pour les taxons présents au-delà d'une certaine fréquence que l'interprétation est relativement fiable.

Daget & Poissonet (1970) ont eu recours à une méthode graphique d'illustration de la distribution de la fréquence des taxons. Cette méthode leur permet de mettre en évidence (dans des végétations herbacées du Cantal, France) l'apparition de courbes bimodales, (accroissement de la fréquence de certains taxons et raréfaction de certains autres), de distribution des taxons dans les milieux soumis à des modifications très fortes.

## 2. Densité des individus

Rappelons qu'il s'agit très certainement, là, de l'un des indicateurs les plus fiables, sensibles et significatifs à intégrer, dès que possible, au kit minimum.

### *Principe*

La notion de densité des taxons, exprimée en nombre d'individus de chaque taxon et par unité de surface ( $m^2$ ), est capitale dans la caractérisation des unités. Le surpâturage peut être aisément détecté quand la densité des bonnes espèces pastorales (cf. § 1b. 'Indice de qualité spécifique') commence à décroître. La phase ultime de surpâturage est marquée par la disparition (ou raréfaction extrême) des taxons consommables par les animaux et l'extension des taxons non consommés.

### *Protocole pratique*

La densité correspond au nombre d'individus, de chaque espèce, présents par unité de surface. Cette mesure (comptage) est réalisée, pour les végétaux pérennes, sur des surfaces correspondant à l'aire minimale déjà évoquée. Pour les espèces annuelles, la densité étant généralement plus élevée, les comptages se font sur des placettes de  $1 m^2$ .

L'application de ce protocole suppose une répartition relativement régulière des plantes. Dans les formations spontanées steppiques, l'hétérogénéité de la distribution des végétaux rend parfois délicat de se satisfaire de la densité relevée dans une surface telle que l'aire minimale. Il reste possible dans ces situations de trop grande hétérogénéité constatée, d'accroître, parfois considérablement, le nombre de placettes de comptage.

Pour les espèces graminéennes pérennes (*Cynodon dactylon*, *Stipa tenacissima*, *Panicum turgidum*, *Stipagrostis pungens*, etc.) et surtout pour les espèces qui se reproduisent essentiellement par multiplication végétative, la détermination des individus n'est pas évidente aussi aura-t-on recours au comptage des touffes même si l'on n'est pas assuré que chacune d'elles représente un individu unique.

### *Interprétation*

L'interprétation des résultats peut se faire par comparaison avec les densités des mêmes taxons dans des mêmes types de végétation ou, plus rigoureusement, des comparaisons dans le temps (suivi) sur un même site.

### 3. Diamètre des individus

#### *Concept*

De telles mesures, rapides à effectuer, peuvent être réalisées le long de transects. Elles sont aisément associables à la notion de densité (mais également de hauteur) si du moins l'on prend soin d'effectuer les mesures de ces paramètres sur les mêmes individus. Elles fournissent alors une indication intéressante sur l'état de développement, ou au contraire de dégradation, d'un peuplement donné.

Dans la réalité, les végétaux croissent selon des architectures propres mais qu'il est possible d'assimiler à des volumes géométriques connus (tronc de cône, cylindre, doubles cônes renversés et superposés, etc.). Les mesures de diamètre doivent pouvoir en conséquence permettre le calcul ultérieur des phytovolumes (diamètre basal, diamètre de la couronne, etc.).

#### *Protocole pratique*

Généralement, la procédure de détermination du diamètre moyen de la couronne d'un individu consiste à mesurer le plus grand diamètre puis le diamètre qui lui est perpendiculaire.

Les mesures de diamètre sur les arbres peuvent être effectuées soit sur le tronc (à la base, ou encore à hauteur d'homme 1,30 m), soit sur la couronne. La projection au sol (ombre lorsque le soleil est au zénith) de la couronne permet d'effectuer les mesures de couronne.

Il est également possible, en particulier pour les touffes de graminées pérennes, de se référer au diamètre basal.

#### *Interprétation*

Le (ou les) diamètre(s) est fréquemment associé à la hauteur dans le calcul du phytovolume (cf. § 'Paramètres calculés').

### 4. Etats de surface

Le recueil des données, concernant ces états, est exposé ici dans un souci de cohérence, ces données étant relevées conjointement à celles de la structure, dans une procédure précédemment évoquée.

Escadafal (1989) définit la surface du sol comme étant le volume de transition entre l'atmosphère et la couverture pédologique. Il s'agit d'une interface entre l'atmosphère et le sol, et cette interface a bien une épaisseur qui en zones arides est très faible. De fait, pour les écologues, les éléments de la surface du sol apparaissent, encore souvent, comme étant des caractères externes du

'substrat de la végétation', c'est-à-dire comme appartenant strictement au sol (Godron et *al.*, 1968).

La présence d'organisations particulières (croûtes de 'battance', etc.) à la surface des sols est une caractéristique des régions arides. Cette surface du sol présente bien d'autres éléments tels que les pavages de cailloux et de graviers, les placages de sable, des algues, ou encore des efflorescences salines. Parmi ces éléments il ne faut pas omettre l'éventualité que l'aiguille descendue dans la végétation touche la partie basale d'une plante. La notion de recouvrement basal est d'ailleurs parfois évoquée même s'il n'en sera plus question dans ce document.

### *Concept*

La 'surface du sol' comprend la partie superficielle de la couverture pédologique directement en contact avec l'atmosphère et les êtres vivants. La surface devient, donc, un moyen de diagnostic des conditions du milieu.

Les différents composants, évoqués plus haut, influent sur l'infiltration, le développement des plantes, la sensibilité du sol à l'érosion hydrique ou à la déflation, comme cela a été montré en Tunisie par exemple (Escadafal, 1989 ; Floret & Pontanier, 1982). Les études montrent qu'une forte rugosité de la surface du sol (terres labourées, etc.) favorise l'infiltration de l'eau.

La méthode de description proposée par Escadafal (1989), basée sur l'observation au niveau macroscopique, a été retenue.

Notons enfin que dès les premières recherches sur l'utilisation de la télédétection dans les zones arides, la prise en compte des caractéristiques de la surface des sols est apparue indispensable pour interpréter les images satellitaires (Long et *al.*, 1978).

### *Protocole pratique*

En chaque point de lecture le long de la ligne déterminée, l'aiguille est descendue, verticalement aux points de lecture, jusqu'à atteindre le sol. Divers éléments de la surface du sol doivent être relevés parmi lesquels : sol nu, sable, pellicule de glaçage ou de battance, cailloux, graviers, blocs, roche-mère, litière, partie basale de végétaux, etc.

Une pratique erronée consiste à limiter l'observation des états de la surface du sol, aux seuls points sans végétation (notion de sol nu évoquée plus haut). Il s'agit là d'une erreur grave annulant tout intérêt d'une interprétation des données.

### *Interprétation*

De même que pour les taxons végétaux, la fréquence des divers états peut être, éventuellement, assimilée à un couvert (en %). La description, fragmentaire et qualitative qui en résulte, rend malgré tout globalement compte de l'organisation des différents constituants et de leur disposition relative.

L'interprétation peut se faire par le biais de l'indication du recouvrement des différents constituants.

Les proportions de ces divers états associées aux indications relevées sur la végétation et la flore instruisent sur l'état de santé d'un milieu. En zone aride nord-africaine, la dégradation d'un couvert végétal entraîne, généralement, la réduction par déflation du voile sableux ce qui, à terme, entrave le développement des espèces herbacées annuelles.

Une comparaison des données des états de surface obtenues aux points sans végétation avec les données obtenues aux points avec végétation serait certainement pleine d'enseignements quant au rôle réel de la végétation ainsi que sur les seuils de couvert favorisant les phénomènes de déflation par exemple.

Une des interprétations les plus informatives concerne la recherche de seuils dans la relation entre couvert global de la végétation et certains états de surface comme par exemple la présence de voile éolien. Un tel seuil marque une rugosité de la végétation favorisant le piégeage des sables transportés par les vents mais également des diaspores (graines) et expliquant la plus ou moins grande abondance d'une strate de végétation annuelle.

## *C. Structure verticale*

### **1. Densité des contacts (contribution spécifique contact)**

#### *Concept*

La seule lecture de la présence des taxons le long de l'aiguille descendue dans la végétation (*cf.* quadrat, § 2, présent chapitre) ne fournit aucun détail sur leur architecture. Il reste possible, les végétaux étant plus ou moins denses, de rendre compte de ces différences par le nombre de contacts de l'aiguille descendue dans la végétation. Il paraît évident qu'une relation existe entre ce nombre de contacts et le poids de la matière vivante sur pied (*cf.* phytomasse).

#### *Protocole pratique*

Ce protocole a été déjà décrit (§ 2 b, présent chapitre). Certaines espèces peuvent donc avoir plusieurs contacts avec l'aiguille lors du relevé et ceci est particulièrement vérifié dans le cas des graminées pérennes.

En général, le nombre de contacts est mesuré pour des végétations constituées d'espèces pérennes dominantes. En effet, quand la végétation est cantonnée dans les strates basses les comptages deviennent délicats à effectuer et les résultats délicats à interpréter.

### *Interprétation*

La *Contribution spécifique contact* (CSC<sub>i</sub>) d'une espèce *i* est le rapport (en %) du nombre total de contacts de cette espèce (C<sub>i</sub>) avec l'aiguille à la somme de contacts cumulés pour tous les points 'lus' (N).

$$CSC_i = \frac{C_i \times 100}{N}$$

Dans les formations subissant une forte pression anthropique la 'densité contacts' procure, concernant le phytovolume réel, des données nettement plus précises que celles issues des seuls paramètres extérieurs de diamètre et de hauteur (*cf.* § suivant).

Par comparaison entre diverses situations, le nombre de contacts exprime l'état des individus d'un taxon et permet d'évaluer l'intensité relative de la dégradation. Il est bien évident que certains individus ayant été extrêmement pâturés émettent parfois quelques nouveaux rameaux très longs mais pour une végétation alors peu dense.

## 2. Hauteur des individus

### *Protocole pratique*

La mesure la plus usuelle de ce paramètre reste la hauteur moyenne des individus. Cependant, dans certaines situations la notion de 'toit de végétation' a été utilisée en notant à chaque point de mesure sur la ligne de points-quadrats la hauteur maximale de la végétation. Ce 'toit de la végétation' peut ainsi recevoir une illustration graphique.

A noter que la hauteur est à associer à une forme. Ainsi la dégradation par le pâturage entraîne parfois des modifications de formes (ex. port dit 'en diabololo', etc.) sans que la hauteur totale (trop élevée pour le brouet) ne soit affectée.

La procédure de mesure de ce paramètre, en vue de caractériser le phytovolume, peut faire appel à la mesure de paramètres particuliers tels que : hauteur du tronc, hauteur totale, hauteur au diamètre maximal, diamètre de la couronne, diamètre basal, hauteur sous canopée, etc., pour une adaptation à la situation particulière de la forme géométrique choisie.

## Interprétation

Le recours à la notion de phytovolume permet, après le choix d'une forme (cylindre droit, cône droit ou renversé, sphère, etc.), de déterminer le volume occupé par un échantillon à partir de mesures telles que diamètre, circonférence, hauteur, etc.

Diamètres, hauteurs, phytovolume et autres paramètres de structure permettent, en association par exemple avec des mesures de phytomasse, l'établissement d'équations calculées de corrélation autorisant des allègements des travaux de terrain (cf. § Démarche quantitative ; mesures selon la démarche mixte et indirecte).

## D. Paramètres calculés

### 1. Valeur pastorale

#### Concept

La notion de valeur pastorale, traduisant la qualité des pâturages, a été initiée par De Vries et *al.* (1942) et développée par Daget & Poissonet. Elle repose sur le fait qu'il est possible d'exprimer la qualité d'une formation végétale pastorale en croisant, pour chaque taxon (ou catégorie d'espèces) pérenne ou annuel présent, la valeur de son couvert (cf. méthode de ligne de points-quadrats) avec l'indice de qualité ( $I_s$ ) de ce taxon (ou catégorie de taxons).

#### Protocole

La formule générale du calcul pour une station (ou pour une espèce) est la suivante :

$$VP = 0,1 \sum_n CSP_i \times I_{s_i}$$

où  $n$  = nombre de taxons de la station

CSP : Contribution spécifique (en %) calculée comme déjà présentée

$I_{s_i}$  : Indice de qualité spécifique des taxons (cf. § 1b afférent) dont la valeur maximale égale à 100.

Initialement définie et élaborée pour les zones tempérées de l'Europe du Nord (de Vries et de Boer, 1959 ; Daget et Poissonet, 1972), la formule appliquée en zones arides, où le recouvrement de la végétation est faible, conduit à surestimer la valeur pastorale. Une correction peut alors être appliquée selon l'une des formules suivantes :

a) la première (Aidoud, 1989) est du type :

$$VP_i = 0,1 \sum_n FSi * I_{s_i}$$

La valeur pastorale est pondérée par le recouvrement global ( $R$ ) de la végétation (en %).

b) la seconde (Hirche et *al.*, 1999) se calcule comme suit :

$$VP_i = 0,1 R. \sum_n CS_i \times Is_i$$

avec  $Fs_j$  : fréquence spécifique exprimée en % de l'espèce  $j$ .

Cette formule tient directement compte de la faiblesse du couvert végétal.

La valeur pastorale n'a qu'une signification relative et donc comparative pour un contexte (local ou régional) donné. Pour une application à grande échelle (pays, etc.), elle doit être étalonnée par un abaque établissant la relation avec la production pastorale qui un caractère absolu.

Au tableau qui suit, il est proposé un cas concret de relevé de végétation et d'expression de divers paramètres évoqués plus haut.

Exemple concret d'interprétation de mesures.

L'Observatoire de Menzel Habib (situé à environ 50 km au nord-est de Gabès, Tunisie), est un exemple représentatif des zones arides du Nord de l'Afrique, où les équilibres naturels ont été rompus, depuis les années soixante-dix, suite à une forte pression anthropique (mise en culture essentiellement mais également surpâturage et collecte de bois) consécutive en particulier à la privatisation des terres. L'exemple présenté (Tableau 8) concerne une station de l'un des types de steppes les plus répandus sur sable : la steppe à *Rhanterium suaveolens* en bon état (Floret et *al.*, 1987 modifié). Ce type de steppe est aujourd'hui menacé du fait de son attractivité pour la mise en culture. Les résultats de mesure de points-quadrats (240 points de lecture) sont interprétés depuis le recouvrement total (RT) jusqu'à la valeur pastorale de la station (VP).

Tableau 8 : dépouillement et interprétation des données brutes recueillies (bordereaux d'enregistrement de terrain) par la méthode 'point-quadrat'

Date : 11 nov. 1974 Localisation : Plaine dite de Zougata Auteur : Saïd Sassi							
Longueur de la ligne de lecture = 12 m, avec un point de lecture tous les 5 cm, soit au total 240 points lus (a)							
Nombre de points où la végétation est présente 162 (b)							
Recouvrement calculé de la végétation $R = b/a \times 100 = 67,5 \%$							
Pourcentage de la surface sans végétation 'sol nu' = 32,5 %							
ESPECES	Nb de points où l'espèce est présente FS	Fréquence spécifique centésimale (FSC) en %	Nombre total de contacts	Contribution spécifique contact en %	Contribution spécifique présence CSP en %	Indice de qualité Is	CSP x Is
<i>Rhanterium suaveolens</i>	120	50	208	67,9	55,1	2	110,2
<i>Plantago albicans</i>	41	17	41	13,3	18,7	5	93,5
<i>Medicago truncatula</i>	22	9	22	7,2	10,1	5	50,5
<i>Picris coronopifolia</i>	17	7	17	5,5	1,7	4	30,8
<i>Hammada schmittiana</i>	7	3	7	2,3	3,3	1	3,3
<i>Launaea resedifolia</i>	6	2	6	2	2,1	5	11,0
<i>Lobularia libyca</i>	2	1	2	0,6	1,1	1	1,1
<i>Cutandia dichotoma</i>	1	+	1	0,3	0,4	4	1,6
<i>Daucus syrtica</i>	1	+	1	0,3	0,4	3	1,2
<i>Hippocrepis bicontorta</i>	1	+	1	0,3	0,4	4	1,6
<i>Centaurea dimorpha</i>	1	+	1	0,3	0,4	0	0
Total		90,6	307	99,8	99,8		304,8
<b>Calcul de la valeur pastorale</b> ( $Vp = 0,2 \text{ (CSC} \times \text{Is)} \times R = 0,2 \times 304,8 \times 67,5 = 41,1$ )							

### Interprétation

– le recouvrement global de la végétation, (proportion des 240 points lus dont 162 où la végétation était présente) atteint 67,5 %.

– *Rhanterium suaveolens* (espèce ligneuse basse appartenant à la famille des *Asteraceae*), appréciée du bétail, 'contacté' 120 fois, sur 240 points de la ligne où la végétation a été relevée, a donc une fréquence spécifique (FS) de 120 et une fréquence centésimale (FC) de 50 %. Sa contribution spécifique [le rapport entre sa FC et la somme des FC de toutes les espèces (90,66 %)] est égale à 55,1 %. Sa contribution spécifique contact [rapport entre le nombre total de ses contacts (208) et la somme des contacts de toutes les espèces présentes (307)], est égale à 67,7 %.

– La valeur pastorale relative (VP) de cette unité, calculée à partir de la somme des contributions spécifiques présence (CSP) de toutes les espèces x leur indice de qualité spécifique Is, et compte tenu du recouvrement total de la végétation R, est de :

$$V.P. = 41,1$$

avec  $\sum CSP_i \times Is = 304,8$  et  $RT = 67,5 \%$

Deux exemples d'illustrations de résultats sont donnés aux figures 6 et 7.

Figure 6 : graphique de l'expression synthétique (par catégories) Floret et al. 1987.

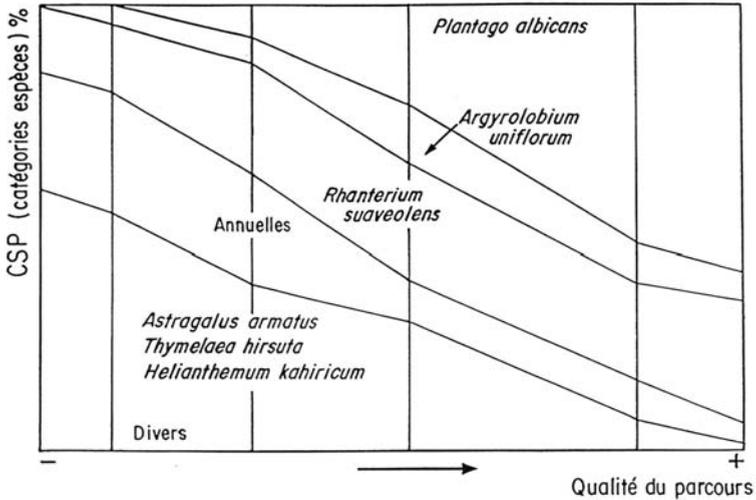
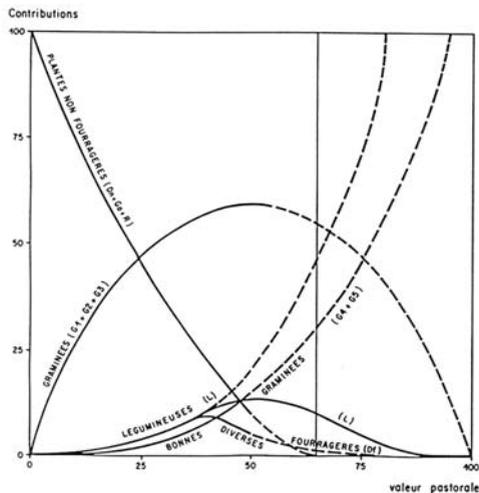


Figure 7 : exemple de diagramme synthétique de D.M. de Vries représentatif d'herbages échantillonnés en Margeride – France (in Daget & Poissonet 1971).



## 2. Phytovolume

Selon la forme géométrique, schématique, retenue les mesures nécessaires (diamètres et hauteurs) seront plus ou moins nombreuses.

L'interprétation peut concerner autant la forme que le phytovolume lui-même. En effet, il apparaît que les diverses pratiques humaines, et en particulier celles liées à la pratique du pastoralisme, peuvent modifier la forme des végétaux. Ainsi, sur un certain nombre d'arbustes des zones arides, le pâturage peut conduire à un port dit 'en diabolo' et ce, plus particulièrement pour les épineux.

## CARACTÉRISATION QUANTITATIVE DES MILIEUX

La mise en place de placettes de suivi, qu'elles soient ou non permanentes, entraîne souvent la nécessité de déterminer une forme de placette permettant un accès aisé sans que les observations répétées, dans le temps, ne transforment la végétation suite au piétinement. De ce fait, il est préférable de recourir à des placettes de forme rectangulaire très allongée et de faible largeur (0,5 à 1 m) pour que les observations puissent être effectuées de l'extérieur sans perturber la placette observée.

### I. Phytomasse

#### A. Définition et concepts

La *phytomasse* aérienne est la quantité (poids) du matériel végétal, vivant ou non, présent au-dessus de la surface du sol, par unité de surface et à un instant donné. Dans un peuplement en état satisfaisant de développement, cette phytomasse constitue la majeure partie de la phytomasse totale.

La *phytomasse* aérienne sur pied est la quantité de végétation sur pied présente, par unité de surface, à un instant donné. Elle s'exprime très généralement en kilogrammes de matière sèche par hectare (kg/MS/ha).

La *phytomasse* « verte » sur pied distingue la phytomasse sur pied de la part plus ou moins importante de matériel mort et qui est une partie de la *nécromasse sur pied*.

La *nécromasse* comprend l'ensemble du matériel mort, qu'il soit ou non encore rattaché aux parties aériennes, présent par unité de surface et à un instant donné. La *nécromasse* tombée au sol est dénommée *litière*.

La *phytomasse* totale requiert d'ajouter à la phytomasse aérienne, déjà évoquée, la phytomasse souterraine (poids des racines vivantes et mortes par unité de surface) à un moment donné et pour une surface connue.

La *phytomasse* consommable est la quantité de masse végétale sur pied consommable par les animaux domestiques. Toutes les parties d'une phytomasse sur pied ne sont pas consommables et ce, pour diverses raisons : accès difficile sur les végétaux très épineux, rameaux trop durement lignifiés, partie trop haute de la végétation, etc. Le phénomène est surtout important au niveau des arbres puisqu'il est évident que la majorité des petits ruminants ne consomment que le feuillage situé entre le niveau du sol et sensiblement 1,50 m de hauteur. Cette notion doit être très bien réfléchie si l'on souhaite la quantifier, ce qui se fait par les méthodes exposées ci-après.

Il s'avère important de connaître la phénologie de la constitution de la phytomasse pour pouvoir espérer accéder à la mesure de production primaire (cf. § B).

Insistons encore sur le caractère très fugace de telles données quand on connaît la vitesse de développement de la végétation, surtout au Sahel. Il y a là un dilemme assez grave dans la mesure où les coûts en temps et en moyens ne semblent pas, et de loin, être compensés par une forte valeur des informations collectées. Malgré ce point de vue, la thématique sera développée dans ce qui suit.

## *B. Protocoles de mesure*

### 1. Méthode destructive

#### *Protocole*

Il importe de bien définir les conditions de mesure dont dépendent les interprétations des données. Parmi ces conditions à relever : présence ou absence de pâturage (et niveau de pression pastorale), position vis-à-vis du cycle phénologique des espèces dominantes, situation climatique (et surtout pluviométrique) de l'année de végétation en cours, etc.

L'aire minimale constitue une base convenable pour les mesures de poids pour la végétation pérenne.

La végétation coupée au ras du sol sur une surface donnée (aire minimale) est :

- éventuellement triée, afin de séparer le matériel vivant de ce qui est mort ; le tri peu aussi être perfectionné en séparant les espèces ou encore en séparant les rameaux feuillés du bois, etc.,
- et pesée sur place pour en connaître le poids frais. On prélève ensuite un échantillon de poids vert connu, qui sera mis à l'étuve à une température

de 75 à 80 °C pour dessèchement, durant 48 à 72 heures (jusqu'à poids constant). Le rapport (%) entre poids vert et poids sec de l'échantillon rapporté au labo devient un coefficient qui, appliqué au poids frais de terrain, en convertira les données en poids sec. Il est souhaitable de trier les espèces phytosociologiquement dominantes, et de les peser séparément dès le terrain.

Le quotient poids vert/poids sec varie avec les saisons et l'état de la végétation ; il importe, à chaque coupe sur le terrain de calculer à nouveau le coefficient à appliquer pour les conversions en poids sec.

Pour la végétation annuelle, les mesures sont effectuées sur des placettes de 1 m<sup>2</sup> avec un grand nombre de répétitions étant donné le caractère très aléatoire de la distribution des végétaux de cette strate. La suite de la procédure (échantillon, pesée, séchage) est commune aux deux catégories végétales.

Un des problèmes majeurs, à l'application du protocole, est la détermination du nombre de coupes à effectuer pour atteindre une représentativité suffisante. Ce nombre (généralement de 10 à 20) est sous la dépendance de l'homogénéité plus ou moins grande de la distribution de la végétation. En principe, le nombre est déterminé par le calcul de la moyenne cumulée de manière à obtenir un intervalle de confiance de 5 %.

$$p = 2 \sigma / m \sqrt{n}$$

où  $p$  = degré de précision ;  $\sigma$  = écart type ;  $m$  = moyenne ;  $n$  = nombre de placettes échantillonnées.

Il reste également possible, au même titre que nous avons évoqué la courbe aire-espèce, d'opter pour l'établissement d'une courbe aire-phytomasse. Le principe de la mesure consiste à effectuer des séries de coupes de biomasse dans des carrés de surface croissante en puissance de 2 (4, 8, 16, 32 m<sup>2</sup>). Les carrés initiaux étant choisis au hasard.

### *Interprétation*

La phytomasse (poids sec) est rapportée à l'hectare (kilogrammes de matière sèche par hectare = kg/MS/ha), ce qui permet de disposer de valeurs comparatives. Chaque série comportera  $n$  mesures sur une aire donnée dans un biotope donné. Les moyennes et les coefficients de variation sont calculés.

Il est également envisageable de calculer et de représenter les fluctuations du coefficient de variation (rapport de l'écart type à la moyenne) par rapport aux unités de surface croissantes d'une courbe aire-phytomasse. L'analyse des variances nous permettra de définir la surface minimale d'échantillonnage la

plus représentative, qui correspondra au point d'infléchissement monotone sur la courbe. Cette méthode, très longue à mettre en place, est rarement employée et l'on a recours, pour le choix de l'aire minimale, aux éventuels résultats d'auteurs ayant travaillé dans des régions similaires.

Daget (1996) note que la végétation des pâturages étant par nature hétérogène, l'analyse des données de phytomasse par les méthodes classiques, basée sur l'hypothèse d'une distribution gaussienne des mesures, n'est pas convenable. Ce même auteur propose de se référer de préférence, pour caractériser la phytomasse, à la médiane des mesures et d'avoir recours à des tests non paramétriques (décrites par exemple par Sprent, 1992) pour les comparaisons. Il ajoute que l'intervalle de confiance de la médiane est calculé en classant les  $n$  valeurs mesurées selon un ordre croissant et que la médiane est la valeur de rang :  $(n+1)/2$ .

La phytomasse, mesurée à un instant donné, ne représente pas la totalité de la matière verte produite au cours du cycle de végétation, c'est-à-dire la production primaire nette. Cette phytomasse n'est constituée, du moins chez les espèces vivaces, que de la part de matière produite subsistant encore ; une autre part de la matière produite au cours du même cycle de végétation a déjà été consommée, est déjà morte (nécromasse), ou alors n'est pas encore produite. Les divers taxons majeurs, pour ne considérer qu'eux, d'une formation végétale ont des cycles végétatifs décalés dans le temps ainsi que cela est, par exemple pour quelques savanes d'Afrique de l'Ouest, abondamment illustré dans le travail de Fournier (1991). Il peut, dès lors, se révéler intéressant de suivre la cinétique annuelle de la phytomasse, mais ceci dépasse très largement les attentes et les possibilités du programme Roselt/OSS.

La phytomasse au pic de végétation de l'espèce dominante d'une formation constitue déjà un apport capital à la connaissance du fonctionnement de la formation, encore faut-il bien prendre soin d'indiquer précisément le moment du cycle de cette espèce où la mesure est faite et si possible quel est le stade phénologique atteint par les espèces codominantes.

## 2. Méthodes mixtes ou indirectes dites 'peu' ou "non destructives"

Les méthodes quantitatives, présentées plus haut, sont destructives et peuvent être singulièrement contraignantes si l'on souhaite assurer un suivi, même sur le moyen terme. Pour ces raisons, nous accordons une place toute particulière aux méthodes regroupées ici sous le vocable 'Méthodes mixtes ou indirectes'.

Ces méthodes ne présentent pas toutes la même facilité d'application ni le même intérêt. Parmi un grand nombre de méthodes décrites dans la littérature,

une certaine préférence est accordée aux méthodes suivantes tout en reconnaissant que les choix peuvent également être tributaires (ou bénéficiaires) des compétences scientifiques et techniques mobilisables au niveau des observatoires.

#### *a. Méthode par entraînement d'observateurs*

##### *Protocole*

Cette méthode a été très employée (Floret & Pontanier, 1982 ; etc.) pour l'étude de la végétation steppique de la Tunisie aride. La méthode pratique d'exécution des mesures de terrain est inspirée de celle de Pechanec & Pickford (1937).

Pour chaque type d'unité, dont il est souhaité de déterminer la phytomasse, environ 30 placettes élémentaires (ayant chacune la superficie de l'aire minimale) sont tirées au hasard. Pour chaque première parcelle d'une série de trois, il est procédé à une estimation visuelle du poids vert de chaque touffe puis à sa pesée après coupe au ras du sol. Les données obtenues (estimation puis poids mesuré) sont toutes enregistrées. Pour les deux parcelles suivantes de chaque série de trois, le poids de chaque touffe est seulement estimé et cette estimation également enregistrée. Pour chaque type de milieu, il est ensuite procédé de la même manière pour les 9 autres séries de trois placettes et les données également enregistrées. Progressivement les observateurs, toujours les mêmes dans la mesure du possible, améliorent leur évaluation visuelle et les résultats sont, de toute manière, corrigés par l'erreur moyenne calculée sur les individus ayant été à la fois estimés et pesés (1 placette sur trois).

##### *Interprétation*

Les résultats pouvaient ensuite être exprimés en poids sec après passage d'échantillon à l'étuve et calcul de la corrélation entre poids vert et poids sec.

La méthode offre l'avantage d'être à la fois économe en temps, d'où la possibilité d'accroître le nombre d'échantillons, et bien moins destructive.

#### *b. Méthode par établissement d'équations de régression*

##### *Concept*

Ainsi que nous l'avons déjà évoqué aux paragraphes des mesures sur la structure de la végétation (diamètre, hauteur et phytovolume), une méthode dite allométrique (Gounot, 1969 ; Heim, 1977 ; Aidoud, 1983) permet, sur la base de la connaissance des relations qui existent entre la phytomasse et un certain nombre de paramètres facilement quantifiables (recouvrement, densité,

phytovolume), d'évaluer la phytomasse avec une certaine fiabilité. Les relations sont exprimées par des équations de régression et des coefficients de corrélations entre les différentes variables utilisées.

### *Protocole*

La pratique de la méthode consiste, dans un premier temps, à mesurer un ensemble de paramètres (hauteur, diamètre, etc.) d'un grand nombre d'individus de différentes dimensions, puis après coupe, pesées en vert, séchage et pesées en sec de ces mêmes individus, à exprimer les résultats corrélatifs de la même manière que pour les mesures directes.

### *Interprétation*

Des relations fiables ont été trouvées entre les valeurs mesurées de paramètres et la phytomasse sur pied pour des buissons ligneux bas et des touffes de graminées pérennes. De nombreux chercheurs (Floret, 1971 ; Joffre, 1978 ; Gaddès, 1978 cités par Floret & Pontanier, 1982 ; mais également Daget et Poissonet, 1971 ; CRBT, 1978 ; Aidoud, 1983 ; Nedjraoui, 1990 ; Boughani, 1995, etc.) ont ainsi trouvé des corrélations entre un certain nombre de paramètres qualitatifs et des paramètres quantitatifs permettant ainsi des appréciations de la phytomasse dans un contexte moindrement destructif. Relativement lourde au démarrage, cette méthode est par la suite relativement rapide puisqu'il suffit alors de mesurer les paramètres allométriques qualitatifs déjà utilisés pour établir les abaques, puis de calculer les équations. La lecture des abaques permet l'évaluation de la phytomasse connaissant les valeurs des paramètres qualitatifs.

Selon les taxons, des formules ont été trouvées par ces chercheurs donnant, de bonnes corrélations entre : a) le diamètre moyen de la couronne et le poids vert (Joffre, 1978 pour des ligneux bas), b) le diamètre moyen, la hauteur et le poids vert (Joffre, 1978 ; Aidoud, 1983 ; pour des ligneux bas), c) le diamètre basal moyen et le poids vert (Gaddès, 1978 pour des touffes de graminées pérennes).

Cette méthode est développée et un exemple est donné à la figure 12 (annexe II.b).

### *c. Méthode radiométrique*

#### *Concept et Protocole*

Cette méthode non destructive (Grouzis & Methy, 1983 ; Boutton & Fieszen, 1983), utilisée pour l'estimation de la phytomasse, est basée sur la mesure de la réflectance spectrale du couvert dans le rouge (0,600 à 700 nm) et le proche

infrarouge (0,750 à 1,00 nm). Les relations qui existent entre ces indices calculés et la phytomasse herbacée sur pied, ou plus exactement encore, l'activité photosynthétique ont été maintes fois démontrées. Le manque d'activité chlorophyllienne, dès que la végétation devient sénescente (ou est en repos), rend alors cette méthode inutilisable.

La procédure consiste en la mesure de la réflectance, puis le calcul des indices de végétation (NDVI, TSAVI, etc.). Il est également nécessaire de disposer de mesures de phytomasse (mesures destructives) au sol sur des sites représentatifs de référence (unités étendues et homogènes). Ces données de phytomasse sont ensuite mises en corrélation avec les valeurs des indices mesurées aux mêmes endroits. L'on peut dès lors établir des droites de régression et transformer, en tous points d'une image les valeurs des indices (NDVI, TSAVI, etc.) en phytomasse. La procédure est efficace si l'on se satisfait de résultats exprimés en classes de phytomasse.

Une expérimentation a ainsi été menée au Niger pour un programme concernant une superficie de 1,5 millions d'hectares pour une série de quatre années de mesure de la phytomasse herbacée au pic de végétation. Cette expérimentation a été menée sur la base d'un choix de 36 sites SPOT de 60 m x 60 m et un protocole de 36 mesures au sol par site. Au cours des années les plus favorables (bonne pluviométrie et bon calage par rapport au pic de végétation), la précision ( $R^2 = 0,74$ ) a été considérée comme bonne. Chacun s'accorde cependant à dire que la méthode est encore trop coûteuse pour pouvoir être proposée hors des contextes expérimentaux.

Il est également possible d'alléger les procédures en pratiquant des mesures radiométriques à l'aide d'un appareil portable. Là encore, la méthode est estimée fiable pour les biocénoses à base de graminées, tant que le rapport matière verte/biomasse totale dépasse 30 %. La méthode est par contre relativement imprécise pour des végétations sèches. Il est nécessaire de procéder à un étalonnage préalable de l'appareil pour chaque type de végétation et à chaque stade phénologique.

La méthode perd de sa fiabilité si la stratification du peuplement (structure) est compliquée ou irrégulière et présente, par ailleurs, des difficultés d'application lorsque le recouvrement de la végétation est faible. C'est, très généralement, le cas dans les zones arides où la réflectance due à la végétation est souvent faible comparativement à celle du sol nu. L'on 'voit' donc plus le sol que la végétation qui n'est réellement perceptible qu'au-delà d'un seuil de couvert évalué à 17-20 %.

L'énorme avantage de cette technologie est, bien évidemment, sa capacité à

permettre la spatialisation de l'information recueillie. La limitation à l'emploi de cette spatialisation dans les études multitemporelles est sous la dépendance de la possibilité de superposition rigoureuse des images satellitaires obtenues à des dates différentes.

Lahraoui (1987) a appliqué cette méthode à l'étude des steppes d'alfa et des steppes d'armoise blanche au Maroc.

### *Interprétation*

La surface échantillonnée par le radiomètre portable correspond à un cercle de 0,63 m de rayon (radiomètre tenu à trois mètres au-dessus de la végétation) ce qui permet d'intégrer en général des plages comportant végétation et sol nu. Des méthodes sont actuellement développées qui combinent la radiométrie du sol et de la végétation (méthodes du *unmixing* ou déconvolution spectrale).

#### *d. Méthode de l'arbre moyen*

### *Protocole*

Pour les arbres et gros arbustes, il est possible de recourir à la méthode dite de 'l'arbre moyen' (Ovington, 1956 ; Whittaker & Woodwell, 1971 ; Duvigneaud, 1974) exposée ci-après. Il s'agit d'une approche essentiellement pratiquée par les forestiers. Elle est effectivement peu destructive.

La méthode consiste à procéder tout d'abord à un inventaire des arbres sur des placettes de 1 ha (100 x 100 m ; ou un cercle de 56,4 m de rayon). Pour chaque placette, les individus sont répartis en classes (jusqu'à 10) en fonction de leur hauteur mais éventuellement aussi du diamètre de la couronne, etc. La pesée de la phytomasse est alors effectuée sur l'arbre moyen (caractéristiques moyennes). Généralement, les pesées sont effectuées en distinguant les feuilles, le tronc, et quelques diamètres de branches. Cette technique forestière dite de 'l'arbre moyen' n'est, de l'avis des personnes qui l'ont utilisée, réellement applicable qu'à l'étude de formations équiennes (plantations dont les individus sont de même âge, etc.). C'est ainsi qu'elle a été utilisée par Zaafouri (1993) pour des mesures sur des plantations d'arbres et arbustes fourragers en Tunisie aride.

Dans certaines situations (savanes arborées, etc.), il reste possible de combiner une telle méthode, appliquée à la mesure sur les arbres, et la méthode destructive (*cf.* début du §) appliquée à la mesure de la végétation basse.

### *Interprétation*

La phytomasse du peuplement (ou des arbres du peuplement) est obtenue en multipliant le résultat de 'l'arbre moyen' par le nombre d'arbres du peuplement.

### Rappel

Pour obtenir une bonne corrélation, il convient de respecter certaines conditions :

- les mesures de phytomasse (et des autres paramètres) doivent être réalisées simultanément (respect de la saison et même de la période climatique) et à l'optimum de développement de la végétation (pic de végétation) ;
- les effets de la variation de la pression pastorale, qui doit être estimée avec attention, sont du moins dans un premier temps nettement plus marqués au niveau de la phytomasse que pour les paramètres de dimensions (hauteur, diamètre, etc.).

Les enseignements les plus précieux peuvent être obtenus par les mesures et les observations effectuées opportunément lors des périodes exceptionnelles sur le plan climatique (sécheresses, inondations) et ce, autant pour les systèmes cultivés que pour les formations naturelles et éventuellement pour les animaux. Dans les situations où des pas de temps fixes ont été adoptés, l'arrivée d'évènements exceptionnels pourraient justifier le point de départ d'un nouveau décompte pour ces pas de temps. L'obstacle majeur reste la réactivité des opérateurs de terrain, qui également investis dans d'autres tâches n'ont pas toujours la disponibilité en temps nécessaire.

Rappelons que leur caractère très fugace et le coût élevé de la collecte de telles données n'incitent pas à les inscrire au tableau des mesures obligatoires dans le cadre de Roselt/OSS.

## II. Production et Productivité

### Définitions et concepts

La **production primaire** exprime la capacité de photosynthèse, c'est-à-dire la quantité d'assimilats produits par les végétaux chlorophylliens sur une surface donnée à un instant donné. Elle est exprimée en masse par unité d'espace. On distingue de fait :

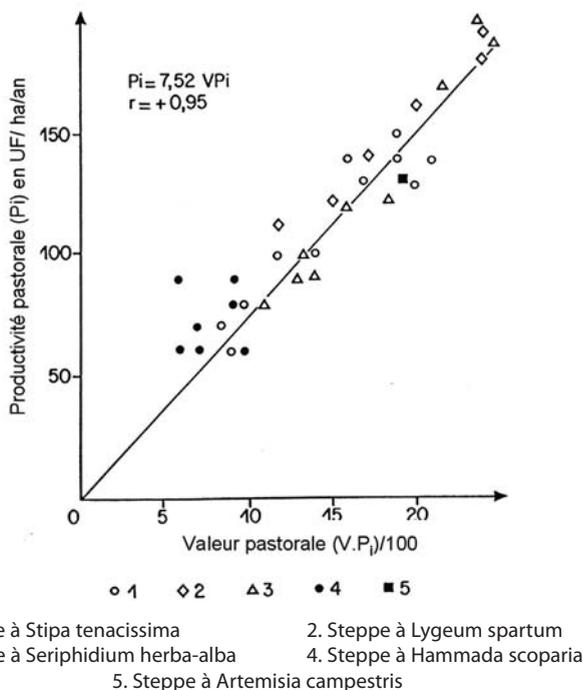
- la *production primaire nette* qui exprime un accroissement de phytomasse sur pied, compte tenu en plus de la litière produite et des matières végétales dégradées ;
- la *production primaire brute*, notion délicate à mesurer, qui englobe la production nette augmentée des pertes par respiration.

La **productivité primaire nette** est la quantité de matières produites rapportée à la dimension d'un ou plusieurs facteurs de production. C'est un rapport de la production par unité de temps et de surface. Il s'agit donc d'une vitesse de production.

Les notions de production primaire et de productivité primaire ne seront explorées que dans le cadre de schéma de recherche dans des directions qui ne sont pas des objectifs prioritaires de Roselt/OSS. Cependant, chaque observatoire représente un site idéal pour des recherches scientifiques ayant pour objectif majeur la connaissance du fonctionnement des biocénoses. De plus, ces différents paramètres, production et productivité primaires, sont essentiels pour la détermination des potentialités réelles des parcours et leur connaissance permettra de proposer, aux développeurs, des méthodes de gestion rationnelle de ces espaces.

Au même titre qu'il existe des équations de régression entre la phytomasse et des paramètres caractérisant une végétation, de même il existe des relations entre la productivité et certains paramètres. A ce sujet, la figure 8 illustre la relation qui existe pour 5 types majeurs de steppes algériennes du Sud oranais entre la valeur pastorale (VPI) calculée à partir de la somme des contributions spécifiques présence (CSP) de toutes les espèces x leur indice de qualité spécifique  $I_s$ , et compte tenu du recouvrement total de la végétation  $R$ , et la productivité pastorale. L'établissement de telles courbes permet de créditer la démarche non destructive après qu'elle ait été validée lors d'une phase de mesures (pesées). Elle reste pour une notion telle que la productivité une mesure non prioritaire dans le contexte Roselt/OSS.

Figure 8 : relation entre valeur pastorale et productivité pastorale dans quelques unités de végétation pastorale steppique du Sud oranais, Algérie (in Aïdoud et al., 1982).



### Aspects agronomiques des ressources

Le tableau 1 décrivant la démarche des mesures et observations de Roselt/OSS comporte mention de parcelles et rendements agricoles. Il n'est pas de notre propos au niveau de ce guide d'aborder les problèmes que pose leur mesure. Ceci ne signifie nullement qu'il est souhaité qu'une impasse soit faite sur ces ressources. La demande vivrière et la compétition économique et sociale (besoins de main d'œuvre) sont effectivement de puissants moteurs de l'évolution des pratiques sociales et donc des modes d'utilisation des espaces et des ressources qu'ils contiennent.

Ce qui complique encore le scénario est le fait que parfois les ressources sont mêlées. Les jachères peuvent être alternativement des espaces agricoles, puis des espaces pastoraux.

Ces mesures nécessitent des protocoles spécifiquement adaptés et il nous paraît qu'elles sont bien connues du monde agronomique. Il est fortement incité qu'au niveau des observatoires Roselt/OSS la collaboration d'agronomes, rompue à de telles mesures, soit obtenue.



# Chapitre III :

## Evaluation et surveillance de la biodiversité à divers niveaux

### INTRODUCTION

Depuis déjà plus de deux décennies (Sommet de Rio, 1992), cette notion de biodiversité, alors très vague et ambiguë, a fait l'objet d'un quasi-plébiscite surtout chez les politiques.

Parmi les difficultés que les scientifiques ont eu à régler, avec le temps, il y a, bien entendu, la définition de la biodiversité (concepts), des procédures (méthodes et outils) de mesures et d'interprétation et des objets (éléments) qu'elle concerne. En effet, le mot biodiversité recouvre des concepts variés, aussi est-il important de lui donner un contenu assez précis et de décrire la procédure selon laquelle elle doit être évaluée dans les diverses circonstances.

La diversité reste souvent une notion floue, aussi, pour pallier ce défaut, suivons-nous la définition qu'en donne Daget & Gaston, 2001 : *la diversité mesure l'hétérogénéité globale d'un ensemble dénombrable dont les éléments peuvent être regroupés en catégories, donc un ensemble partitionnable*. La biodiversité est la diversité relative aux entités biologiques (animaux, végétaux, etc.). Partant de là, la biodiversité mesure l'hétérogénéité d'un ensemble (relevé, paysage, etc.) comprenant des entités (taxons) dénombrables et qu'il est éventuellement possible de regrouper en catégories (types biologiques, groupes fonctionnels, etc.).

### CONCEPTS GÉNÉRAUX

Il est encore possible d'ajouter que la biodiversité doit décrire la totalité de la variété de la vie. La biodiversité doit donc concerner les divers niveaux d'organisation du vivant et ainsi englober depuis la diversité génétique des populations (d'une même espèce animale ou végétale) ou diversité infraspécifique ; la diversité compositionnelle (au niveau des taxons ou des gènes), la diversité fonctionnelle, la diversité des systèmes écologiques (types de milieux, etc.) et des paysages, etc. Chacun de ces niveaux d'organisation (population, espèce, système écologique, paysage) présente lui-même quelques difficultés de définition puisque les entités biologiques concernées vont depuis les gènes, ou plus généralement des taxons reconnus au niveau des flores (espèce, sous-espèce, variété) jusqu'aux biotopes et aux paysages.

Il faut aussi retenir que l'analyse de la biodiversité floristique par exemple porte, le plus souvent de manière restrictive, sur les végétaux supérieurs, c'est-à-dire des taxons biologiquement proches les uns des autres. Ceci est vraisemblablement à la fois dû à la difficulté de détermination des végétaux non vasculaires et au fait que ces végétaux constituent fréquemment l'essentiel des ressources. Il n'est pas impossible qu'il puisse, en certaines circonstances, être bien plus intéressant de considérer, sur le plan alors strictement biologique, par exemple les mousses ou les lichens. En même temps, il faut également retenir qu'il importe d'éviter de mêler dans l'analyse des 'éléments' sans relation entre eux (ex. plantes et oiseaux).

La diversité biologique ou biodiversité constitue un enjeu capital pour le développement sur les plans écologique, sociologique, économique et même éthique. Il apparaît en effet, de plus en plus clairement, que les mésusages que subissent les ressources et les espaces provoquent la raréfaction rapide et parfois même la disparition du matériel végétal, le plus utilisé (appétibilité élevée, matériel végétal prolongeant la période de pâturage, etc.) et probablement le plus performant (production et vigueur élevées).

Il est également évident que la mise en œuvre des techniques de restauration et de réhabilitation des écosystèmes sera, à brève échéance, confrontée à la pénurie de matériel végétal (graines ou boutures) à la fois adapté et performant. Une partie du capital génétique, développé par les adaptations nécessaires et successives des organismes aux variations et aux changements des conditions de milieu, est aujourd'hui en danger. C'est en fait toute la capacité d'adaptation des biocénoses, au travers des organismes qui les composent, qui peut être réduite à néant, entraînant dès lors une exacerbation de leur fragilité et leur incapacité à l'auto-régénération (perte de la résilience).

C'est bien entendu au niveau des biocénoses préservées que la diversité génétique et spécifique est la plus originale et élevée. Dans le contexte des régions arides et semi-arides, où la dégradation de l'environnement est de plus en plus rapide, il s'avère difficile de concilier les trois volets du développement que sont : Aménagement-Restauration-Conservation.

Ce qui précède étant entendu, le programme Roselt/OSS se doit de porter un effort soutenu à la connaissance de la biodiversité. Les sites Roselt/OSS, le plus souvent placés à proximité, ou parfois même incluant des zones protégées (Parc, Réserve de Biosphère, etc.), constituent un cadre privilégié à cette prise en compte de la biodiversité et sa caractérisation. Ce point de vue mérite cependant d'être nuancé dans la mesure où, dans les milieux protégés depuis longtemps, les adaptations à l'action de l'homme ne sont plus effectives.

L'homme dans les espaces et sur les ressources qu'il exploite n'est pas qu'un consommateur mais il est également un sélectionneur, ce qui montre la difficulté de gérer le maintien de la biodiversité au service de la communauté humaine.

Les travaux concernant la biodiversité sont déjà nombreux et élaborés en ce qui concerne les taxons. Ils sont cependant bien plus rares au niveau par exemple des paysages. Pour cette raison nous aborderons la présentation en allant du particulier (taxons) au général (paysage) tout en insistant sur le fait qu'un travail sur la biodiversité au niveau d'un observatoire doit d'abord s'appuyer sur un zonage pertinent.

## **PROTOCOLES DE COLLECTE DES DONNÉES**

Dans un premier temps, il importe d'établir une synthèse des connaissances floristiques caractérisant le territoire considéré (Observatoire).

La valorisation des acquis peut parfois, si les données sont précises et fiables, permettre de suivre l'évolution de la diversité végétale au cours du temps. Dans cette perspective, les actions prioritaires auront pour objectifs de :

- valoriser l'ensemble des connaissances acquises,
- préserver et constituer les collections biologiques de référence,
- archiver les inventaires anciens.

Les collections biologiques sont constituées par les herbiers établis par le passé et constituant une connaissance de référence sur la flore caractéristique de la région écologique s.l. dont le territoire de l'Observatoire fait partie. Des efforts doivent être faits pour récupérer, autant que possible, d'anciennes données sur la biodiversité (listes d'espèces, cartes...), tout en vérifiant leur validité. Ces deux sources de données fournissent une bonne base pour l'évaluation des changements (pertes de taxons ou ajouts) au cours du temps, du temps  $t_{-n}$  années au temps actuel  $t_0$ . Cette base sera actualisée, exhaustivement ou non, périodiquement (inventaire périodique) à  $t_{+4 \text{ ans}}$ ,  $t_{+8 \text{ ans}}$ ...

La donnée brute est la composition floristique, autant que possible exhaustive, de l'Observatoire. La prospection en vue d'une étude de la flore d'un lieu doit être menée avec une rigueur absolue sous peine de voir réduire à néant son intérêt.

La première phase du travail concerne la délimitation des unités de milieux avec la contrainte de rechercher les sites les plus originaux quand à la

combinaison des facteurs écologiques qui les définissent. C'est cette originalité qui peut également déterminer l'originalité de la flore qui y réside.

## **I. Délimitation et qualification des paysages et des biotopes**

Dans la mesure où elles existent, il est possible d'envisager que soient synthétisées les informations contenues dans des documents cartographiques thématiques (écosystèmes, biotopes et paysages) aux échelles par exemple du 1/10 000 au 1/25 000. L'existence généralisée de tels documents pour toute l'aire Roselt/OSS permettrait d'établir une liste des biotopes majeurs de cette aire ainsi que de définir leur intérêt relatif dans la conservation.

Pour les études relatives à la biodiversité, la subdivision de l'espace répond aux mêmes critères que ceux évoqués au Chapitre I. Cependant, une acuité plus grande est requise en ce qui concerne la distinction et la délimitation des biotopes.

La photographie aérienne (plus particulièrement la photographie couleur) constitue un outil d'un intérêt indiscutable dans le zonage pour les études relatives à la biodiversité. La stéréoscopie qui exacerbe les variations de relief, parfois peu visibles par ailleurs, permet d'affiner le zonage. Ce qui est recherché ici se situe un peu à l'opposé de ce qui est espéré pour le zonage de la COT (cf. Chapitre I) où l'on privilégiait une vision plutôt synthétique du terrain. Dans la situation présente ce qui importe est, par contre, la mise en lumière des facettes les plus originales de l'espace même si elles sont d'étendue réduite. Les oppositions de versant, les fortes variations de pente les changements marquants de substrats, etc. Toutes ces multiples facettes du terrain sont en effet susceptibles d'ajouter à la diversité des taxons présents dans un espace.

La cartographie n'est pas toujours l'outil suffisant de repérage en ce qui concerne la diversité au niveau spécifique. En effet une pente abrupte, une anfractuosité peuvent receler des taxons importants ajoutant grandement à la biodiversité de l'ensemble. Dans de tels cas, d'autres moyens de repérage, tels que le positionnement par GPS, peuvent se révéler incontournables.

Les pratiques de gestion de l'espace peuvent également introduire des modifications importantes au niveau des biotopes (et des biocénoses). Elles permettent donc éventuellement de subdiviser un espace par ailleurs homogène sur le plan des paramètres biophysiques (climat, sol, géomorphologie, etc.). C'est le cas par exemple d'une mise en défens créant des états de développement différents d'une même végétation.

## II. Choix des sites et stations

### A. Etape de caractérisation de l'état initial

L'idée maîtresse est bien d'établir la liste la plus exhaustive possible du capital 'taxons végétaux' des diverses biocénoses. La notion d'aire minimale si elle reste intéressante perd cependant de son opérationnalité. Il reste possible de placer la station dans une partie aussi homogène que possible du biotope et d'exécuter la première partie de la prospection sur une surface coïncidant avec l'aire minimale avant de poursuivre sur l'aire d'extension et enfin de fouiller les recoins. Cet acharnement nécessaire pour ne rien laisser 'échapper' est souvent favorisé par le 'flair' plus ou moins développé des prospecteurs qui doivent de surcroît être bons floristes de terrain.

### B. Etape de suivi-surveillance

Comme pour les mesures et observations présentées au Chapitre II, il existe également une problématique particulière en ce qui concerne le suivi de la biodiversité. La démarche retenue doit être consécutive à une réflexion biologique sur les buts de ce suivi-surveillance :

- surveillance d'une population particulière d'un taxon donné : nécessité d'exécuter des relevés périodiques (cartographie éventuellement) sur ce même site bien repéré. La distribution d'espèces confinées au niveau des biotopes spécifiques (*biotope-specific species*) peut être utilisée comme indicatrice de tels biotopes. La surveillance de leur distribution peut être utilisée pour prédire les changements affectant le biotope ;
- surveillance générale : procéder au choix de certains sites localisés sur des gradients d'activités humaines ou de tout autre facteur d'éventuelles modifications du milieu ;
- étude de l'intérêt de la biodiversité : placer les sites dans des milieux situés par exemple sur la même toposéquence ou sur des gradients de facteurs écologiques particuliers (pluviométrie, etc.).

## III. Recensements floristiques : établissement des listes floristiques

Les données de base sont celles contenues dans les relevés floristiques complets avec notation d'une observation, ou d'une mesure, permettant de juger de l'abondance absolue ou, au moins relative (*cf.* § d.1 qui suit), des taxons. Les interprétations étant souvent basées sur le nombre de taxons (espèce et éventuellement sous-espèce et variété).

La collecte des données, au niveau stationnel, dans un type de milieu donné suit la procédure de l'établissement de la liste floristique déjà évoquée au § « Composition floristique » au Chapitre II. Pratiquement, il s'agit d'établir la liste des taxons présents dans l'étendue de l'aire minimale à laquelle s'ajoute la liste des taxons trouvés dans l'extension plus ou moins proche. Il est souhaitable que les prospections répondent à quelques exigences :

- attention portée aux biotopes 'refuges' (situations écologiques rares et peu étendues) qui constituent un cas particulier de diversité et qu'il est indispensable de surveiller pour l'étude de la biodiversité même s'ils ont, du fait de leur faible étendue, été négligés lors de l'étude des ressources (Chap. II) ;
- recherches par observations très attentives ;
- prospections éventuellement répétées dans l'année afin de s'assurer de ne pas omettre l'observation d'espèces (éphémérophytes, géophytes, etc.) à cycle très court par exemple ;
- prospections éventuellement répétées lors d'années exceptionnelles (pluviométrie très élevée) afin de s'assurer de ne pas omettre l'observation d'espèces qui, du fait de leurs exigences écologiques, ne peuvent être que rarement observées ;
- suivi répété, par exemple tous les quatre ans, pour les sites considérés les plus fragiles ;
- suivi réalisé consécutivement à des événements climatiques exceptionnels avec comme objectif d'accroître les connaissances sur les exigences écologiques des espèces.

### **Rappel**

Il reste évident, dans le respect des contraintes des opérateurs de terrain, que l'essentiel sera d'effectuer de bonnes et sérieuses prospections avec le concours de floristes confirmés. Les perfectionnements évoqués, plus hauts, sont utiles mais leur absence ne pourra constituer un obstacle majeur aux interprétations des solides données collectées.

## **IV. Quantification des taxons**

Si l'opération était aisée à réaliser, le simple comptage des individus par unité de surface (densité) pourrait être une quantification suffisante pour les besoins du calcul des indices qualifiant la biodiversité (ex. diversité alpha). Dans la pratique, les notions les plus fréquemment utilisées sont les suivantes.

L'absence de ce type d'information quantifiée concernant la pondération entre les taxons entraîne l'impossibilité de caractériser la biodiversité de la végétation.

### *A. Evaluation de l'abondance-dominance*

Braun-Blanquet et Pavillard (1922) définissaient comme suit ces deux notions :

- l'abondance est une appréciation relative du nombre d'individus de chaque espèce entrant dans la constitution de la population végétale d'un territoire donné,
- la dominance concerne le recouvrement des individus de chaque espèce.

La quantification repose habituellement sur l'évaluation de l'abondance (notion qualitative) et de dominance (notion quantitative) au sens de Braun-Blanquet (1928, 1952). La probabilité de présence d'un taxon dans une unité de milieu est évaluée par sa participation effective au couvert.

Ce coefficient d'abondance-dominance, utilisé en phytosociologie, permet de fournir une appréciation de l'importance d'une espèce dans une unité de milieu.

Les coefficients utilisés permettent de ranger les taxons inventoriés dans l'une des 6 classes suivantes:

- + . individus rares, recouvrement très faible < 1%
- 1. individus assez abondants mais recouvrement faible, inférieur à 5 % de la surface étudiée
- 2. individus abondants recouvrant 5 à 25 % de la surface étudiée
- 3. individus abondants recouvrant 25 à 50 % de la surface étudiée
- 4. individus abondants recouvrant 50 à 75 % de la surface étudiée
- 5. individus abondants recouvrant plus de 75 % de la surface étudiée

Les informations qualitatives relevées, selon la méthode de Braun-Blanquet, peuvent être traduites en recouvrements selon une formule établie par Daget (1998). La conversion, calculée par cet auteur, est la suivante. Les valeurs 0 (ou +), 1, 2, 3, 4, 5 correspondent statistiquement et respectivement aux valeurs de recouvrement de 0, 1, 3, 10, 30, et 90 %.

### *B. Mesure du recouvrement (Contribution spécifique)*

Ce type de mesure (*cf.* Daget & Poissonet, 1971, 1991) a été présenté au § afférent du Chapitre II. Rappelons que la lecture des lignes de points-quadrats ne permet généralement de relever qu'une fraction des individus présents dans la biocénose. Cette donnée devra donc être ici complétée ou alors on lui substituera la notion d'abondance-dominance (§ précédent).

# INTERPRETATIONS

## I. Richesse stationnelle et ses diverses expressions

Elle est ici fondée sur la seule prise en considération de la liste des taxons présents et parfois même sur leur seul nombre sans notation de leur identité. C'est le plus souvent à cette seule notion que les 'journalistes' font référence quand ils parlent de biodiversité.

### A. Concept

La richesse floristique rend compte d'une partie de la diversité au travers de la flore par le nombre de taxons inventoriés dans l'unité de milieu considérée. Cet indice, utile (Connor & Simberloff, 1978) et simple à manipuler, a été couramment employé pour parler de biodiversité (Hill, 1973). C'est la mesure de la richesse taxonomique (diversité) d'une communauté la plus usitée. Cependant, il faut impérativement garder à l'esprit qu'une fois de plus l'on se trouve face à des valeurs relatives et que ce n'est donc que la comparaison des relevés, effectués dans des stations similaires et le long de gradients écologiques, qui donne tout son sens à cette notion.

L'hétérogénéité spatiale, qu'elle soit naturelle (géologie, exposition, sols, etc.) ou provoquée par l'homme (constitution de mosaïques paysagères, diversification de la stratification tant horizontale que verticale de la végétation) induit le plus souvent un accroissement de la biodiversité. De même, pour un milieu donné, une activité humaine maintenue à un niveau modéré est réputée pouvoir accroître la biodiversité. Cependant, la biodiversité (au niveau stationnel) régresse généralement quand la pression humaine (artificialisation) croît au-delà d'un certain niveau.

Il faut ici insister sur le fait que la qualité des résultats est sous la dépendance directe des qualités des connaissances en botanique des personnes effectuant les relevés. Il est trop fréquent de ne disposer que de données erronées, ou incomplètes, ce qui invalide toutes les interprétations que l'on pourrait en faire.

A ce niveau, un taxon très rare acquiert autant d'importance qu'un taxon nettement plus fréquent et/ou, par exemple, très productif sur le plan pastoral.

La prise en compte dans les interprétations des connaissances scientifiques accumulées vis-à-vis des taxons repérés sur le terrain est essentielle. Il serait également essentiel de pouvoir prendre en compte la perception que les populations utilisatrices ont de ces mêmes taxons. Chaque taxon identifié pourrait ainsi être caractérisé par :

- son écologie (autécologie) : préférences et exigences écologiques, biotopes ;
- des données quantitatives : fréquence spécifique, recouvrement, phytomasse, densité, distribution spatiale (cf. Cartes chorologiques) ;
- l'utilisation qui en est éventuellement faite : alimentation humaine, fourrage, combustible, pharmacologie, stabilisation des sols, valeur culturelle et sociale, et autres services rendus,
- le statut de protection : listes rouges internationales ou nationales, règles de protection, de conservation...

La seule considération de la richesse floristique ne permet pas, ainsi que cela a déjà été suggéré plus haut, de porter un quelconque jugement définitif sur la production ou les potentialités de la végétation qui la recèle. Elle n'implique aucune prise en compte de considérations relatives à la production (couvert de la végétation, etc.).

Déjà à ce niveau, il importe, afin de pouvoir par la suite comparer ce qui est comparable, de s'astreindre à effectuer les relevés de terrain au cours de campagnes relativement brèves dans le temps. Dans l'absolu, l'interprétation devrait se limiter à comparer entre elles des séries de données collectées 'simultanément'. Au cours de la campagne de relevés d'une même année, un décalage, parfois même réduit à trois semaines, peut entraîner l'impossibilité de comparer entre elles des données du fait par exemple de l'achèvement du cycle biologique de certaines espèces ou de la germination de certaines autres. De même, sur des temps aussi brefs, la survenue d'évènements climatiques tranchés (fortes pluies, épisodes de chaleur excessive, gel, etc.) peut modifier de manière très significative une situation et l'interprétation de données collectées 'avant' et 'après'.

Il reste qu'il faut également encourager toute initiative de mise en œuvre concrète de protocoles visant à étudier l'évolution de la biodiversité d'une même station dans le temps. Une telle démarche justifierait bien entendu d'effectuer des relevés décalés dans le temps.

## *B. Diverses expressions de la richesse stationnelle*

### 1. Nombre d'espèces

De fait, il ne s'agit pas réellement de biodiversité puisqu'il n'est pas tenu compte de l'identité des taxons présents. Cette notion ancienne est désormais en partie dépassée.



la proportion de cailloux et des cuirasses, de l'humidité stationnelle globale et enfin de la pression humaine (le plus souvent par l'accroissement de la charge animale).

Les chiffres obtenus pour une même région (ou toute autre entité géographique) permettent de calculer une moyenne et son intervalle de confiance. Ainsi Daget (2002) a calculé pour la steppe mongole une richesse floristique moyenne de 29,3 taxons avec un écart type de 8,09. Il reste souvent préférable de calculer la médiane (le nombre pour lequel la moitié des données lui est inférieure et l'autre moitié supérieure).

### 3. Similitude floristique par biotope

Le Coefficient de similitude floristique de Jaccard et la Distance de Hamming (exposés au § 'Composition floristique' du chapitre II), permettent, selon un calcul très simple et très parlant, de comparer entre elles des listes floristiques établies (Daget et *al.*, 2003) :

- aux mêmes endroits à des dates différentes,
- aux mêmes dates et en des endroits différents, etc.

### 4. Traits de vie et autres caractéristiques des taxons

Il reste possible de comparer des relevés en classant les taxons par rapport à :

- leur rareté considérée localement ou internationalement (UICN, etc.),
- leur statut biogéographique (proportion de taxons ubiquistes, menacés, etc.),
- leur indice de qualité spécifique (Is) déjà présenté (*cf.* Chap. II),
- leur différence de stratification,
- leur spectre biologique, etc.

Ce recours à la notion de types biologiques (*life forms*) s'avère souvent intéressant. Il existe en effet une relation étroite entre le spectre biologique (proportion de chaque catégorie de types biologiques dans une unité donnée) d'une station et les conditions écologiques de cette station.

De multiples autres comparaisons entre stations sont encore possibles toutes fort instructives et dont l'intérêt réel repose cependant sur l'objectif proposé à ces comparaisons. Quelques unes de ces analyses seront développées plus loin.

Dans cette approche par la richesse floristique, tous les taxons ont le même poids, étant tous considérés comme ayant une abondance moyenne ce qui n'est bien sûr pas la réalité ainsi que le révèlent les observations concernant l'abondance-dominance ou le recouvrement (*cf.* § précédent).

## 5. Notion de spectre par famille botanique

Il s'agit d'une notion très voisine de celle de spectre pastoral ou fourrager développé par Poilecot & Daget, 2002. L'expression de la richesse floristique est opérée par famille botanique. Un tel spectre sur la flore peut également être transformé en spectre sur la végétation en associant aux taxons les informations relatives à leur contribution spécifique (*cf.* Chapitre II).

## 6. Intérêt pour la conservation

Les observateurs de terrain, en charge des prospections relatives aux travaux concernant la biodiversité, doivent être alertés sur l'éventualité de rencontrer des taxons présentant un grand intérêt biogéographique. Les taxons rares et ceux dont les populations sont de plus très discrètes méritent d'être repérés avec grands soins autant dans la précision (GPS, photographie, croquis), que dans la discrétion. La qualité des prospections est impérative et chacun pouvant admettre que les autres travaux de caractérisation de la végétation (mesures relatives à la structure, etc.) ne produisent généralement que de pauvres inventaires floristiques.

La prise en considération au niveau d'un observatoire (la démarche est également envisageable pour les observatoires d'un pays, etc.) des listes de taxons permet déjà de dégager une statistique sur le nombre de fois qu'un taxon donné a été rencontré, sur le nombre de biotopes différents où il est présent. De là se dégage la notion de rareté ou abondance locale relative.

Les recherches bibliographiques doivent à un second stade de ce travail permettre de dégager le même type d'information au niveau régional. Il importe cependant de porter beaucoup de considérations critiques aux indications des flores concernant l'abondance relative, ou le niveau supposé de rareté, des divers taxons. Les travaux des botanistes se sont parfois satisfaits de la consultation des herbiers.

Les menaces (régression, extinction) qui pèsent sur les taxons végétaux sont, en majorité, liées aux activités humaines. Selon leurs traits démographiques et certaines autres caractéristiques les espèces végétales, d'un même lieu, soumises aux mêmes pressions, ne présentent pas toutes le même niveau de menace. A cela s'ajoute la plus ou moins grande rareté de ces taxons (au niveau local, régional ou mondial) ce qui mène à de grandes différences en ce qui concerne leur intérêt pour la conservation.

En corollaire, à la régression de certains taxons, il faut considérer l'éventualité d'introductions (volontaires ou non) avec ensuite un accès éventuel au statut de taxon spontané, voire naturalisé. Cette histoire des introductions des végétaux est aussi captivante et pleine d'enseignements.

De nombreuses publications (Debussche & Thompson, 1999 ; Molina et *al.*, 1999 ; etc.) abordent les divers aspects de la détermination des taxons menacés et de l'établissement de listes d'espèces à protéger. Sans aller jusqu'à ce niveau, un premier diagnostic peut être envisagé au niveau de chacun des observatoires Roselt/OSS.

Les potentialités des milieux traduisent parfois un niveau plus ou moins élevé d'anthropisation et il est généralement admis que cette pression a des effets dépressifs. Des modèles prédictifs (déjà évoqués), élaborés pour comprendre la variation de la composition dans l'espace et le temps, tentent de mettre en évidence le rôle des perturbations dans le maintien de la biodiversité (Pickett 1976 ; Connell 1978, etc.). Connell (1978) les a regroupés en deux modèles, l'un d'équilibre' et le second de 'non-équilibre'. Il est admis que la coexistence des espèces végétales lors des successions et sous diverses fréquences de perturbation s'explique mieux par les modèles de 'non-équilibre'. Selon ce type de modèle, les perturbations (biotiques et abiotiques) favorisent la coexistence des taxons en réduisant le phénomène dit d'exclusion compétitive. Il est assez généralement admis que la diversité compositionnelle est maximale quand les perturbations sont elles intermédiaires (moyennes) en intensité et en fréquence. C'est l'hypothèse des perturbations intermédiaires de Connell, 1978. Une fréquence élevée des perturbations limiterait la diversité, seuls les taxons pionniers parvenant alors à s'installer et à se maintenir. Dans un scénario de fréquence faible des perturbations, les processus de succession jouent à plein et les espèces les plus compétitives tendent à faire régresser la diversité. Un niveau intermédiaire de perturbation générerait l'élimination compétitive et favoriserait donc la diversité. Lors de perturbations, la diversité croît d'abord, atteint un maximum si la pression reste modérée, puis régresse si la pression est maintenue ou accentuée.

La 'richesse' au sens large est, au premier niveau de l'analyse, exprimée par biotope mais il est également possible de l'exprimer par paysage, observatoire, région, etc. Cette expression de la biodiversité, à des niveaux spatiaux supérieurs à celui où elle a été mesurée, est cependant assez trompeuse. Une forte diversité spécifique au niveau des biotopes ne signifiant pas obligatoirement une grande diversité au niveau régional si les taxons 'ubiquistes' présents sont le plus souvent les mêmes dans les divers biotopes constituant la région. Par contre, une région avec de nombreux biotopes très différents comportant chacun ne serait ce qu'un petit nombre de taxons différents pourrait présenter une forte biodiversité.

## II. La diversité spécifique

### A. Principe

Dans l'étude de la richesse stationnelle (pour un biotope identifié), le niveau de connaissance de la flore ne tient aucun compte de la plus ou moins grande abondance des taxons dans l'unité. Il faut pourtant avoir à l'esprit que l'étude de la végétation porte, du moins en partie, sur l'importance comparée des taxons dans la constitution de la couverture végétale et que cela sous-entend donc leur quantification objective (cf. les protocoles exposés plus haut). C'est donc à ce niveau qu'interviennent les types de pondération que sont le relevé de l'abondance-dominance ou la mesure du recouvrement des taxons.

Quatre types de biodiversité sont classiquement distingués (Whittaker, 1972, 1977 ; Blondel, 1995 ; Barbault, 1997 ; in Daget, 2004) :

- les biodiversités internes (caractérisation) :
  - . dans une unité hiérarchique de l'espace, qu'il s'agisse d'un relevé, d'une station, d'un biotope ou encore d'un paysage : *biodiversité  $\alpha$*  ; il s'agit toujours d'une unité d'espace considérée dans sa globalité ;
  - . dans un groupe de relevés d'un degré carré, d'un paysage, etc. : *biodiversité  $\delta$* . Il s'agit de traiter de la biodiversité de deux (ou plus) stations d'un même ensemble, ces stations étant considérées séparément.
- Les biodiversités externes (comparaison) :
  - . comparaison de relevés, de stations, d'éléments d'un paysage : *biodiversité  $\beta$*  ; la comparaison peut aussi, par exemple, concerner deux relevés effectués sur la même station mais à des dates différentes ;
  - . comparaison de groupes de relevés, de stations, de paysages : *biodiversité  $\delta$*  ; ceci peut par exemple consister à comparer la biodiversité de deux paysages.

La diversité maximale correspond également à l'incertitude maximale c'est-à-dire le cas où toutes les contributions de tous les taxons seraient les mêmes. Pour les divers indices de biodiversité, une espèce rare et une espèce très fréquente ne seront pas considérées comme diversifiantes.

### B. Les types de diversité

#### 1. Diversité alpha (diversité- $\alpha$ ) ou intrabiotope

##### Définition & concept

La diversité- $\alpha$  est *la diversité des espèces dans une communauté* (Huston, 1994) ou encore la diversité intrabiotope. Elle peut être évaluée grâce à

l'emploi d'indices basés sur des paramètres (l'abondance-dominance ou la contribution spécifique mesurée) relatifs aux taxons considérés séparément.

La diversité est, rappelons-le, maximale dans les peuplements où toutes les espèces ont le même nombre d'individus (Barbault, 1995). A l'inverse, un peuplement dont une espèce est majoritairement dominante affiche une valeur faible de son indice de diversité.

### *Traitement des données*

Parmi les indices proposés dans la littérature, nous retenons :

- l'indice de Shannon & Weaver (Shannon & Weaver, 1949), largement utilisé ; sa valeur est calculée à partir de données quantitatives ou semi-quantitatives de la végétation. A une valeur d'indice élevée (entre 0 et 1) correspond une diversité élevée.

$$H' = - \sum_{i=1}^S p_i \log_2 p_i$$

où S = nombre total d'espèces

$p_i(n_j/N)$ , fréquence relative des espèces

$n_j$  = fréquence relative de l'espèce j dans l'unité d'échantillonnage

N = somme des fréquences relatives spécifiques

### *Interprétation*

L'interprétation est complétée par le calcul de l'équitabilité (E) qui, pour l'indice de Shannon & Weaver, répond à la formule suivante :

$$E = \frac{H'}{\log_2 S}$$

L'équitabilité est élevée quand toutes les espèces sont bien représentées. Son évaluation est utile pour détecter les changements dans la structure d'une communauté et a, quelquefois, prouvé son efficacité pour déceler les changements d'origine anthropique.

Les indices de dominance (Magurran, 1988) ainsi que l'indice de Hill (1973), non exposés ici, sont également mobilisables.

## 2. Diversité beta (diversité- $\beta$ ) ou interbiotopes

### *Définitions & concept*

La diversité- $\beta$  est définie comme étant *l'importance du remplacement des espèces ou des changements biotiques le long de gradients environnementaux* (Whittaker, 1972).

Elle mesure la diversité entre différents biotopes, ou le long d'un gradient (ou d'un transect), de changements concernant différents sites ou biocénoses. La diversité bêta peut être mesurée en utilisant divers indices de similitude. Son intérêt est dès lors de compléter l'étude de la diversité alpha et de rendre compte de la diversité à l'échelle de la région.

Le fait de disposer de listes floristiques anciennes, établies le long de gradients, peut s'avérer très intéressant en rendant possible l'établissement d'une situation de référence à laquelle les autres données peuvent ensuite être comparées.

### *Traitement des données*

Divers indices permettent d'accéder à une évaluation de cette diversité.

- Indice de Jaccard (1902 ; in Roux & Roux, 1967), déjà évoqué à plusieurs reprises dans ce document (cf. § 'Composition floristique', Chapitre II). La formule est répétée ici :

$$P_j = \frac{c}{a + b - c} \times 100$$

où a = nombre d'espèces de la liste a (relevé A),  
b = nombre d'espèces de la liste b (relevé B),  
c = nombre d'espèces communes aux deux relevés.

Très utilisé, cet indice permet de quantifier la similarité entre habitats. Cette similarité augmente avec la valeur de l'indice.

- Indice de Sørensen (1948) calculé selon la formule :

$$P_s = \frac{2c}{a + b} \times 100$$

où, les symboles ont les mêmes significations que dans la formule de Jaccard, les espèces communes ayant, toutefois, un poids plus important.

D'autres indices et d'autres méthodes, non présentées ici, existent pour évaluer la diversité végétale d'une biocénose. Il s'agit par exemple des indices de Whittaker (1960), de Cody (1975), de Wilson et Shmida (1984), de la méthode des diagrammes rang-fréquence (Frontier & Pichod Viale, 1993), etc.

### 3. Diversité gamma (diversité- $\gamma$ ), biodiversité d'un paysage

La diversité- $\gamma$  (ou biodiversité régionale ou à l'échelle d'un observatoire) peut être mesurée en utilisant l'indice de Shannon (Shannon & Weaver, 1949) qui

prend en compte le nombre et l'importance relative des éléments (*i*) dans l'espace considéré. La formule a déjà été exposée au § 1 qui précède.

Cet indice est considéré comme étant le plus important pour la détermination de la biodiversité. Il intègre en effet l'ensemble des autres mesures, et est affecté par l'hétérogénéité écologique dans et entre les différents biotopes. En général, les environnements les plus hétérogènes favorisent une plus grande diversité gamma ; ce qui peut, en retour, favoriser l'augmentation de l'hétérogénéité des paysages écologiques.

### ***Diversité au niveau des biotopes***

A terme, l'on pourrait espérer que des types de biotopes puissent être décrits et des listes prioritaires établies sur le modèle de ce qui existe en Europe (ex. : programme CORINE). Ce programme européen a développé une classification des habitats selon leur importance dans la conservation de la nature. Il comprend six niveaux de description. Les habitats sont définis à partir des références phytoécologiques. Dans chaque type d'habitat, les paramètres physiques et les types d'écosystèmes et de paysages sont pris en compte. Les habitats sont cartographiés et géoréférencés dans chaque pays, ce qui constitue la base informationnelle du réseau 'Natura 2000' (Cherpeau, 1996).

Afin de renforcer le réseau Roselt/OSS, il serait possible de cartographier les biotopes de l'échelle sub-nationale, nationale à l'échelle continentale sur la base d'un référentiel plus phytoécologique (y inclus l'occupation des terres) que phytosociologique.

### ***Diversité au niveau des espaces cultivés***

Les milieux cultivés et surtout les friches et la jachère comportent une flore souvent très riche au niveau stationnel. Il reste intéressant que les écologues investissent ce secteur.

### ***Diversité au niveau faunistique***

Quoique trop rarement abordée, cette diversité doit être également importante à considérer. Il est par exemple évident que la présence, ou l'absence, d'un grand herbivore peut modifier très profondément la biodiversité végétale.

Le niveau de la hiérarchie spatiale que constitue le paysage peut, aussi, être évalué et surveillé sur un certain nombre d'autres paramètres que ceux relevant de la biodiversité. Dans l'absolu, il est d'ailleurs important de retenir que la démarche effective d'accès à la diversité spécifique passe d'abord par la délimitation des paysages puis des biotopes.



# Chapitre IV :

## Evaluation et surveillance de la diversité écologique et structurelle des paysages

### INTRODUCTION

Il peut s'avérer important de suivre la diversité spatiale au niveau d'assemblages d'unités écologiques (biotopes et biocénoses) que sont les paysages. Parmi les objectifs, l'on peut citer ceux liés à la possibilité a) de les décrire de manière un peu formelle et b) de suivre leur évolution et celle de leur diversité. C'est d'ailleurs cette évolution, sous la pression anthropique, qui mène à une certaine banalisation floristique des biocénoses.

### CONCEPTS

Comme image, nous retiendrons que les activités humaines sont une source constante de modifications de l'hétérogénéité spatiale aux différents niveaux d'espace du biotope, au paysage et à la région. Le paysage est fabriqué par l'Homme et, de ce fait, est constamment en évolution. Il se définit également par le fait qu'il résulte de 'l'empreinte' (les usages) laissée par l'homme sur une 'matrice' bio-géophysique.

En accord avec la définition retenue pour le paysage (*cf.* § zonage du Chapitre III), l'on peut aisément assimiler paysage à bassin versant. Il est dès lors possible (avec en particulier le concours de la photographie aérienne) de délimiter les divers 'paysages' d'un observatoire.

La diversité d'un paysage est liée à la diversité des biotopes, ou unités d'occupation du sol, qui le composent. Cette diversité est considérée comme étant essentiellement due à la diversité des situations écologiques mais également à la structure (étendue, longueur des périmètres des unités de même type, nombre d'unités de chaque type, etc.) de cette diversité. Pour bizarre que cela puisse paraître, ces paramètres peuvent constituer de bons descripteurs de l'organisation des milieux. Ainsi par exemple, la longueur des périmètres des biotopes donne une information intéressante sur les possibilités d'échange entre ces unités. Parmi les éléments importants, l'on cite les corridors (continuité linéaire de nature entre deux unités de milieu) qui jouent un grand rôle dans le fonctionnement des biotopes en favorisant par exemple la dissémination des espèces animales et végétales. Ainsi, les corridors peuvent être utilisés en tant qu'indicateurs des impacts, des changements d'occupation des terres, sur la biodiversité.

D'autres auteurs (Godron et *al.* 1972, 1999) ont une approche plus basée sur la perception visuelle éloignée ('le paysage est ce qui se voit'). Pour des difficultés inhérentes à la nécessité d'obtenir des mesures (superficie, autres paramètres jusqu'au fonctionnement) que l'on puisse répéter dans le temps, elle n'est pas retenue ici et nous lui préférons la définition selon Forman & Godron, 1981.

## **I. Diversité écologique (diversité des biotopes)**

Il s'avère intéressant d'appliquer au niveau du paysage les schémas déjà évoqués, au chapitre III, pour les taxons. Dans ce schéma, il convient de définir comme élément, équivalent de l'espèce, le type de biotope. D'autres types d'unités de milieux pourraient être retenus (types de formations végétales, unités phytosociologiques, etc.) pour peu que la terminologie employée face référence à des éléments constants, identifiables et aussi homogènes que possible.

### *A. Protocole*

Sur le terrain, avec le secours des moyens de télédétection, il est procédé à la délimitation et à la cartographie des biotopes (ou autres types d'unités de milieux pour peu qu'elles répondent aux qualités discernées au § précédent). Un certain nombre de descripteurs permettent de définir une typologie et d'élaborer une légende de la carte établie. C'est la légende d'une telle carte qui informe sur les biotopes discernés sur le territoire cartographié et sur leurs éventuelles relations dynamiques. Cette liste des divers biotopes peut par la suite servir de point de comparaison diachronique (disparition, addition) et aide donc à la surveillance de l'évolution des superficies occupées par chacun d'entre eux (extension, régression).

Les biotopes peuvent être surveillés par la cartographie récurrente, et leur distribution évaluée. Les changements de taille et de distribution de ces biotopes peuvent également servir d'indicateurs dans l'évaluation globale des changements d'occupation des terres, en liaison notamment avec l'impact des activités humaines (*cf.* Carte des unités paysagères).

Il est également proposé de classer les biotopes en distinguant, par exemple :

- . les biotopes de petite taille mais à large distribution (nombreuses petites unités du même biotope),
- . les biotopes 'endémiques' d'une 'région écologique',
- . les biotopes en périphérie de l'aire de répartition principale,
- . les biotopes en déclin ou en voie de disparition.

Chaque observatoire de Roselt/OSS doit ainsi pouvoir établir une liste des biotopes les plus singuliers (liste rouge au niveau observatoire) en repérant ceux signalés sur de telles listes nationales et qui sont présents dans l'Observatoire. Un tel effort replacerait la démarche Roselt/OSS dans un contexte plus général : sub-national, national, sub-régional, régional et mondial. Bien entendu, l'état des connaissances nationales et en conséquence régionales et internationales est lié au niveau de connaissances locales et ce niveau, à quelques exceptions près, est encore faible dans l'aire Roselt/OSS. Une grande entreprise attend donc les scientifiques en charge de ce volet.

### *B. Traitement des données*

Comme pour les taxons (*cf.* Chapitre III), il est envisageable de présenter les résultats d'un paysage où divers biotopes (ou unités de milieux, ou types d'occupation des terres) sont présents en mosaïques par :

- la richesse, c'est-à-dire le nombre de biotopes différents distingués,
- la diversité gamma (diversité- $\gamma$ ) qui peut par exemple être mesurée en utilisant l'indice de Shannon (Shannon & Weaver, 1949), qui prend en compte le nombre et l'importance relative des éléments (*i*), c'est-à-dire ici des biotopes, dans l'espace considéré. Le calcul de la valeur de l'indice est complété par le calcul, simultané, de l'équitabilité.

Cet indice est considéré comme étant le plus important pour la détermination de la biodiversité écologique. Il traduit l'hétérogénéité écologique (nombreux paramètres de valeurs contrastées), c'est-à-dire dans ce cas celle des biotopes d'un paysage. En général, plus les environnements sont hétérogènes, plus ils favorisent la diversité gamma ; ce qui peut, en retour, favoriser l'augmentation de l'hétérogénéité des paysages écologiques. Ainsi, la diversité globale croît avec la diversité écologique. Inversement, la diminution de l'hétérogénéité écologique réduit les options de diversité spécifique (Naveh, 1994).

Bien entendu, l'équation de Shannon peut prendre en compte le nombre et l'importance relative des éléments (unités d'espace) mais non l'agencement des éléments dont les paramètres de mesure sont de nature différente. Ces autres paramètres relatifs à la structure doivent être traités et interprétés différemment au paragraphe qui suit.

D'autres méthodes et indices, comme ceux cités par Farina (1993), peuvent encore être employées.

### *C. Interprétation*

Parmi les expressions possibles des résultats, il faut retenir :

- le taux de biotopes (habitats) menacés (régression, extinction) par comparaison à ceux connus au niveau des listes rouges et des inventaires ; Ils témoignent aussi nécessairement des pertes de diversité des biotopes dans le territoire d'observatoire ;
- comparaison diachronique (disparition, addition) des listes des différents biotopes mais également une surveillance de l'évolution des superficies qu'ils occupent (extension, régression).

## II. Diversité structurelle

### A. Concept

Un paysage peut, par exemple, être constitué des éléments qui suivent : savane 50 %, forêt sèche 25 %, jachères 10 %, champs 10 %, forêt riveraine 5 %. Un tel constat n'implique pas que chacun de ses éléments (savane, forêt sèche, etc.) soit en une tache unique. Il est nettement plus probable que les champs soient en grand nombre et de petite taille, mais que forêts et savanes soient également morcelées. De fait, la taille des unités de chaque élément (forêt claire, etc.) devient à ce stade un paramètre intéressant à considérer. De même, dans le paysage, il peut être important de décrire le voisinage de cette forêt claire.

### B. Protocole

Dans le cas présent, il convient d'avoir à l'esprit que les différentes unités de milieu présentes - et non plus un type d'unité (élément au paragraphe précédent) - peuvent donc occuper des étendues fort variables. Baudry & Baudry-Burel (1982) en tirent comme conséquence que ceci exclut que les îlots puissent être retenus comme étant les individus et proposent comme solution :

- d'échantillonner par transect en retenant des points équidistants assimilés à des individus,
- d'appliquer arbitrairement, sur une carte des biotopes, un carroyage (une grille). Chaque maille de la grille est alors considérée comme étant un individu dont l'identité est celle du biotope qui occupe la plus grande proportion de la maille. Les valeurs des divers paramètres (exclusion faite ici des paramètres strictement liés à la composition taxonomique et traités plus haut) concernant les biotopes d'un paysage donné ou de divers paysages d'un même observatoire peuvent également être acquises au laboratoire dans la mesure où l'on dispose d'une bonne cartographie. De nombreux paramètres ont été évoqués dans la littérature. Ainsi, pour un paysage donné, Baudry & Baudry-Burel (1982) retenaient déjà :
  - . le nombre d'unités d'occupation du sol,
  - . la surface occupée par chaque unité (ou nombre de mailles, dans le

carroyage évoqué plus haut, occupés majoritairement par ce type d'unité),

- . le périmètre de chaque unité (longueur de contact avec les unités voisines),
- . la dispersion des unités (nombre d'îlots élémentaires).

Farina, 1993, a présenté de nombreux indices mathématiques à partir de paramètres qualifiant les écotones et la mosaïque d'unités.

Aronson & Le Floc'h (1996) ont proposé 16 attributs vitaux différents au niveau du paysage. Certains de ces attributs nécessitent, pour pouvoir être évalués sur le terrain, de disposer de compétences improbables. D'autres sont plus accessibles dont :

- . les types, nombre et importance des unités géomorphologiques,
- . le nombre de biotopes,
- . les types, nombre et importance des unités de milieu,
- . la diversité, durée et intensité de la pression humaine passée,
- . la diversité de la pression humaine actuelle,
- . le nombre et proportion des types d'utilisation du sol,
- . le niveau de transformation anthropique du paysage,
- . l'étendue des perturbations dans le paysage,
- . le nombre et importance des invasions biologiques,
- . la nature et intensité des diverses sources de dégradation.

Il est possible d'ajouter d'autres paramètres à ces listes et l'essentiel reste de fait, après avoir bien formulé les questions que l'on se pose, de choisir les paramètres les plus pertinents, au titre desquels nous ajoutons :

- le taux (%) de biotopes disparus vs apparus : indicateur des changements des conditions environnementales ;
- la longueur totale de l'emprise des infrastructures (routes, clôtures, haies, canaux, etc.) dans une région ; ce paramètre peut être retenu comme indicateur de la fragmentation du paysage ;
- la longueur d'éléments linéaires naturels et semi-naturels (corridors) dans les paysages fragmentés ;
- le nombre et la taille des aires protégées au niveau local (cf. mises en défens, réserves pastorales...). Les modifications du nombre, de la taille et des types d'aires protégées peuvent servir d'indicateurs des stratégies de mise en œuvre de la conservation de la biodiversité.

A signaler que Forman & Godron (1981) ont décrit quatre types de corridors :

- . les corridors linéaires : bandes étroites en lisière des habitats (sentiers, haies, bords de routes) ;
- . les corridors en bande, dont la largeur suffisante favorise le prompt mouvement des espèces caractéristiques de l'intérieur des taches ;
- . les corridors de type 'ours d'eau', pouvant fonctionner comme l'un des deux précédents, mais qui contrôlent en plus l'érosion du lit du cours d'eau, l'envasement et les niveaux de nutriments du ruisseau ;
- . les réseaux constitués par l'interaction des corridors et subdivisant la matrice en de nombreuses taches.

### C. Traitement des données

Baudry & Baudry-Burel (1982) ont fait appel à deux types de mesure :

#### 1. Agrégation des descripteurs (mesure de la diversité au niveau des biotopes)

Les paramètres traités deviennent alors la superficie totale du territoire étudié (S), la superficie totale du type de biotope considéré (S'), le nombre total d'îlots (unités de milieu) de ce biotope (N), le périmètre total des îlots de ce biotope (P).

La diversité D induite par unité de surface est, selon les mêmes auteurs :

- . proportionnelle à l'importance des lisières P/S, et au nombre moyen d'îlots N/S,
- . inversement proportionnel à la dimension moyenne des îlots :

$$1/(S'/N \times 1/S) = 1/S'/NS = NS/S'$$

- . d'autant plus grande que le terme  $1/(S'/S) \times 100-50$  est grand, c'est-à-dire que l'unité considérée occupe une superficie proche de la moyenne.

#### 2. Mesure de la complexité des biotopes par le recours à la théorie de l'information

C'est sur ce protocole que les auteurs proposent d'avoir recours à un échantillonnage le long d'un transect portant des points équidistants. Les calculs afférents à cette application sont forts complexes aussi ne sont-ils pas présentés ici. Retenons cependant que le milieu sera considéré comme étant d'autant plus complexe que les unités seront réparties au hasard.

## Chapitre V : Métadonnées

Afin de permettre le partage et la diffusion des données collectées et traitées dans chaque observatoire, un service de métadonnées pour le programme Roselt/OSS assure leur catalogage et leur diffusion. Il s'appuie sur la description de chaque type de données en utilisant les métadonnées. Ce chapitre définit les éléments de métadonnées spécifiques (profil de métadonnées) pour décrire les jeux de données écologiques tels qu'ils ont été définis par le réseau Roselt/OSS. Son implémentation s'appuiera sur le standard international ISO 19115 en y incluant les éléments donnés ci-dessous. Ils feront l'objet d'un profil spécifique de métadonnées.

### **I. Métadonnées pour la description des jeux de données d'un inventaire des habitats, de la flore et de sa diversité**

#### Rubrique : Informations sur l'extension spatiale et temporelle du jeu de données

- date d'observation
  - type de date
  - date
- saison d'observation
- observatoire Roselt/OSS concerné
- coordonnées géographiques

#### Rubrique : Informations sur la qualité du jeu de données

- protocole d'échantillonnage
  - description de la méthode d'échantillonnage
- protocole de collecte
  - description de la méthode de collecte
  - opérateur
    - (nom, prénom, etc.)

#### Rubrique : Informations supplémentaires sur le jeu de données

- type d'inventaire
- flore(s) utilisée(s)
- inventaire des biotopes
  - liste des biotopes
  - description des biotopes
  - liste des espèces caractéristiques
  - indices calculés
  - diagramme rang-fréquence
  - carte des biotopes

- o évaluation de la rareté des biotopes
- o liste des biotopes en danger
- o interactions espèces/biotopes
  - inventaire des espèces
  - liste des espèces
  - description des espèces
  - description des biotopes des espèces
  - description des populations
  - liste des indices calculés
  - carte des espèces
  - évaluation de la rareté des espèces
  - liste des espèces en danger
  - interactions espèces/biotopes

## **II. Métadonnées pour la description des jeux de données d'un inventaire de la végétation**

### Rubrique : Informations sur l'extension spatiale et temporelle du jeu de données

- date d'observation
  - type de date
  - date
- saison d'observation
- observatoire Roselt/OSS concerné
- coordonnées géographiques de la zone de prélèvement

### Rubrique : Informations sur la qualité du jeu de données

#### Protocole de collecte

- identifiant du protocole
- description de la méthode d'échantillonnage
- opérateur
  - (nom, prénom, etc.)
    - protocole d'échantillonnage
      - identifiant du protocole
      - description du protocole d'échantillonnage
- opérateur
  - (nom, prénom, etc.)

### Rubrique : Informations supplémentaires sur le jeu de données

- type de relevé
- conditions climatiques
- paramètres mesurés
  - o nom du paramètre mesuré

- o description du paramètre mesuré
- o unité du paramètre
- description du transect kilométrique
  - o identification du transect
  - o situation du point de départ
  - o coordonnées en latitude PD
  - o coordonnées en longitude PD
  - o situation du point d'arrivée
  - o coordonnées en latitude PA
  - o coordonnées en longitude PA
  - o longueur
  - o orientation
- description de la station
  - o identification de la station
  - o homogénéité floristique
  - o superficie de la station
  - o coordonnées en latitude
  - o coordonnées en longitude
  - o pente
  - o description géomorphologique
  - o type de sol
  - o estimation du recouvrement

**Noir** : rubrique ou élément déjà existant dans la norme ISO

**Grisé** : rubrique ou élément spécifique au programme Roselt/OSS.



## Chapitre VI : Récapitulatif des paramètres à relever

Rappelons que le pas de temps, qui est une contrainte majeure d'un programme de suivi-surveillance, doit pouvoir être adopté après réflexion compte tenu des objectifs particuliers. Les paramètres suivis en tant qu'indicateurs sont pour l'essentiel de nature biologique et largement soumis aux variations climatiques. Les variations climatiques elles-mêmes déclenchent les activités des acteurs de terrain que sont les agriculteurs et les éleveurs. Les pas de temps du programme Roselt/OSS devraient, si la chose était prévisible, pouvoir rendre compte de cette variabilité climatique et de ses effets. La démarche réactive à cet état de fait est l'adoption d'une attitude de flexibilité extrême dans le choix des années de mesures et observations. Il est bien entendu nécessaire de fixer des pas de temps, mais il est non moins nécessaire de pouvoir réagir à tout évènement exceptionnel de par son ampleur ou sa durée (sécheresse, inondation, invasion de criquets, etc.).

Deux modalités essentielles de suivi peuvent être ainsi distinguées :

- des suivis 'expérimentaux' servant à la détermination de la variabilité des paramètres retenus. Il s'agit dans ce cas de tests visant à la connaissance de la sensibilité des paramètres ou indicateurs potentiels. Ce type de suivi rentre alors dans un scénario expérimental et les observations pourront par exemple être effectuées annuellement sur une période de 5 ans (afin, vraisemblablement, de connaître diverses situations pluviométriques). De telles expérimentations permettent également d'évaluer la pertinence de certaines extrapolations possibles et susceptibles d'alléger sérieusement les dispositifs de suivi évoqués dans la modalité suivante.
- des suivis opérés afin d'obtenir les valeurs actualisées d'un certain nombre de paramètres ayant un intérêt pour la mise à jour des 'aides à la décision'. Dans ce cas, il importe de suivre régulièrement quelques paramètres simples puis de réagir, en déclenchant des campagnes plus complètes de relevés, quand il est jugé que la situation sur le terrain a été modifiée de façon significative, compte tenu de la sensibilité des outils de diagnostic et d'interprétation mis en place. Nous pensons, partant du modèle 'Pression-Etat-Réponses', qu'au travers de la mise à jour (par exemple tous les deux ans) de toute ou partie de la carte d'occupation des terres (ou de la carte des USR) il serait possible d'exercer une surveillance suffisamment serrée des modifications significatives de l'utilisation du sol. Dans ce sens, il n'est pas toujours pertinent de décréter un pas fixe, aussi commode et rassurant soit-il.

L'ensemble des considérations évoquées sont regroupées et résumées au tableau 9.

Tableau 9 : récapitulatif des paramètres à relever

Paramètres	Echelle	Méthode	Unité	Pas de temps	Mise en œuvre	
<b>Cartographie</b>						
1. Levé de la COT	Observatoire, portions sensibles ou exposées	Télé-détection & validation de terrain	carte	Minimum tous les 2 ans ou suite événement exceptionnel	Obligatoire	
<b>Mesures qualitatives</b>						
2. Composition floristique	Unités majeures du tableau d'échantillonnage	Relevé linéaire	Liste espèces %/taxon	Minimum tous les 2 ans pour sites particuliers	Obligatoire	
3. Recouvrement			%/état			
4. Etats de surface		Décompte & mesure 'Aire minimale'	Nb individus/m <sup>2</sup>	4 ans ou suite à événement exceptionnel	Recommandé	
5. Densité						Mètre
6. Diamètre moyen						
7. Hauteur	Prospection	Liste espèces abondance	4 ans ou suite à événement exceptionnel	Exceptionnel		
8. Liste floristique complète & contribution						
<b>Calculs au laboratoire</b>						
9. Liste des biotopes	Idem 1	Examen de carte/1	Liste	Idem 1	Recommandé	
10. Diversité gamma des biotopes/paysages						Calcul d'indices /1
11. Couvert végétation	Idem 2	Calcul	%	Idem 2	Obligatoire	
12. Valeur pastorale						Calcul couvert x /s
13. Richesse spécifique	Idem 8	Décompte de/8	Liste	Idem 8	Recommandé	
14. Diversité alpha						Calcul d'indices /8
15. Diversité bêta	Idem 2	Coupes & pesées	KgMS/ha	4 ans	Recommandé	
16. Production totale						

## Références bibliographiques

- Aidoud A. 1983. Contribution à l'étude des écosystèmes steppiques du Sud oranais : phytomasse, productivité primaire et application pastorale. Thèse 3<sup>e</sup> cycle, USTHB. Alger. 253 p. et annexes.
- Aidoud A. 1989. Contribution à l'étude des écosystèmes pâturés des hautes plaines steppiques algéro-oranaises. Fonctionnement, évolution des ressources végétales. Thèse doct. USTHB. Alger. 256 p. et annexes.
- Aidoud A., Nedjraoui D., Djebaili S. & Poissonet J. 1982. Evaluation des ressources pastorales dans les hautes plaines steppiques du Sud oranais : productivité et valeur pastorale des parcours. *Biocénose*, 1, (2) : 43-62.
- Alibes X. & Tisserand J.-L. 1990. Tableaux de la valeur alimentaire, pour les petits ruminants, des fourrages et sous produits d'origine méditerranéenne. *Options Méditerranéennes, série B : Etudes et Recherches, number 4*. 173 p.
- Aronson J. & Le Floch E. 1996. Vital landscapes attributes : missing tools for restoration ecology. *Restoration Ecology*, 4 (4): 377-387.
- Ayyad M.A. & Le Floch E. (eds.) 1983. An ecological assessment of renewable resources for rural agricultural development in the western Mediterranean coastal region of Egypt. Case study: El Omayed test-area. Academy of Scientific Research and Technology, (Egypt) - Cepe/Cnrs & Orstom (France). 104 p.
- Barbault R. 1995. Ecologie des peuplements. Structure et dynamique de la biodiversité. 2<sup>ème</sup> tirage, Masson. 273 p.
- Barry J.P., Celles J.C. & Manière R. s.d. La cartographie de la végétation à petite échelle en région désertique : analyse critique. *Ecologie des Régions Arides*, Univ. Nice. 13 p.
- Baudry J. & Baudry-Burel F. 1982. La mesure de la diversité spatiale. Relations avec la diversité spécifique. Utilisation dans les évaluations d'impact ; *Acta Oecol. Oecol. Plant.* 3 (2) : 177-190.
- Béchet G. & Nedjraoui D. 1980. Valeur énergétique des principales espèces des hautes plaines steppiques de la wilaya de Saïda. *Doc., C.R.B.T., Alger*. 11p.
- Blanquet J. & Pavillard J. 1922. Vocabulaire de sociologie végétale. Montpellier, 1<sup>er</sup> édit. 1922 ; 2<sup>e</sup> édit. 1925 ; 3<sup>e</sup> édit. 1928.
- Boughani A. 1995. Contribution à l'étude de la flore et des formations végétales au Sud des monts du Zab (Ouled-Djellal, Wilaya de Biskra). Phytomasse, application cartographique et aménagement. Thèse Magister USTHB, Alger, 226 p. annexes.

- Boutton T. W. & Fieszen L. L. 1983. Estimation of plant biomass by spectral reflectance in an East African grassland. *J. of Range Management*, 36 (2) : 213-216.
- Braun-Blanquet J. 1928. *Pflanzen-sociologie*. Springer, Berlin. 330 p.
- Braun-Blanquet J. 1952 - *Phytosociologie appliquée*. 1. Comm. S.I.G.M.A. 116 : 156-161.
- C.R.B.T. 1978. Rapport phytoécologique et pastoral sur les hautes plaines steppiques de la Wilaya de Saïda. Alger, C.R.B.T. 286 p., cartes et annexes.
- Calléja M., Dagnélie P. & Gounot M. 1962. Etude statistique d'une pelouse à *Brachypodium ramosum*. *Bull. Serv. Carte Phytog.*, B, VII, 1-2 : 49-109 et : 149-210.
- Canfield R. A. 1941. Application of the fine interception method in sampling range vegetation. *J. For.*, 39 : 388-394.
- Casenave A. & Valentin C. 1989. Les états de la surface de la zone sahélienne. Influence sur l'infiltration. Editions de l'ORSTOM, Collection 'Didactiques'. 229 p.
- Cherpeau A. 1986. Télédétection et agroécologie, un essai de cartographie destiné à la gestion des milieux herbacés de hautes montagnes. Thèse doct. Univ. J. Fourier, Grenoble I. 230p.
- Cody M.L. 1975. Towards a theory of continental species diversities: bird distribution over Mediterranean habitat gradients. In: M.L. Cody & J.M. Diamond (eds.), *Ecology and Evolution of Communities*. Harvard Univ. Press, Cambridge : 214-257.
- Connell J.H. 1978. Diversity in tropical rain forests and coral reefs. *Science* 199 : 1302-1310.
- Connor E.F. & Simberloff D.S. 1978. Species number and compositional similarity of the Galapagos flora and avifauna. *Ecological Monographs* 48 : 219-248.
- Cora M. & Daget Ph. 1996. Une utilisation des dénombrements dans l'analyse des ligneux des pâturages. *Revue Elev. Méd. vét. Pays trop.* 49 (1): 74-75
- Corre J.J. 1970. La méthode des 'transects' dans l'étude de la végétation littorale. *Bull. Acad. et Soc. Lorraines des Sciences*. T. 9 (1): 59-79.
- Daget Ph. & Gaston A. 1997. Mesurer les liaisons entre espèces dans un groupe de relevés. *Revue Elev. Méd. vét. Pays trop.* 50 (2) : 149-152.
- Daget Ph. & Gaston A. 2001. La base FLOTROP et biodiversité des pâturages du Tchad oriental. *Syst. Geogr. Pl.* 71 : 327-336.

- Daget Ph. & Konaté T.S. 1996. Pondérer les espèces dans les formations herbacées très hautes. *Revue Elev. Méd. vét. Pays trop.* 49 (1) : 72-73.
- Daget Ph. & Poissonet J. 1969. Une méthode d'analyse phytologique des prairies. Doc. Number 48 du CEPE/CNRS, Montpellier. 67 p.
- Daget Ph. & Poissonet J. 1970. Distributions des fréquences spécifiques dans les phytocénoses herbacées en déséquilibre. Ecole Normale Supérieure, Paris. V<sup>e</sup> Colloque d'Ecologie. 25 p. ronéo.
- Daget Ph. & Poissonet J. 1971. Une méthode d'analyse phytologique des prairies. Critères d'application. *Ann. Agron.*, 22 (1) : 5-41.
- Daget Ph. & Poissonet J. 1991. Prairies permanentes et pâturages. Méthodes d'étude. Montpellier, France. Institut de Botanique 331p.
- Daget Ph. & Poissonet J. 1997. Biodiversité et végétation pastorale. *Revue Elev. Méd. vét. Pays trop.* 50 (2) : 141-144.
- Daget Ph. 1996. La mesure des biomasses au pâturage. *Revue Elev. Méd. vét. Pays trop.* 49(1) :70-71.
- Daget Ph. 1998. Biodiversité V. La végétation stationnelle. *Flotrop Info* 24. 2 p.
- Daget Ph. 2002. Richesse floristique. *Flotrop Info* 33. 2 p.
- Daget Ph. 2005. De bons relevés pour de bonnes interprétations. Cirad, Montpellier. 21 p.
- Daget Ph., Gaston A. & Forgiarini G. 2003. Comparer des relevés de dates différentes au même emplacement. Exemple du Tchad. *Revue Elev. Méd. vét. Pays trop.* 56 (3-4) : 163-166.
- Daget Ph., Poissonet J. & Toutain B. 1997. Planifier un échantillonnage pour une étude régionale de la végétation. *Revue Elev. Méd. vét. Pays trop.* 50 (2) : 145-148.
- de Vries, D.M. & de Boer Th. 1959. Methods used in botanical grassland. Research in the Netherlands and their application. *Herbage abstracts*, 29 (1) : 1-7.
- De Wispelaere G. & Waksman G. 1977. Contribution du traitement des images satellite à la cartographie des pâturages sahéliens. *Rev. Elev. Méd. vét. Pays trop.* 30 (4) : 407-424.
- Debussche M. & Thompson J. 1999. Espèces menacées : quelles recherches entreprendre en biologie et écologie in natura ? *Bull. Soc. Bot. Centre-Ouest, Nulle série ; number spécial* 19 : 189-196.
- Daget Ph. 2004. Les biodiversités stationnelles et régionales : retour sur les concepts et les mesures. Colloque de l'AFCEV-BRG sur la biodiversité régionale, Troyes, nov. 2003; Cirad. 21 p.
- Duvigneaud P. 1974. La synthèse écologique. Doin édit., Paris. 296 p.

- El-Hamrouni A. & Sarson M. 1974. Valeur alimentaire de certaines plantes spontanées en Tunisie. Inst. Nat. Rech. Forest. Note de Recherche 2 : 20 p.
- Emlen J.T. 1967. A rapid method for measuring arboreal canopy cover. *Ecologia* 48 : 158-160.
- Escadafal R. 1981. Une méthode nouvelle de description de la surface du sol dans les régions arides. *Sols*, number 5 : 21-27.
- Etienne M., Caviedes E. & Prado C. 1983. Bases écologiques du développement de la zone aride méditerranéenne du Chili. Ambassade de France, Univ. de Chile et CNRS. 69 p. (version française et chilienne).
- Farina A. 1993. *L'ecologia dei sistemi ambientali*. CLEUP editrice, Padova. 199 p.
- Floret Ch. 1971. Recherches écologiques entreprises par le CNRS sur le biome 'Zone Aride' en Tunisie. CEPE, doc. Number 57. 26 p.
- Floret Ch. & Pontanier R. 1982. L'aridité en Tunisie présaharienne : climat, sol, végétation et aménagement. Thèse. Doc. Uni. Sci. Tech. Languedoc, Montpellier. 580 p.
- Floret C., Le Floc'h E., Thiault M. & Pontanier R. 1987. Evaluation et cartographie des ressources naturelles en zones arides et semi-arides. PNUD/FAO - Projet Régional d'aménagement pastoral. 25 p., 19 annexes Floret Ch.
- Le Floc'h E. (collaboration Romane F., Lepart J. & David P.) 1973. Production, sensibilité et évolution de la végétation et du milieu en Tunisie présaharienne. Conséquences pour la planification de l'aménagement régional de la zone test d'Oglat Merteba. INRAT, Tunisie & CEPE, Montpellier, number 71, 45 p. et annexes.
- Floret Ch. & Le Floc'h E. 1983. Evolution de la désertification en zone aride tunisienne. Changements observés dans une zone-test (Oglat Merteba) après une période de 10 ans. Actes du 'Séminaire sur les problèmes de l'érosion éolienne dans les zones prédésertiques'. UNESCO/PNUD, Jerba (Tunisie) : 89-95.
- Floret Ch., Le Floc'h E. Pontanier R. & Romane F. 1977. Contribution à l'étude de cas sur la désertification région d'Oglat Merteba, Tunisie. Conf des Nations Unies sur la Désertification, Nairobi Extrait et adapté du doc. A/CONF. 74/12 : 3-93 et 130-143.
- Floret Ch., Le Floc'h E., Pontanier R. & Romane F. 1978. Modèle écologique régional en vue de la planification et de l'aménagement de Zougrata. IRA, Tunisie & Dir. Des Sols, Tunisie. Doc. Techn. Number 274. 1 carte h.t.
- Forman R.T.T. & Godron M. 1981. Patches and structural components for a landscape ecology. *BioScience* 31: 733-739.

- Forman R.T.T. & Godron M. 1986. Landscape ecology. John Wiley & Sons, New York.
- Fournier A. 1991. Phénologie, croissance et productions végétales dans quelques savanes d'Afrique de l'Ouest. Variation selon un gradient climatique. Etudes & Thèses, Orstom éditions. 312 p.
- Frontier S. & Pichod-Viale D. 1993. Ecosystèmes; Structure, Fonctionnement, Evolution. Collection d'Ecologie, 21. 2<sup>e</sup> ed., Masson, Paris.
- Gaddès N. 1978. Etudes des relations végétation-milieu et effet biologique de la mise en défens notamment sur l'alfa dans le bassin versant de l'Oued Gabès, Tunisie. Thèse de Spéc. USTL, Montpellier, 139 p.
- Godron M. 1968. Quelques applications de la notion de fréquence en écologie végétale.(recouvrement, information mutuelle entre espèces et facteurs écologiques, échantillonnage). Oecol. Plant. 3 : 185-212.
- Godron M. 1970. Un 'modèle' pour la courbe aire-espèce. Le Naturaliste canadien, 97 : 491-492.
- Godron M. 1971. Comparaison d'une courbe aire-espèces et de son modèle. Oecol. Plant. 6 : 189-196.
- Godron M. 1976. Les échantillonnages phytoécologiques. Comité Equilibre et Lutte Biologique. Groupe de travail Méthodologie, number 8. 23 p.
- Godron M. & Bacou A.-M. 1975. Les limites 'optimales' séparant deux parties d'une biocénose hétérogène. Ann. Univ. Abdijan, série E (Ecologie), 8 (1) : 317-324.
- Godron M., Daget Ph., Emberger L., Le Floc'h E., Long G., Poissonet J., Sauvage Ch. & Wacquant J.P. 1968. Code pour le relevé méthodique de la végétation et du milieu (principes et transcription sur cartes perforées). CNRS, Paris. 292 p., 37 fig.
- Godron M., Daget Ph., Emberger L., Le Floc'h E., Long G., Poissonet J., Sauvage Ch. & Wacquant J.P. 1969. Vade-mecum pour le relevé méthodique de la végétation. C.N.R.S. Paris. 169p.
- Godron M. & Poissonet J. 1972. Quatre thèmes complémentaires pour la cartographie de la végétation et du milieu (Séquence de la végétation, diversité du paysage, vitesse cicatrization, sensibilité de la végétation). Bull. Soc. Languedoc. de Géographie., 6 (3) : 329-356.
- Godron M., Poissonet J. & Daget Ph. 1999. Evaluer la diversité du paysage des pâturages africains. Rev. Elev. Méd. Vét. Pays trop. 52 (3-4) : 272-277.
- Goodall D.W. 1952. Some considerations in the use of point quadrats for the analysis of vegetation. Aust. J. Sc. Res., sér. B, 5 : 1-41.

- Gounot M. 1969. Méthodes d'étude quantitative de la végétation. Masson et Cie, Paris. 314p.
- Grouzis M. & Méthy M. 1983. Détermination radiométrique de la phytomasse herbacée en milieu sahélien: perspectives et limites. *Oecol. Plant.*, 4 (18), 3 : 241-257.
- Hamidou B. 1978. Relations herbe-arbre en conditions pâturées. Influence du recouvrement arboré dans les taillis de Chêne pubescent (*Quercus pubescens* Willd.). Doc. Univ. Sc. & Techn. Languedoc Roussillon, Montpellier. 121 p. et annexes.
- Heim G. 1974. L'utilité d'un concept de valeur énergétique en écologie, une étude basée sur des mesures effectuées sur des plantes méditerranéennes. *Oecol. Plant.*, 9, (3) : 281-286.
- Hill M.O. 1973. Diversity and evenness : a unifying notation and its consequences. *Ecology*, 54 (2) : 427-432.
- Hirche A., Boughani A. & Nedjraoui D. 1999. A propos de la qualité des parcours en zones arides. *Cahiers Options Médit. Zaragoza.*, 39 : 193-197.
- Huston M.A. 1994. Biological diversity. The coexistence of species on changing landscapes. Cambridge University Press, Cambridge.
- Jaccard P. 1902. Loi de distribution florale dans la zone alpine. *Bull. Soc. Vaud. Sc. Nat.* 38 : 69-130.
- Jaccard P. 1928. Pflanzensociologie und angew. Pflanzendemographie. *Bull. Soc. Vaud. Sc. Nat.* 56 : 441-463.
- Jacquard P., Daget Ph., Poissonet J. & Laroche C. 1968. The expression of production potential and botanical composition of a dense herbaceous formation. *Proceedings of Symposium on Hill land Productivity. European Grassland Federation.* : 96-108.
- 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. Ph. D. Faculté des Sci. et Techn. St Jérôme, Université d'Aix-Marseille III, Marseille, France. 365 p.
- Joffre L. M. 1978. Note sur une méthode d'estimation de la phytomasse aérienne de l'espèce dominante en milieu steppique (Région de Bir Lahmar, Gouvernorat de Médenine). *DGRST., Projet L.A.T./Tunisie - I.R.A., Médenine.* 16 p.
- Lahraoui H. 1987. Etudes phyto-écologiques et géomorphologiques du haut bassin versant du Ziz (Haut Atlas Oriental - Maroc). Utilisation de la télédétection et changement d'échelles. Thèse doct. USTL, Montpellier II. 163 p.

- Le Floch E. 1979. Eléments pour une cartographie de l'occupation des terres en Tunisie aride et saharienne. I.R.A., Médenine et CEPE/CNRS Montpellier. 28 p.
- Le Floch E. 2001. Biodiversité et gestion pastorale en zones arides et semi-arides méditerranéennes du Nord de l'Afrique. *Bocconea* 13 : 223-237.
- Le Houérou H.N. & Ionesco T. 1973. Appétabilité de certaines espèces végétales de la Tunisie steppique. Projet FAO/TUN - 71/525. 68 p. ronéo.
- Le Houérou H.N. 1995. Dégradation, régénération et mise en valeur des terres sèches d'Afrique du Nord. In : 'L'homme peut-il faire ce qu'il a défait?' ORSTOM, Tunis : 65-102.
- Levy E. B. & Madden E. A. 1933. The point method of pasture analysis. *New Zeal. J. Agr.*, 46: 267 279.
- Long G. 1958. Description des méthodes linéaires pour l'étude de l'évolution de la végétation. *Bull. Serv. Carte Vég., série B2* : 107-127.
- Long G. 1974. Diagnostic phytoécologique et aménagement du territoire. I : Principes généraux et méthodes. Masson édit., Paris. 1 vol. 252 p.
- Long G. et al. 1970. Méthode d'analyse par points de la végétation prairiale dense ? Comparaison avec d'autres méthodes. *Doc. number 55*, CNRS/CEPE, Montpellier. 32 p.
- Magurran A.E. 1988. *Ecological diversity and its measurements*. Croom Helm, London, 179 p.
- Molina J., Mathez J., Debussche M., Michaud H. & Henry J.-P. 1999. Méthode pour établir une liste régionale d'espèces protégées. Application à la flore du Languedoc-Roussillon. *Bull. Soc. bot du Centre-Ouest. Nelle sér., number spécial* : 399-416.
- Mosnier M. 1961. Les pâturages naturels sahéliens : Région de Kaedi (Mauritanie). IEMVPT, Maisons-Alfort. 169 p.
- Naveh Z. 1994. From biodiversity to ecodiversity : a landscape-ecology approach to conservation and restoration. *Restoration Ecology* 2 (3) : 180-189.
- Nedjraoui D. 1981. Teneurs en éléments biogènes et valeurs énergétiques dans trois principaux faciès de végétation dans les Hautes Plaines steppique de la wilaya de Saida. Thèse Doct. 3<sup>e</sup> cycle, USTHB, Alger. 156p.
- Nedjraoui D. 1990. Adaptation de l'alfa (*Stipa tenacissima* L.) aux conditions stationnelles. Thèse Doct. USTHB, Alger. 256 p.
- OCDE 1994. Indicateurs d'environnement. Corps central de l'OCDE, Paris, 159 p.

- Ouattara L., Achard F. & Banoïn M. 2000. Activités de recherches conduites sur le terroir de Ticko (résultats 2000). Projet 'Jachères', volet Niger. 34 p. et annexes.
- Ovington J.D. 191956. The form, weight and productivity of trees species grown in close stands. *New Phytologist*, 55 : 289-304.
- Pechanec J.F. & Pickford G.D. 1937. A comparison of some methods used in determining percentage utilization or range grasses. *J. of Agron. Res.* 54, 10 : 753-765.
- Pickett S.T.A. 1976a. Non-equilibrium coexistence of plants. *Bull. of Torrey Bot. Club.* 107 (2) : 238-248.
- Pickett S.T.A. 1976b. Succession: an evolutionary interpretation. *American Naturalist*, 110 : 107-119.
- Poilecot P. & Daget Ph. 2002. Contribution des Herbiers du Cirad à l'étude de la Biodiversité Végétale. CIRAD 17 p.
- Quillevéré J. 2004. Représentativité circum-saharienne du réseau d'observatoires Roselt. Mémoire SILAT, Montpellier. 115 p.
- Roselt/OSS 1995. Fiches de synthèse des Observatoires labellisés par l'OSS en août 1995. Montpellier.
- Roselt/OSS 2001. Actes de l'atelier de lancement de la seconde phase opérationnelle de Roselt. Etat d'avancement du réseau, attente des partenaires Roselt, thématiques scientifiques en réseau : exposés et débats. Bamako, Juin 2000. 75 p.
- Roselt/OSS, 2004. Concepts, méthodes et mise en œuvre du SIEL-Roselt/OSS. Système d'Information sur l'Environnement à l'échelle Locale. Collection Roselt/OSS - DS n° 3. 69 p.
- Roselt/OSS, 2004. Indicateurs écologiques Roselt/OSS. Une première approche méthodologique pour la surveillance de la biodiversité et des changements environnementaux. Collection Roselt/OSS - DS n° 4. 50p + annexes.
- Roselt/OSS, 2005. Guide Roselt/OSS pour l'évaluation et le suivi des pratiques d'exploitation des ressources naturelles. Collection Roselt/OSS - CT n° 2. 133 p.
- Roux G & Roux M. 1967. A propos de quelques méthodes de classification en phytosociologie. *Revue de statistique appliquée*, 15 (2) : 59-72.
- Sanon P., Kone N., Liehoun E., Poissonet J., Morant Ph. & Somda M. 1994. Etude agrostologique du terroir de Menegou. Ouagadougou, Burkina Faso. Inst. Etudes Rech. Agric. 80 p.

- Saporta G. 1990. Probabilités. Analyse des données et statistiques. Editions Technip, 493 p.
- Shannon C.E. & Weaver W. 1949. The mathematical theory of communication. Urbana, Chicago Ill., Univ. Illinois Press. 125 p.
- Simpson E.H. 1949. Measurement of diversity. Nature, 163 : 688.
- Sprent P. 1992. Pratique des statistiques non-paramétriques. INRA, France. 294 p.
- Waechter P. 1981. Etude des relations entre les animaux domestiques et la végétation dans les steppes du Sud de la Tunisie. Implications pastorales. Doct.- Ing. Univ. Sc. & Techn. Languedoc-Roussillon, Montpellier. 293 p.
- Whittaker R.H. & Woodwell G.M. 1971. Measurement of net primary production of forests. *In* : Ecologie et Conservation, 4 : Productivité des écosystèmes forestiers. UNESCO, Paris. : 159-175.
- Whittaker R.H. 1960. Vegetation of the Siskiyou Mountains, Oregon and California. Ecological Monographs 30 : 279-338.
- Whittaker R.H. 1972. Evolution and measurements of species diversity. Taxon, 21 : 213-251.
- Wilson M.V. & Shmida A. 1984. Measuring beta diversity with presence-absence data. Journal of Ecology 72 : 1055-1064.
- Zaafouri M.S. 1993. Contraintes du milieu et réponses de quelques espèces arbustives exotiques introduites en Tunisie présaharienne. Doct. Fac Sc. & Techn. St Jérôme, Marseille. 244 p.



## Annexes



### Etablissement de la carte d'occupation des terres

#### A- Conception & définitions

La *Carte d'occupation des terres* (COT) regroupe des descripteurs concernant la structure de la végétation, la flore dominante et l'utilisation des sols. Il peut y avoir également, ainsi que cela est proposé dans ce document, des informations relatives aux états de la surface du sol (Chapitre II, Zonage § 1).

La *végétation* est décrite par sa structure verticale (strates) et horizontale, en distinguant les classes de recouvrement de ses composants : Herbacés (H), Ligneux Bas (LB) et Ligneux Hauts (LH). Nous reviendrons sur la définition de ces composants et des classes descriptives.

La *flore* (taxons dominants et co-dominants) est notée pour chaque unité cartographiée, si possible pour chacun des composants structurels (H, LB, LH).

*L'utilisation des sols.* La notion de degré d'artificialisation (Chap. I) a évolué pour aboutir à la notion d'Unités de pratiques combinées (UPC). Pour le programme Roselt/OSS, cette dernière notion a été construite à partir d'une évaluation puis d'une modélisation spatiale de l'ensemble des pratiques d'utilisation de l'espace et des ressources par les populations. Ceci permet de mieux prendre en considération par exemple le phénomène de multi-usage de l'espace que la notion de degré d'artificialisation telle qu'elle a été développée ailleurs (Godron et *al.*, 1968).

*Les états de la surface du sol.* Il paraît opportun alors que l'on se préoccupe de structure horizontale de la végétation de porter également attention à la couverture des éléments directement à la surface du sol.

#### **Remarque**

Il importerait peut-être également d'y adjoindre des éléments relatifs à un diagnostic sur l'évolution des milieux (restauration, stabilité ou dégradation) au titre desquels : la présence d'indices de déchaussement des plantes, de déflation ou d'accumulation éolienne, d'érosion hydrique active, etc.

En effet les cartes dérivées (sensibilité ou état actuel de la désertification, etc.) de la COT ne peuvent prétendre, hélas, à bien représenter les phénomènes qu'évoquent leurs intitulés par le fait même que les phénomènes en question n'y sont pas décrits.

Par son caractère de description analytique, essentiellement, des constituants principaux de la végétation, la COT répond parfaitement à des possibilités de

cartographie basées sur le recours à la télédétection aérienne et surtout satellitaire. Elle se prête également aux objectifs de suivi-surveillance des changements à court terme (2 ans pour des espaces particulièrement sensibles), à moyen (4-5 ans) et à long terme (> 10-20 ans) affichés dans Roselt/OSS. De telles cartes constituent l'un des documents de référence pour localiser et implanter durablement les stations (échantillonnage stratifié) de suivi-surveillance (mesure et d'observation des changements). Elle permet en outre les extrapolations à l'ensemble du territoire de l'observatoire, des résultats de mesures stationnelles.

En outre, couplée à d'autres thèmes cartographiques, la COT peut enfin servir de document de base pour l'établissement de la Carte des unités paysagères

## *B- Réalisation*

La COT fait partie du kit de documents qui doit être établi au temps To, autrement dit des premiers documents qui concrétisent le démarrage effectif des travaux sur le territoire de l'observatoire. Il s'agit de la première étape de la mise en place du dispositif de surveillance à long terme.

Il est proposé de dater les documents historiques, issus de photos ou de travaux anciens, en référence à ce To et comme suit, pour un To en 2002 :

- document datant de 1975 sera codé t-27
- " " 1950 " t-52
- " " 2005 ' " t+3, etc.

## 1. Supports

### *a. Les photographies aériennes*

L'idéal est de disposer d'une couverture aérienne la plus récente possible. Les missions photographiques des instituts géographiques nationaux offrent l'avantage de garantir :

- une relative homogénéité géométrique et radiométrique des prises de vue,
- la possibilité de stéréoscopie,
- une bonne qualité photographique (bonne résolution des objets au sol) à des échelles pertinentes pour la réalisation cartographique (du 1/25 000° au 1/75 000°).

Un des inconvénients constants des photos aériennes est celui des erreurs de parallaxes qui affectent les marges de chaque image et qui engendrent les difficultés de jonction des limites des unités cartographiques lors de la phase de concaténation des images entre elles. Il existe cependant des méthodes visant à minorer cet inconvénient. Ainsi la numérisation des images

(scannage) rend désormais possible de les corriger géométriquement et d'obtenir ainsi une image "orthonormée" de l'ensemble du territoire de l'Observatoire. Si l'on dispose conjointement d'un fond topographique, lui-même numérisé, il pourra servir de carte de référence où seront de fait géoréférencées les valeurs observées, ou mesurées, pour les paramètres relevés dans le territoire de l'Observatoire.

Il est souhaitable à terme que les observatoires disposent, si possible, de toutes les photographies aériennes passées et actuelles concernant leur territoire. Il s'agit là d'une source d'information parfois unique, pour retracer l'évolution de l'occupation des terres.

### *b. L'imagerie satellitaire*

L'utilisation de l'imagerie satellitaire constitue bien entendu un recours nécessaire, maintenant courant et en grande partie suffisant, en cas d'indisponibilité totale de photos aériennes. Il faut cependant veiller à ce que les cartographies réalisées à partir de l'imagerie satellitaire répondent à des normes de qualité indispensable pour évaluer les changements. L'un des très importants avantages de ce moyen de télédétection est sa répétitivité, ce qui permet de resserrer les suivis, dans le temps si le besoin se fait sentir.

Les images satellitaires (il ne s'agit pas de photographies) présentent diverses 'avantages' en ce qui concerne :

- la résolution spectrale représente le nombre de longueurs d'onde du spectre que le capteur peut enregistrer dans le visible et l'invisible (Infrarouge, Infrarouge thermique, etc.). Par exemple, et pour ne considérer que SPOT 3, en mode multispectral, chaque pixel (surface représentant sur le terrain des carrés d'environ 20 m de côté) est caractérisé par 3 mesures de réflectance dans les 3 longueurs d'onde captées. Chacun de ces 3 'canaux' peut faire l'objet d'un fichier numérique séparé. Les 3 canaux peuvent être combinés pour obtenir une composition colorée, dont le tirage sur support papier procure une image proche de la 'photo aérienne' classique. Il ne s'agit cependant que d'une image assez approximative de la réalité au sol. Le capteur ne peut distinguer que les objets ou éléments dont la taille atteint au minimum celle d'un 'pixel'. La 'forme' distinguée aura obligatoirement la forme d'un ou (de plusieurs) pixel (carré ou rectangle). Il est généralement convenu, sur les compositions colorées fabriquées, de choisir les couleurs complémentaires de celles visibles au sol ; la végétation très active apparaît en rouge, les sols rubéfiés en vert, etc.

Le satellite NOAAH/AVHRR, de faible résolution spatiale, bénéficie d'une haute résolution spectrale, alors que SPOT 3 jouit d'une haute résolution

spatiale, mais d'une faible résolution spectrale. Trois canaux seulement (infrarouge, rouge et vert) sont enregistrés.

– la résolution spatiale qui représente la taille du plus petit objet discriminé au sol par les capteurs. La taille de ces objets (pixels), carrées ou rectangulaires, dépend de la nature du capteur :

- . de 5 km environ de côté pour METEOSAT,
- . 1 km pour NOAAH/AVHRR,
- . 80 m pour LANDSAT MSS,
- . 30 m pour LANDSAT TM,
- . 20 m pour SPOT 1-3 multispectral (10 m en mode panchromatique).

Les résolutions de l'ordre du mètre, désormais accessibles, permettent de détecter les couverts épars (inférieurs à 20 % de recouvrement), caractéristiques de la végétation pérenne en zone aride ou semi-aride.

La combinaison de canaux choisis (multiplication, division, soustraction ou addition) permet de calculer des *indices* constituant des néo-canaux exprimant des caractéristiques que l'on veut mettre en évidence. Des indices de végétation et de brillance, etc., sont généralement calculés. Ils ne font que refléter la réalité au sol.

Ce moyen de télédétection offre la possibilité de répétitivité des scènes, par exemple tous les 3 jours théoriquement pour SPOT3, ce qui permet le suivi de la phénologie des végétaux, et donc la possibilité de discriminer les espèces dont les cycles biologiques ne sont pas simultanés. Les comparaisons interannuelles, réalisées à des dates pertinentes par rapport au cycle végétatif, permettent de suivre l'évolution de la végétation d'une année à l'autre sur une vaste région (trace au sol de 180 km pour une scène LANDSAT, de 60 km pour une scène SPOT).

La cartographie de la végétation et la détection d'éventuels changements interannuels restent encore des opérations délicates, surtout en zones arides. Le recouvrement de la végétation y est parfois trop faible (< 20 %) pour 'marquer' le pixel, et dans une telle situation, seuls les états de surface du sol sont détectés en classification d'images simples.

Le procédé de classification d'une image répond toujours au même principe de base :

- on sélectionne à l'écran des zones homogènes (dites zones d'apprentissage), comprenant une aussi grande quantité que possible de pixels ayant approximativement la même couleur et la même texture, c'est-à-dire en réalité la même combinaison de comptes numériques,

- on calcule statistiquement la moyenne et l'écart-type de la classe ainsi déterminée,
- on procède par la suite, à l'aide du logiciel afférent, à la classification de la totalité des pixels de l'image par rapport à leur distance statistique des classes prédéterminées. Chaque pixel, en fonction de ses caractéristiques numériques, est ainsi affecté à l'une des classes issues de ces zones d'apprentissage. Il est donc possible de déterminer *a priori* le nombre de classes que l'on souhaite faire apparaître sur la spatiocarte résultante.

La classification peut être :

- supervisée dans le cas où l'auteur de la classification décide les classes 'd'objets au sol' qu'il souhaite retenir dans la classification finale ; ces 'objets au sol' peuvent être des unités cartographiques, reconnues sur le terrain, par exemple sur des transects choisis ; la classification de l'image a alors pour but de mettre, si possible, ces unités en évidence ;
- non supervisée et alors la démarche est inverse. L'auteur de la classification, sur la base de statistiques fournies par les logiciels, détermine le nombre de classes (d'objets) qu'il souhaite obtenir et réalise une classification virtuelle, parfois sans référence vis-à-vis des objets classés. C'est ensuite qu'il est possible de vérifier sur le terrain la pertinence de la classification ainsi que la nature des objets classés (phase de validation).

La tendance, qui prévaut dans le programme Roselt/OSS tend à privilégier la démarche allant du terrain à l'image, plutôt que l'inverse. Cependant, les spatiocartes produites sont souvent la résultante d'une démarche itérative entre classification et terrain.

Deux problèmes importants sont liés à l'utilisation des classifications d'images satellitaires :

- une certaine confusion dans la restitution. Les pixels classés ne répondent généralement qu'à un seul critère cartographique synthétique, coïncidant le plus souvent à une approche paysagère. Dans la légende, sont ainsi juxtaposées des thématiques différentes et éventuellement excluant, concernant la végétation (dense, moins dense), la géomorphologie (dunes, plateaux), l'occupation des sols (champs, jachères), etc. Un effort est nécessaire pour que chaque pixel classé fasse l'objet d'une légende polycritérique (pour l'ensemble des critères) identifiée, pour parvenir réellement à la COT (formations végétales essentiellement).
- Le produit obtenu, une *spatiocarte*, est de fait un ensemble de pixels classés, sans limites d'unités homogènes (grain, texture, tons). Il est donc

nécessaire de procéder à un *contourage* des 'plages' homogènes de pixels, qui deviennent alors des unités cartographiées, procurant ainsi une carte classique, renseignant des unités spatiales et non seulement des pixels. Ce contourage peut être réalisé manuellement ou automatiquement à l'aide de logiciels, avec là encore la possibilité de proposer, ou non, des 'fenêtres d'apprentissage' à l'ordinateur.

Dans tous les cas, il faut absolument veiller à ce que la carte finale soit rapportée à un système de géoréférencement international, par exemple superposée à un fonds topographique allégé, permettant de se repérer sans ambiguïté carte en main sur le terrain.

## 2. Quelques réflexions préliminaires

L'échelle cartographique généralement proposée pour la réalisation des COT est le 1/50 000<sup>e</sup>. Dans l'aire circum-saharienne de Roselt/OSS, on se trouve confronté à plusieurs contraintes:

- le souhait de disposer d'une cartographie (formations végétales, etc.) suffisamment précise pour rendre compte des changements, pour un pas de temps de l'ordre de 4 à 5 ans,
- des couverts végétaux faibles à très faibles (souvent < 20 %),
- une forte et déjà ancienne homogénéisation des structures de végétation héritée d'une très longue histoire d'utilisation des sols (mise en culture, coupe de ligneux, pâturage). Ce point a pour conséquence majeure que les variations spatiales de structure de végétation, particulièrement au voisinage des milieux fortement anthropisés, s'expriment par des nuances structurelles fines (variation du recouvrement des espèces dominantes, différences de taille des individus, disparition ou apparition de quelques espèces) toutes délicates à mettre en évidence.

Dans la plupart des cas, faute de pouvoir exprimer ces nuances, les auteurs des cartes au 1/50 000<sup>e</sup> englobent dans une même vaste unité cartographique un ensemble plus apparenté à une unité physionomique, en mosaïque, qu'à une unité d'occupation des terres, telle que définie plus haut. Le recours à l'imagerie satellitaire, dont la résolution minimale actuelle perçoit difficilement les variations dans les classes de faible recouvrement végétal, accentue cette tendance.

Plus encore, la contraction de la végétation, dans ces zones sèches, le long des axes d'écoulement des eaux notamment, est rarement prise en compte aux échelles de travail. Cependant, de telles formations contractées représentent une réponse fondamentale des écosystèmes arides à la raréfaction des

ressources. Dans ces zones, de concentration de ces ressources, les espèces végétales et animales trouvent les meilleures conditions de développement et la productivité biologique y est toujours plus élevée.

Les concepteurs de la COT avaient coutume de dire que la taille minimale de l'unité cartographique était seulement limitée par la possibilité d'inscrire son contenu sur la carte finale, soit de l'ordre du  $\text{cm}^2$ . Avec la numérisation généralisée progressive des cartes, cette contrainte d'expression a moins d'importance (fichiers numériques associés à la représentation spatiale). Il reste cependant que la taille de l'unité descriptive permettant de rendre compte des variations spatiales et temporelles des formations végétales devrait respecter cet ordre de grandeur.

Les mêmes auteurs préconisaient, lorsque le grain (*pattern*) d'association des différents faciès de végétation était trop fin, pour permettre l'individualisation de chacun, de représenter l'unité sous forme d'une mosaïque de faciès identifiés dans la légende.

Il reste également important face au risque d'émiettement des unités que l'observation de la spatiocarte à 2 ou 3 m de distance rende compte des phénomènes majeurs de distribution des unités (grands linéaments, etc.).

### 3. Propositions et recommandations

Il semble clair qu'au niveau du programme Roselt/OSS il sera nécessaire d'adapter les échelles de cartographie à la nature des phénomènes que l'on veut mettre en évidence. Toutes les zones du territoire ne nécessitent pas d'être cartographiées à la même échelle pour la surveillance environnementale. Un périmètre irrigué, une vallée, les abords d'un village, pourraient être cartographiés à grande, ou très grande échelle ( $\geq 1/10\ 000^{\circ}$ ). Les parcours temporaires sahariens peuvent eux être représentés à petite échelle ( $\leq 1/100\ 000^{\circ}$ ).

L'échelle  $1/50\ 000^{\circ}$  constitue une commode pour la représentation de l'ensemble d'un territoire d'observatoire, avec la possibilité de réaliser des zooms à plus grande échelle sur des zones particulières. Il faut en définitive adapter l'échelle de relevé cartographique et sa représentation aux différents niveaux d'organisation des paysages du  $1/1\ 000^{\circ}$  (par ex. : organisation fine de périmètres irrigués) au  $1/10\ 000^{\circ}$  (structures spatiales autour des puits et des villages),  $1/20\ 000^{\circ}$  à  $1/50\ 000^{\circ}$  (échelles généralement adaptées aux finages ou terroirs traditionnels), enfin au  $1/100\ 000^{\circ}$  ou  $1/200\ 000^{\circ}$  (ensemble de l'observatoire, avec les formations extensives des parcours nomades ou transhumants).

#### 4. Le relevé cartographique et sa notation

Idéalement, le contourage d'une unité cartographique et son identification se font sur le terrain. Il faut donc pouvoir prospecter, dès la mise en place des opérations de cartographie, l'étendue de l'observatoire, même les zones les moins accessibles dont la surveillance ne peut être limitée, pour l'intérêt même de Roselt/OSS, aux seuls satellites.

Idéalement aussi, cette prospection exhaustive devrait être réalisée lors d'une année (et une saison) dont la pluviosité permet l'expression du maximum de développement de la végétation et de la flore (ce sont aussi les conditions et l'occasion pour réaliser un inventaire de la richesse spécifique sur l'observatoire...).

Enfin, l'ensemble des unités paysagères du territoire doivent être cartographiées avec le même soin, y incluses les zones cultivées. Au niveau de Roselt/OSS, l'évaluation des changements passe également par la compréhension du mode de fonctionnement de ces zones qui semblent 'échapper' à l'espace naturel des écosystèmes, mais peut-être à court terme seulement... avant d'être restituées à des processus successionnels écosystémiques.

Cette approche idéale n'est pas toujours réalisable sur l'ensemble du territoire de l'observatoire. Il est alors indispensable de procéder à un *zonage préliminaire*, à une échelle appropriée (1/100 000<sup>e</sup> au 1/200 000<sup>e</sup>), de l'ensemble du territoire afin d'identifier les grandes zones homogènes sur les plans écologique et socio-économique. Ce zonage peut faire appel à divers documents carto-graphiques déjà existants (géologie, topographie, etc.), aux photos aériennes et aux compositions colorées issues des scènes satellitaires. Ce premier document de zonage, déjà polycritérique (plusieurs couches d'information dans un système d'information géographique SIG), correspond à une première *stratification du milieu*. Il a un usage double : pour l'échantillonnage des *secteurs écologiques* qui feront l'objet d'une COT à une échelle appropriée, puis ultérieurement pour l'extrapolation de ces COT sectorielles à l'ensemble du territoire (*petite* région écologique, région écologique).

Le relevé cartographique de terrain, dont une fiche (Figure 9) est donnée dans cette annexe, sert à l'identification des unités cartographiques discernées. Ces unités sont renseignées après repérage, identification sur le terrain (limites définies) et report des contours sur le support de cartographie (calque de photographie aérienne ou composition colorée, fonds topographique à une échelle pertinente).

Figure 9 : fiche descriptive de terrain

<b>RELEVÉ DE TERRAIN</b>	
Auteur : .....	Altitude (Gps): .....
Relevé n° .....	Projection (Gps) : .....
Date : .....	Carte topographique : .....
Lieudit : .....	Photo aérienne : .....
Longitude (Gps) : .....	Image satellite : Path ..... Row .....
Latitude (GPS) : .....	N° unité isophène : .....
Événements climatiques : .....	Climat : .....
Pluviosité (mm) : .....	Bioclimat : .....
M (°C) : .....	Variante thermique : .....
Q2 : .....	
Exposition : .....	Géomorphologie : .....
Pente : .....	Lithologie/Géologie : .....
Topographie : .....	Hydrographie : .....
Microrelief : .....	
Formation végétale : .....	Distance moyenne entre touffes : .....
Structure horizontale : .....	Taux de régénération : .....
Structure verticale : .....	1 <sup>re</sup> espèce dom. (L,H) : .....
Diamètre moyen des touffes : .....	2 <sup>e</sup> espèce dom. (L,H) : .....
État des touffes : .....	3 <sup>e</sup> espèce dom. (L,H) : .....
Rec. global de la vég : .....	Rec. EG (gravier) : .....
Rec. Litière : .....	Rec. EG (cailloux) : .....
Rec. Sol nu : .....	Rec. EG (pierre) : .....
Rec. Sable : .....	
Rec. Pellicule : .....	Rec. Roche-mère : .....
Rec. Efflorescence saline : .....	
Degré de dégradation : .....	Usage : .....
Voies d'accès : .....	
Erosion hydrique : .....	Nappe phréatique : .....
Erosion éolienne : .....	
<b>Schéma de la station</b>	<b>Structure horizontale</b>

La limite entre deux unités est définie par le changement d'état d'un ou plusieurs des descripteurs fondamentaux de la COT, rappelés plus haut : structure horizontale et verticale de la végétation, espèces dominantes, utilisation des sols. Il faut parfois parcourir plusieurs fois le secteur pour décider des limites, qui restent de toute façon sujettes à l'appréciation du cartographe. Il faut rester conscient que deux auteurs agissant indépendamment

sur le terrain, dans le même secteur, ont très peu de chances d'obtenir une coïncidence absolue des limites qu'ils auront définies. Un travail soigneux ne devrait cependant nécessiter que quelques ajustements de raccordement entre différents auteurs, sans altérer les bases de la cartographie.

L'unité, alors parcourue, peut faire l'objet d'une description.

• Composition et structure de la végétation

Bien entendu, le relevé de ces informations exige que l'identité des taxons soit connue. Il se peut cependant que le stade de développement de certains taxons au démarrage de leur cycle biologique (stade plantule) ne permette pas une identification fiable. Il est dans ce cas recommandé de collecter un échantillon, méticuleusement étiqueté [nom provisoire (ou n°); numéro du relevé, etc.] puis, l'identification étant faite éventuellement à une autre saison [ou par rapport à un herbier de référence], de ne pas omettre de la reporter sur la fiche de relevé. Il peut être utile à la collecte de l'échantillon de noter déjà le type biologique.

Les définitions, très simples, doivent absolument être respectées. En effet, les limites de hauteur ont une grande importance dans la définition des structures de végétation, la hauteur constituant l'un des traits de vie les plus discriminants dans l'évaluation comparative des changements. L'on distinguera donc :

- les Ligneux Hauts (**LH**) sont formellement tout individu ligneux supérieur à 2 m de hauteur, quel que soit son type biologique (arbres, arbustes, etc.) ;
- les Ligneux Bas (**LB**) sont formellement tout individu ligneux inférieur à 2 m de hauteur, quel que soit son type biologique (arbres, arbustes, etc.) ;
- les Herbacées (**H**) pour lesquelles on distinguera éventuellement les pérennes des annuelles.

L'évaluation des hauteurs des ligneux doit être réalisée sur le terrain et non, *a posteriori*, au laboratoire en consultant les flores. En effet :

- la hauteur des végétaux exprime les conditions de milieu, l'âge de la formation (succession secondaire), les contraintes de production (aridité, faible fertilité, etc.) ; une formation à *Acacia tortilis* subsp. *raddiana* dont tous les individus auraient moins de 2 m de hauteur est une 'formation ligneuse basse (LB) à *Acacia* dominant et non une forêt d'acacias ; sa notation cartographique sous cette forme raconte (renseigne) les conditions écologiques du site ;
- lors de l'évaluation des ressources (définies dans Roselt/OSS en fonction des usages identifiés par les populations), la disponibilité sera évaluée à

partir des cartes de végétation réalisées : elle sera d'autant mieux approchée que la description de la structure aura été précise, notamment à travers le calcul du 'phytovolume' apparent global (pour lequel la hauteur joue un rôle évident - cf. *infra*, utilisation de la COT) ;

– l'évaluation des changements s'intéressera aussi à la croissance des formations végétales au niveau de l'ensemble de l'observatoire ; les variations de hauteur doivent donc pouvoir apparaître.

Eu égard aux formes de croissance différentes en Afrique, au nord du Sahara (climats bimodaux méditerranéens) et au sud du Sahara (climats monomodaux sub-tropicaux), il est fréquent de constater une adaptation de ces limites de hauteur aux régions éco-géographiques : des espèces à port multicaule (les Combrétacées *Guiera senegalensis* ou *Combretum micranthum*, par exemple) sont considérées biologiquement en tant qu'arbustes, même s'ils atteignent 4 à 5 m de hauteur. Inversement, des types biologiques, comme *Boscia angustifolia* ou *B. senegalensis*, considérées comme des arbres (un tronc), se rencontrent très souvent dans des conditions édapho-climatiques sous lesquelles ils dépassent difficilement 2 m de hauteur.

Il est donc indispensable de noter ce qui est, non ce qui pourrait ou devrait être. Il est de toute façon souhaitable, à partir de cette différenciation de base (2 m), de procéder à des subdivisions en classes, rigoureusement conformes à celles proposées au tableau 3 (Chapitre I) :

– pour les LH, les subdivisions suivantes : LHa 2-4 m ; LHB 4-8 m ; LHC 8-16 m, LHD > 16 m ;

– pour les LB, on peut être amenés à distinguer les strates suivantes : LBa : 0-0,25 m ; LBb : 0,25-0,50 m ; LBc : 0,50-1 m ; LBd : 1-2 m.

Le relevé cartographique de la strate herbacée doit absolument distinguer les herbacées pérennes (Hp) des herbacées annuelles (Ha). La structure de la végétation ainsi que la production (saisonnalité, qualité), entre ces deux grands types de végétaux, sont très différentes en zones aride et hyper-aride, entre 20 % de recouvrement d'*Aristida pungens* et le même recouvrement de *Zornia glochidiata*. Pour le premier taxon, un calcul rapide nous montre une densité d'environ 2 000 touffes/ha d'une graminée pérenne coriace (soit 500 à 2 000 m<sup>3</sup>) de matière végétale sur pied, dont environ le quart est consommable en permanence, soit entre 125 et 500 m<sup>3</sup>). Dans l'autre cas (*Zornia glochidiata*), le recouvrement diffus de cette petite légumineuse bien appétée, représentant environ 300 m<sup>3</sup> de matière verte sur pied exclusivement en saison de végétation, consommable pratiquement en totalité (150 à 250 m<sup>3</sup>).

On pourra donc également noter la structure horizontale de la végétation herbacée, selon qu'elle est organisée 'en touffes', distribuée en taches concentrées, ou totalement diffuse. Il peut enfin être utile de noter la hauteur, en distinguant les strates : Ha 0-0,25 m ; Hb 0,25-50 m ; Hc 0,50-1 m ; Hd > 1 m.

Les classes de couvert retenues sont celles déjà données au chap. I :

- 1 couvert < à 5%,
- 2 " de 5 à 10 %,
- 3 " de 10 à 25 %
- 4 " de 25 à 50 %,
- 5 " de 50 à 75 %,
- 6 " > 75%.

La formule cartographique concernant la structure de la végétation prendra donc, par exemple, la forme suivante :

LHc1, LHa2, LBd3, LBa2, Hpc3, Haa5. Ce qui, traduit en clair, se lit :

- . moins de 5 % de Ligneux Hauts supérieurs à 8 m ;
- . de 5 à 10 % de Ligneux Hauts de 2 à 4 m ;
- . de 10 à 25 % de Ligneux Bas de 1 à 2 m ;
- . de 5 à 10 % de Ligneux Bas de 0 à 0,25 m ;
- . de 10 à 25 % d'Herbacées pérennes de plus de 1 m ;
- . de 50 à 75 d'Herbacées annuelles inférieures à 0,25 m.

Une telle formule permet le calcul d'un phytovolume apparent ou 'encombrement aérien' par simple multiplication de la valeur médiane des classes de recouvrement par la valeur médiane des classes de hauteur pour chaque strate. Ceci donne pour l'exemple précédent :

$$(2,5 \times 8) + (7,5 \times 3) + (17,5 \times 1,5) + (7,5 \times 0,125) + (17,5 \times 1) + (62,5 \times 0,125) \\ = 20 + 22,5 + 26,25 + 0,9375 + 17,5 + 7,8125 = 95 \text{ m}^3 \text{ dont } 25,3 \text{ m}^3 \text{ herbacés.}$$

Ce calcul, si la relation phytovolume apparent et la phytomasse sur pied est connue (échantillonnage d'un certain nombre d'unités cartographiques représentatives et application des mesures quantitatives de la végétation (cf. Chap. II), permet une évaluation de la phytomasse. L'ensemble de la carte peut alors être renseigné sur la quantité (phytomasse) de ressources végétales que l'on peut différencier en constituants élémentaires (ligneux, herbacées, consommables, etc.). Il s'agit bien entendu d'appréciations grossières.

La carte se prête également à des premières analyses phyto-écologiques simples et il est aisé d'obtenir une classification préliminaire des formations végétales, des plus simples aux plus complexes. De meilleures interprétations peuvent être obtenues si l'on tient compte des différents types de milieux (géomorphologie, sol, relief, etc.).

Pour riche qu'elle soit, il faut bien se garder de substituer les données issues de l'interprétation d'une telle carte avec des données obtenues par des campagnes de relevés phyto-écologiques complets. De tels relevés, tout en étant recommandés sur l'ensemble des observatoires, restent délicats à réaliser et il est peu probable que l'on puisse en disposer partout.

- Etats de la surface du sol

Ceci a déjà été développé au Chapitre I.

Les états élémentaires de la surface du sol sont utiles au diagnostic de l'état de dégradation des milieux particulièrement en zones arides. Chaque combinaison, des états de surface, détermine un type de comportement hydrodynamique (Escadafal, 1981, 1989 ; Casenave & Valentin, 1989).

Il semble délicat, du fait du manque de compétences (pédologue hydraulicien), de retenir des classifications très complexes, comme celles proposées par les auteurs qui précèdent. Il importe cependant de noter, à cette phase du travail de terrain, les données de recouvrement relatives à des paramètres simples concernant les constituants de la surface du sol. Nous proposons, en conséquence, de noter les proportions de la surface sol occupées par les divers éléments suivants : rochers, pierres, graviers, sables, limons, argiles, sol nu, litière au sol, etc.



### Rappel des différentes méthodes d'échantillonnage

Sur le terrain, écologues et autres naturalistes se voient rapidement obligés de restreindre leurs observations de la nature à des espaces relativement peu étendus. Le premier obstacle qu'ils doivent surmonter est donc celui de la signification de leurs observations en temps que représentation de l'ensemble de leur espace d'étude.

En phyto-écologie, deux démarches s'opposent :

- d'un côté, les partisans d'une démarche qui consiste à tenir le plus grand compte de l'étude des transitions entre les unités (écotones) ;
- de l'autre, les partisans de la démarche visant à caractériser des ensembles (unités) homogènes et excluant donc les écotones ou zones de transition.

Progressivement les points de vue se sont rapprochés, et pour des raisons de clarification et d'interprétation des résultats, la seconde démarche a prévalu. Sans nier la notion de continuum dans la nature, elle autorise à subdiviser les facteurs écologiques en classes (ex. tranches pluviométriques, classes de pH, classes de positions topographiques, etc.). L'adoption de la règle conduisant à effectuer les relevés dans des unités considérées comme homogènes, du point de vue des critères retenus pour leur caractérisation, est un point capital pour le traitement de données et de concepts tels que la richesse floristique (cf. Chap. II) et encore la biodiversité spécifique (cf. Chap. III), etc.

L'échantillonnage stratifié, retenu pour le programme Roselt/OSS n'est certes pas la seule procédure disponible dans la littérature et il est intéressant de la resituer dans le cortège de l'ensemble des méthodes disponibles classées en deux grands types : les méthodes non probabilistes vs les méthodes probabilistes.

#### A. Méthodes « non probabilistes »

Nous n'insisterons pas sur ces procédés dans la mesure où les résultats ne présentent qu'une faible fiabilité. Il s'agit de fait de se fier à un choix *a priori* des stations constituant l'échantillon mais dans un contexte d'ignorance préalable du terrain. La méthode est par contre rapide et simple à mettre en œuvre. Il reste évident que dans ce cas un certain nombre de tests statistiques ne peuvent être appliqués avec signification. Il est cependant admis (Godron, 1976) que l'analyse en composantes principales ou encore l'analyse factorielle de correspondance peuvent être valablement appliquées.

Les résultats obtenus sont alors nécessairement subjectifs ; ainsi que l'exprime Godron (1976) *si les relevés ont été choisis dans deux types de végétation très différents, les tests statistiques confirmeront cette différence, mais ils ne sauraient prouver qu'il existe deux unités de végétation distinctes plutôt qu'un continuum de transitions progressives.*

Le même auteur reconnaît cependant que quand des écologues entraînés, et consciencieux, se laissent guider par leur 'flair' pour placer leurs sites d'observation (ou de mesures) de terrain, ils effectuent implicitement un échantillonnage de type stratifié (cf. Chap. I).

## *B. Méthodes probabilistes*

Les relevés et mesures de terrain (relevés floristiques ou écologiques, mesures de biomasse, etc.) sont coûteux en temps et parfois mal aisés à effectuer (difficultés d'accès de certains sites). Il importe donc d'optimiser le travail en planifiant l'échantillonnage, ce qui conduit à n'effectuer, si possible, que les relevés réellement utiles ou nécessaires.

### 1. L'échantillonnage purement aléatoire

La procédure peut-être par exemple un tirage au hasard (table de nombres au hasard), de points de relevés sur une carte topographique précise. Sur le terrain, il faudra ensuite éliminer un certain nombre de points correspondant à des objets hors étude (bords de routes, maisons, etc.).

L'inconvénient majeur de ce procédé, reste de sur-échantillonner les milieux les plus étendus et de risquer de sous-échantillonner certaines unités qui, quoique peu étendues, ont une grande importance pour la compréhension du fonctionnement écologique de la zone.

On accorde cependant à cette méthode un certain mérite de rapidité et un intérêt de premier niveau d'investigation dans des régions inconnues et pour lesquelles il n'existe aucun document cartographique relatif à des facteurs écologiques majeurs (sols, géologie, climat, etc.).

### 2. L'échantillonnage systématique

En substitution, il est possible de procéder à un échantillonnage systématique consistant à avoir recours à un réseau systématique de points (représentant des stations de relevés ou de mesures) régulièrement répartis.

Le procédé est considéré comme étant encore de type probabiliste si au moins l'une des coordonnées du premier point est tirée au hasard. En effet, si cette circonstance est respectée, tous les points de l'espace étudié ont, *a priori*,

autant de chances d'être retenus. Si l'espace à étudier présente des irrégularités périodiques régulières, il faut s'assurer que la maille d'échantillonnage ne soit pas (sous peine de prendre le risque d'échantillonner toujours la même unité) de même dimension que l'amplitude de succession périodique des milieux. Par exemple, l'application de ce procédé aux massifs dunaires, présentant des successions régulières de cordons de dunes et de creux inter-dunaires, doit être faite avec le souci de s'assurer que l'application de la maille de la grille d'échantillonnage systématique n'entraîne pas un sur-échantillonnage, par exemple, des cordons dunaires avec un sous-échantillonnage des creux inter-dunaires. Dans une telle situation, il serait encore préférable de pratiquer un échantillonnage purement aléatoire (cf. § 2.1 de la présente annexe).

L'on pourrait argumenter que, de fait, les échantillons ne sont pas prélevés au hasard puisque l'expérimentateur choisit en général la ligne du gradient à observer. Un des moyens de contourner le problème est de quadriller la zone en lui attribuant des coordonnées en  $x$  et  $y$ , et d'y choisir deux points représentant les extrémités de la ligne grâce à une table des nombres au hasard. Cependant, cette solution n'est que partiellement satisfaisante car les points de la ligne seront distribués selon une maille régulière, et donc avec une forte présomption d'une dépendance entre les points. En outre, l'utilisation de la table peut faire passer la ligne dans une zone qui ne présente aucun intérêt écologique. L'opérateur aura alors tendance à reproduire l'opération jusqu'à obtenir une ligne satisfaisante, ce qui est contraire à l'orthodoxie statistique puisqu'un choix a été réalisé. Une autre approche consiste à recourir à la théorie de l'information (Godron, 1966) qui est plus robuste quant aux exigences statistiques.

L'échantillonnage systématique est l'un des mieux adaptés à la problématique du réseau Roselt/OSS qui vise à suivre, entre autres, l'évolution de la végétation. Il suffit d'implanter un protocole de mesures relativement léger, en l'occurrence deux piquets et un ruban gradué ou une ligne pour réaliser la mesure. Il est pratiqué depuis longtemps sous la forme de transects de végétation traduisant de gradients écologiques grâce à des relations d'ordre. Il est nécessaire, dans le cas de motifs végétaux récurrents, que la maille soit adaptée à la distribution de la végétation afin qu'elle ne puisse pas masquer l'information utile.

### 3. L'échantillonnage subjectif

L'échantillonnage subjectif est probablement le plus utilisé, en phytosociologie, car le plus simple à mettre en œuvre. L'opérateur ne dispose généralement que d'un minimum d'informations sur le terrain. Sur la zone d'étude, il prospecte les

différentes communautés en présence, choisit les plus représentatives et les plus homogènes et y implante ses relevés. Le choix est fait sur la base de l'expérience de l'opérateur et il est possible que deux opérateurs différents arrivent donc à des résultats divergents. Cet échantillonnage, dont une grande part relève des connaissances et de l'expérience du thématicien, est donc subjectif. La pratique montre cependant que des opérateurs aguerris obtiennent sensiblement les mêmes résultats car l'échantillonnage subjectif n'est pas aléatoire et obéit à une méthodologie de travail reconnue. En outre, une fois les relevés réalisés, il est possible de procéder aux vérifications d'usage concernant par exemple l'homogénéité (courbe aire-espèces).

Cet échantillonnage est donc souvent pratiqué en l'absence de données de terrain afin d'avoir une idée préliminaire. Cependant, il n'est pas suffisant et doit être ensuite complété par une stratification rigoureuse.

Actuellement, de plus en plus d'études se font dans le sens d'une évaluation quantitative de la végétation à partir des coefficients empiriques phytosociologiques selon une démarche proposée par Long (1954). Gounot (1969) souligne cependant qu'il serait inadéquat, voire dangereux, de remplacer les coefficients empiriques par des mesures, simulant ainsi une approche quantitative. Il rajoute que *ce serait du temps gaspillé en pure perte car le modèle sous-jacent à une telle opération (l'existence d'une végétation uniforme à l'échelle de l'échantillon utilisé, à quelques variations près considérées comme 'accidentelles') n'a aucune chance d'être réalisé en pratique.*

#### 4. L'échantillonnage au hasard

C'est le type d'échantillonnage majeur des études biologiques expérimentales. Rappelons que l'utilisation de tests suppose l'existence préalable d'une hypothèse de travail selon un plan d'échantillonnage. L'un des principes de base est que la distribution des échantillons doit se faire selon un mode aléatoire. La sélection sur le terrain des points échantillons distribués au hasard peut se réaliser aujourd'hui assez simplement en s'aidant de logiciels relatifs aux systèmes d'informations géographiques et à l'aide d'un GPS. Il suffit alors d'avoir une représentation cartographique du terrain (carte topographique, photographies aériennes ou cartes thématiques), de la scanner puis la géoréférencer sur logiciel. La carte peut ainsi se lire en coordonnées géographiques, cartographiques ou plus simplement en coordonnées non terrestres, plus faciles à lire car exprimées directement en unités métriques. Une table statistique des nombres au hasard sera ensuite utilisée et les différents points seront pointés en coordonnées cartésiennes  $x$  et  $y$ . L'emplacement des points devra être ensuite repéré par GPS. Cette méthode requiert donc une démarche rigoureuse, dont l'une des difficultés

majeures réside dans le fait que les surfaces n'ont pas toujours une forme rectangulaire. Comme autres contraintes, il faut signaler que le repérage demande l'utilisation d'un GPS non toujours facilement disponible et qu'en outre, l'accessibilité des points ainsi trouvés est parfois difficile si la zone est accidentée.

Pour éviter de longs déplacements, Gounot (1969) rapporte qu'on peut envisager de choisir au hasard des points principaux qui serviront de bases. Un certain nombre d'échantillons seront placés au hasard dans un rayon assez faible autour de chaque base, de sorte que le repérage exact puisse se faire facilement par visées et mesures de distances au pas, avec un ruban de 30 m ou un dispositif optique (échantillonnage par grappes).

Une autre méthode, moins rigoureuse mais cependant acceptable et plus rapide, consiste à choisir au hasard des angles et des distances (ou des nombres de pas) et à prendre les points ainsi déterminés comme points d'échantillonnage. Pour éviter les pertes de temps, il faudra s'assurer à l'avance (sur carte ou sur photo) que le cheminement ne déborde pas des limites de la communauté.

La méthode des lancers de pierres ou de marteau, matérialisant un point au hasard, ne peut trouver son application que dans le cas où la surface est relativement petite, le lancer pouvant balayer l'ensemble de la zone. En zones arides, ou les communautés végétales s'étalent sur des centaines, voire des milliers d'hectares, cette méthode est tout simplement désuète et ne donne qu'une illusion de choix au hasard.

Une autre contrainte importante est due à la nature même des communautés végétales présentes :

- . si les superficies occupées par les unités sont trop inégales, l'échantillonnage au hasard surestimera certainement la communauté la plus étendue, en y multipliant les points de mesure ;
- . si les différences sont trop prononcées, on pourrait se retrouver, à la limite, avec des zones non échantillonnées, jouant pourtant un rôle écologique important. C'est notamment le cas des oueds dont les superficies sont naturellement réduites et qui risquent de n'avoir aucun point implanté.

La solution serait alors d'augmenter le nombre de points jusqu'à obtenir suffisamment d'échantillons dans ces communautés, mais on se placerait alors à l'encontre du principe de parcimonie, fondement de tout échantillonnage.

Enfin, cet échantillonnage ne semble pas très adapté à la problématique du réseau Roselt/OSS qui suppose des mesures en continu, sur des parcelles identiques afin d'éliminer la variabilité spatiale. Il ne permet pas également la

mise en évidence de gradients écologiques majeurs comme par exemple l'étude de la pression anthropozoïque le long d'un gradient de dégradation.

## 5. L'analyse exhaustive

Dans l'analyse exhaustive, l'utilisation même du mot 'échantillonnage' peut poser problème. En effet, il ne s'agit plus d'analyser une partie de la population afin de généraliser les propriétés de l'échantillon à l'ensemble de celle-ci, mais au contraire, d'en expérimenter l'intégralité afin d'étudier l'homogénéité, la structure et même l'aire minimale des échantillons puis de les valider, c'est-à-dire vérifier si elles sont conformes au modèle théorique proposé. L'analyse exhaustive fait suite aux travaux de Greig-Smith (1952). Elle a été reprise par Slimani en 1998 dans les steppes algériennes. Plusieurs techniques sont utilisables dans ce but :

a- *Les grilles ou bandes de placettes contiguës.* Il s'agit de placer plusieurs lignes contenant n carrés ou rectangles contigus au nombre de 2<sup>n</sup> pour permettre les regroupements de placettes et faciliter l'interprétation statistique.

La structure de la végétation peut être étudiée de manière fine et les mesures comme la densité et le recouvrement sont facilités. Les placettes peuvent être choisies au hasard si leur nombre est suffisamment important, ce qui n'est généralement pas le cas car le regroupement vise justement à extraire un maximum d'information avec un effort d'échantillonnage minimal. En cas de regroupement, les échantillons ne sont même plus choisis au hasard. Pour lever la contrainte de l'indépendance, la théorie de l'information semble donner des résultats prometteurs pour l'interprétation des résultats car elle se base sur une statistique non paramétrique plus robuste aux conditions d'application.

b. *Les lignes de segments contigus.* Godron (1966) utilise une méthode s'inspirant des points alignés. Il place des segments contigus et y note la présence des espèces, ce qui permet d'aboutir à des fréquences.

c. *L'ordination des individus le long d'une ligne ou d'une bande.* Cette méthode permet de déceler des relations d'ordre et de calculer notamment des densités linéaires ou par unité de surface.

## 6. L'échantillonnage stratifié

Il évite que les milieux les plus fréquents ne soient sur-échantillonnés au détriment d'autres moins représentés mais éventuellement plus informatifs. (Daget et al., 1997).

Il faut accorder aux scientifiques ayant une longue expérience de terrain qu'ils sont instinctivement susceptibles d'effectuer un échantillonnage qui, malgré une forte subjectivité apparente forte, est de nature probabiliste (échantillonnage de type 'stratifié').

Ce type d'échantillonnage est le plus puissant faisant appel à plusieurs sources d'informations. Il vise à découper une zone hétérogène en sous-régions aussi homogènes que possible qui seront ensuite échantillonnées. Les documents de base sont les cartes thématiques et les photos aériennes. Dans le premier cas, les couches thématiques seront superposées, l'intersection des différentes unités aboutira à une couche synthétique où seront individualisées des unités écologiquement homogènes. Le second cas se base essentiellement sur le recours aux photographies aériennes ou images satellites. Le travail de photo-interprétation permettra de délimiter des zones isophènes supposées être homogènes.

a. *L'utilisation de la documentation cartographique.* Une fois connus les facteurs jugés efficaces, le thématicien recueille les cartes disponibles. Les cartes topographiques procurent non seulement des renseignements d'ordre toponymique, mais précisent aussi le réseau hydrographique et permettent d'extraire les cartes des pentes, des expositions et hypsométrie. Les cartes thématiques sont généralement des cartes pédologiques, bioclimatiques, géomorphologiques, ou géologiques et le choix se fait naturellement en fonction des objectifs de travail. Evidemment, cela suppose, si l'on utilise le système de calques, que leurs échelles soient identiques. Si les projections des cartes sont différentes, le problème devient plus délicat à résoudre car requérant des moyens plus importants. L'utilisation actuellement de l'outil informatique permet de résoudre plus facilement ces problèmes de projection. Les fonctions de superpositions automatiques des logiciels de SIG permettent en outre de superposer les différentes couches (*layers*) et d'extraire automatiquement une couche dérivée (*overlay*) représentant les zones homogènes. Ce travail suppose, comme préalable, l'existence d'études finalisées par des cartes thématiques, élaborées à la même période, ce qui est en réalité rarement le cas.

b. *L'utilisation de photos aériennes ou d'images satellites.* A défaut de disponibilité de cartes thématiques récentes, les images satellites ou photographies aériennes constituent une source privilégiée pour la stratification de la zone d'étude. Les photographies aériennes, généralement panchromatiques (entre le 1/ 60 000 et le 1/ 20 000 le plus souvent ; le choix de l'échelle dépendant évidemment de l'objectif de travail), présentent

l'avantage premier d'une grande finesse spatiale. Cependant, les images satellites offrent une meilleure résolution spectrale et surtout une répétitivité et des vues synoptiques facilitant grandement le travail.

Les zones présentant un aspect semblable, défini par des critères texturaux, structuraux de couleurs et d'environnement, sont délimitées en zones isophènes. Ces dernières traduiront en principe les plages de végétation homogènes. Le travail de laboratoire sera complété sur le terrain afin de vérifier la clé de légende proposée. La vérification portera aussi sur la qualité du travail d'extrapolation des zones homologues de référence dans lesquelles des relevés phytoécologiques ont pu être implantés.

## 7. L'échantillonnage mixte

L'expérience montre qu'en pratique l'opérateur commence souvent par réaliser soit un échantillonnage subjectif, quand il manque d'informations, soit un échantillonnage stratifié en cas de disponibilité des sources d'informations. Si la zone retenue est considérée comme homogène, il peut alors utiliser la table des nombres au hasard pour choisir l'implantation de son relevé. Il peut ensuite être amené à réaliser des mesures quantitatives comme l'évaluation de la phytomasse ou l'estimation des recouvrements en éléments de la surface du sol. Dans ce cas, l'utilisation des lignes relèverait d'un échantillonnage systématique. L'opérateur peut donc faire appel à plusieurs types d'échantillonnage mobilisant ainsi toutes les sources d'information. L'échantillonnage mixte est très efficace car complet ; il est celui le plus utilisé dans les études de l'évaluation des ressources naturelles et du suivi de la dynamique de la végétation.

### Mesure de la qualité d'un échantillonnage

Rappelons quelques précautions déjà évoquées au Chap. I.

Une distribution hétérogène et aléatoire, et des connaissances statistiques plus ou moins poussées sont nécessaires pour l'interprétation de la végétation naturelle.

Dans la problématique Roselt/OSS, il a été opté pour un échantillonnage à la fois stratifié et de type probabiliste ; le seul à permettre que soient tirés des enseignements concernant l'ensemble de la population (ou des espaces) échantillonnée (Godron, 1976).

Dans cette démarche, il importe aussi de tenter de rationaliser, ou de planifier, le nombre et la répartition des relevés en évitant :

- d'effectuer des relevés inutiles (sur représentation),
- d'ignorer certains milieux moins étendus mais très significatifs sur le plan écologique.

Les échantillonnages sont donc plus ou moins bien établis et leur qualité est variable, ce qui peut être évalué. Nous rapportons ici une procédure de mesure de la qualité d'un échantillonnage, décrite par Daget *et al.* (1997).

Pour qu'un échantillonnage soit dit optimal (ou mieux 'optimal au sens de Neyman' ou 'N-optimal'), il a été prouvé que le nombre de relevés doit être le même dans toutes les strates, du tableau d'échantillonnage, présentes sur le terrain. Il faut également un nombre suffisant de relevés (de l'ordre de cent au total) pour que les calculs statistiques effectués par la suite soient réellement valides. Si pour un critère retenu (ex. formation végétale), une des classes du critère (ex. savane arborée) occupe la majorité de l'espace (avec un risque de sur-échantillonnage de cette classe et de mauvaise qualité de l'échantillonnage), il reste possible et important de le subdiviser (par exemple par la densité des ligneux, etc.).

Le profil d'ensemble d'un descripteur est donné par la suite des fréquences absolues des relevés dans les diverses classes de ce descripteur. De toute évidence, si le descripteur n'a qu'une classe, aucun des relevés exécutés ne peut apporter d'informations le concernant. La formule théorique du profil d'ensemble est fournie au tableau qui suit (Daget *et al.*, 1997).

	Descripteur L ayant plusieurs classes						Ensemble des relevés
	Classe 1	Classe 2	...	Classe K	...	Classe NK	
Nombre de relevés	$R(1)$	$R(2)$	...	$R(K)$	...	$R(NK)$	$NR = \sum_1^{NK} R(K)$

De fait, la quantité d'informations, apportée par un profil d'ensemble, se mesure par son entropie calculée à partir des fréquences relatives des relevés dans les différentes classes :

$$H(L) = - \sum_1^{NR} \frac{R(K)}{NR} \log_2 \frac{R(K)}{NR}$$

Il est démontré que  $H(L)$  passe par un maximum lorsque toutes les fréquences relatives  $R(k)$  sont égales (Daget et *al.*, 1997).

$$R(k) = \frac{NR}{NK}$$

Rajoutons que le choix des sites et des emplacements des relevés doit être aussi planifié afin d'être à la fois pertinent et économe en moyens.

### **Méthodes usuelles de mesures du recouvrement de la végétation**

De très nombreuses méthodes ont été élaborées pour mesurer les paramètres de terrain. Plusieurs de ces méthodes sont présentées ici au pur titre de l'information puisque dans le cadre du programme Roselt/OSS, c'est la méthode dite des 'points-quadrats' qui a été retenue.

#### *A. La méthode linéaire*

Le principe est de suivre les variations de la végétation en échantillonnant les points à différentes périodes et selon une maille de lecture plus ou moins lâche. Les points de lecture sont situés le long d'un ruban métallique tendu entre des supports au moyen de pinces sur lequel coulisse une bague de 2,5 cm de diamètre (Parker, 1951, 1954 ; Long, 1958) fixée à l'extrémité d'une tige métallique tendue par des pinces. Le repérage est obtenu à l'aide de trois piquets 'cornières' sur lesquels on trace un trait de repère au niveau du passage du ruban.

Si le ruban métallique est préalablement gradué, il est alors aisé de replacer à chaque fois la bague au même endroit que lors du premier échantillonnage. Sinon, les cotes sur le ruban au point de contact avec les cornières sont notées et ceci permettra de replacer le ruban aux mêmes emplacements. La lecture s'effectue en 100 points de lecture (chiffre variable) équidistants (tous les 10 ou 20 cm, en général), en dénombrant toutes les espèces incluses dans la bague, enracinées ou non. Il est préférable cependant, pour des considérations statistiques, que les points de lecture soient en puissance de 2 ( $2^n$ ).

Selon Gounot (1969), la méthode conviendrait bien à l'étude de l'évolution des pâturages en zone semi-aride ou dans les autres types de végétation ouverte (groupements halophiles, etc.). Cependant, en pratique, le système est relativement lourd à mettre en place. En outre, hormis la végétation graminéenne, la bague appréhende difficilement les communautés à base de buissons. Cette méthode ne semble pas très appropriée en zones arides surtout en Afrique du Nord et n'a plus la faveur des écologues de terrain.

#### *B. Les points-quadrats*

Telle que définie au départ, la méthode des 'points-quadrats' consistait en l'assemblage de dix aiguilles alignées. Cette disposition se heurte à des limites statistiques importantes. En effet, Goodall (1952) a montré qu'en réalité la

distribution de la végétation est contagieuse ; les points de lectures ne sont pas indépendants et ne suivent donc pas une loi binomiale de distribution. L'échantillonnage par points au hasard serait dans ce cas plus efficace mais on ne serait plus alors dans le cas d'un échantillonnage systématique.

Il est possible théoriquement de faire varier la maille et le nombre de points jusqu'à ce que la distribution soit binomiale. L'utilisation d'un des rayons d'une roue sans jante qu'on fait rouler dans la végétation (Graetz & Gentle, 1990 ; Melzi, 1986) montre que la variance tend vers celle obtenue avec des points au hasard.

Dans le cadre de Roselt/OSS, il est proposé de recourir à une variante de la procédure originale, à savoir d'utiliser des points alignés. Il s'agit de la méthode la plus utilisée (Gounot, 1969 ; Long et *al.*, 1970 ; Daget & Poissonet, 1969, 1971, 1974 ; Jonasson, 1983 ; Daget & Godron, 1995).

La figure 10 représente un bordereau de relevés pour l'analyse linéaire selon cette méthode des points-quadrats.

Il s'agit de comptabiliser les points de végétation le long d'une ligne (ou ruban) graduée selon une maille régulière. Elle permet de transposer sur une dimension toutes les mesures réalisées sur une surface et de déterminer les paramètres quantitatifs tels que le recouvrement, la fréquence, la densité et la contribution des espèces au tapis végétal. Cette technique, ne nécessitant pas l'existence d'un bâti lourd, est plus simple d'application et elle est parfaitement adaptée aux formations basses ouvertes des régions arides et semi-arides. Elle a, par exemple, été testée, validée et utilisée par de nombreux auteurs pour évaluer l'état de la végétation et des éléments du sol dans les écosystèmes steppiques et présahariens dans tout le nord de l'Afrique mais également au Sahel. Cette méthode s'est avérée efficace pour la réalisation du suivi de la couverture végétale par la technique des lignes permanentes installées dans des stations d'observation (Aidou, 1989).

Figure 10 : fiche de relevé selon la méthode des points-quadrats

### ANALYSE LINEAIRE

Ligne N° .....

Dimensions .....

Numéro ..... 1 2 3 4

Auteur ..... 1 2 3 4

Année ..... 1 2 3 4

Élément ..... 1 2 3 4

	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103	104	105	106	107	108	109	110	111	112	113	114	115	116	117	118	119	120	121	122	123	124	125	126	127	128	129	130	131	132	133	134	135	136	137	138	139	140	141	142	143	144	145	146	147	148	149	150	151	152	153	154	155	156	157	158	159	160	161	162	163	164	165	166	167	168	169	170	171	172	173	174	175	176	177	178	179	180	181	182	183	184	185	186	187	188	189	190	191	192	193	194	195	196	197	198	199	200	201	202	203	204	205	206	207	208	209	210	211	212	213	214	215	216	217	218	219	220	221	222	223	224	225	226	227	228	229	230	231	232	233	234	235	236	237	238	239	240	241	242	243	244	245	246	247	248	249	250	251	252	253	254	255	256	257	258	259	260	261	262	263	264	265	266	267	268	269	270	271	272	273	274	275	276	277	278	279	280	281	282	283	284	285	286	287	288	289	290	291	292	293	294	295	296	297	298	299	300	301	302	303	304	305	306	307	308	309	310	311	312	313	314	315	316	317	318	319	320	321	322	323	324	325	326	327	328	329	330	331	332	333	334	335	336	337	338	339	340	341	342	343	344	345	346	347	348	349	350	351	352	353	354	355	356	357	358	359	360	361	362	363	364	365	366	367	368	369	370	371	372	373	374	375	376	377	378	379	380	381	382	383	384	385	386	387	388	389	390	391	392	393	394	395	396	397	398	399	400	401	402	403	404	405	406	407	408	409	410	411	412	413	414	415	416	417	418	419	420	421	422	423	424	425	426	427	428	429	430	431	432	433	434	435	436	437	438	439	440	441	442	443	444	445	446	447	448	449	450	451	452	453	454	455	456	457	458	459	460	461	462	463	464	465	466	467	468	469	470	471	472	473	474	475	476	477	478	479	480	481	482	483	484	485	486	487	488	489	490	491	492	493	494	495	496	497	498	499	500	501	502	503	504	505	506	507	508	509	510	511	512	513	514	515	516	517	518	519	520	521	522	523	524	525	526	527	528	529	530	531	532	533	534	535	536	537	538	539	540	541	542	543	544	545	546	547	548	549	550	551	552	553	554	555	556	557	558	559	560	561	562	563	564	565	566	567	568	569	570	571	572	573	574	575	576	577	578	579	580	581	582	583	584	585	586	587	588	589	590	591	592	593	594	595	596	597	598	599	600	601	602	603	604	605	606	607	608	609	610	611	612	613	614	615	616	617	618	619	620	621	622	623	624	625	626	627	628	629	630	631	632	633	634	635	636	637	638	639	640	641	642	643	644	645	646	647	648	649	650	651	652	653	654	655	656	657	658	659	660	661	662	663	664	665	666	667	668	669	670	671	672	673	674	675	676	677	678	679	680	681	682	683	684	685	686	687	688	689	690	691	692	693	694	695	696	697	698	699	700	701	702	703	704	705	706	707	708	709	710	711	712	713	714	715	716	717	718	719	720	721	722	723	724	725	726	727	728	729	730	731	732	733	734	735	736	737	738	739	740	741	742	743	744	745	746	747	748	749	750	751	752	753	754	755	756	757	758	759	760	761	762	763	764	765	766	767	768	769	770	771	772	773	774	775	776	777	778	779	780	781	782	783	784	785	786	787	788	789	790	791	792	793	794	795	796	797	798	799	800	801	802	803	804	805	806	807	808	809	810	811	812	813	814	815	816	817	818	819	820	821	822	823	824	825	826	827	828	829	830	831	832	833	834	835	836	837	838	839	840	841	842
--	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

cm. Cependant dans l'absolu, la maille et le nombre de points doivent être adaptés de façon à ce que la distribution soit aléatoire. Il est donc recommandé de vérifier par des tests statistiques appropriés, non paramétriques (ex. test de conformité à une loi binomiale), l'homogénéité de la végétation et d'étudier, même sommairement, la structure de la végétation. Les études sur la structure de la végétation requièrent une approche statistique spécifique et souvent complexe. Dans le cadre Roselt/OSS où l'on se préoccupe de l'évaluation et du suivi de l'état actuel de la dégradation des zones sèches au sud et au nord du Sahara, une étude préalable peut permettre de préciser le nombre idéal de points de lecture ce qui, bien entendu, détermine le nombre adéquat de lignes de 20 m à 'lire'. En tout état de cause, plus la végétation est clairsemée plus le nombre de points de lecture (et donc généralement de lignes) doit être élevé.

Selon les besoins, à chaque point de lecture le long de la (ou des) ligne graduée, on notera soit la présence des taxons soit le nombre de contacts, par strate, avec une aiguille descendue verticalement dans la végétation (*cf.* détails de la procédure pratique et de l'interprétation au Chap. I, § Composition et structure).

Bien adaptée dans le cas de formations végétales de type savane, la méthode des points alignés s'avère moins efficace pour les formations dominées par les chaméphytes (petits ligneux) rencontrés par exemple dans les steppes d'Afrique du Nord, aussi d'autres types de lignes sont utilisés pour étudier ce type de végétation.

Pour les strates ligneuses discontinues (par exemple des acacias), la méthode utilisée est celle de la 'jauge de Cooper' décrite in Daget & Godron (1995). La jauge a la forme générale d'un T dont les deux pièces ont précisément 10 et 70,7 cm de longueur pour le 'bras' et la 'jambe'. L'extrémité de la 'jambe' opposée au 'bras' porte soit un œilleton de visée (plaque métallique percée), soit une mire (Figure 11).

*Figure 11 : jauge de Cooper*



En un point de la station d'étude, l'observateur porte la jauge à son œil et note le nombre et la nature des espèces dont la hauteur dépasse la longueur du 'bras'. Il tourne sur lui même pour balayer tout le pourtour et recommence l'opération à différents endroits de la station. Cette opération est répétée 10 fois au minimum par station.

### *C. La lecture par segments*

Cette méthode consiste à mesurer le long d'une ligne, tendue au-dessus de la végétation, la longueur interceptée par les différentes espèces au niveau de leurs couronnes (Gounot, 1969). Pour chaque espèce, les résultats sont exprimés en fréquences relatives, au travers du rapport entre la longueur interceptée par l'espèce et la longueur totale de la ligne.

### *D. La méthode de la ligne d'interception*

La méthode consiste à tendre une cordelette le long d'une ligne et à noter les contacts de cette cordelette avec les différents éléments présents dans le milieu. La somme des longueurs de chaque objet élevée au carré donne le recouvrement de l'objet (Le Houérou, 1987). La longueur de la ligne dépend de l'abondance de la végétation et de son uniformité. Elle varie de 15 m pour recouvrement de 5 à 15 % à 30 m pour recouvrement de l'ordre de 5 % (Floret, 1988), mais ces recommandations représentent plus des valeurs guides qu'une loi à respecter. Le nombre de lignes dépend de l'uniformité de la végétation (une trentaine de lignes convient à la plupart des types de végétation).

Pour des raisons mathématiques, les graminées en touffes sont mesurées au niveau du sol. En effet, les mesurer plus haut augmenterait considérablement la valeur du recouvrement par rapport au recouvrement réel.

Dans le cas des autres espèces herbacées, on mesure généralement le diamètre de la tige si celle-ci est unique, et le diamètre des feuilles basales pour les plantes en rosette. Pour les plantes ligneuses et les petits buissons, la mesure se fait sur la couronne (Floret, 1988).



### Méthodes usuelles de mesure de la phytomasse

#### A. Définitions

Les définitions des termes : *phytomasse aérienne*, *phytomasse aérienne sur pied*, *phytomasse 'verte' sur pied*, *nécromasse*, *nécromasse sur pied*, *phytomasse totale* et *phytomasse consommable* ont déjà été exposées au Chapitre II, § Caractérisation quantitative, a. Phytomasse).

La phytomasse aérienne épigée, qui nous intéresse essentiellement, peut être exprimée de diverses manières et avec différentes unités. Le pastoralisme s'intéresse en effet à la phytomasse présente dans les formations végétales pâturées ou phytomasse pastorale. Cette *phytomasse pastorale* peut être *totale* ou au contraire *consommable* si l'on tient compte en particulier de l'accessibilité des animaux à la ressource. L'expression de l'une ou l'autre de ces notions de phytomasse pastorale se fera :

- en poids vert (matière fraîche),
- ou en poids sec (matière sèche). Il serait également possible de l'exprimer en calories ou encore en teneur en carbone de la matière sèche, selon les besoins des études. Cependant, pour les pastoralistes, l'expression la plus fréquente reste le poids de matière sèche.

#### B. Problèmes fondamentaux

Plusieurs écueils sont à régler dont la superficie unitaire, l'effectif, la forme et la répartition des prélèvements.

1 . La *forme de la placette* nécessite de choisir : cercles, carrés et rectangles.

Le cercle est considéré comme présentant les plus faibles erreurs de bordure. Il présente l'inconvénient assez grave qu'une erreur même faible sur la mesure du rayon modifie fortement la superficie prise en considération.

Pour les superficies relativement grandes et dans les situations où il faut procéder à plusieurs observations et mesures sur la même placette, le rectangle constitue une option avantageuse. Il est en effet possible de choisir une largeur évitant les risques de piétinement.

Pour les petites surfaces, le carré reste la forme la plus employée.

2. Pour la *taille de la placette*, le choix opéré par Roselt/OSS est d'opter pour une taille en conformité avec celle de l'aire minimale (cf. Chap. II. L'homogénéité)

de la formation étudiée. A titre d'exemple, pour le Sud tunisien, la dimension standard retenue pour les placettes était de 32 m<sup>2</sup> sous la forme d'un rectangle de 8 x 4 m. Pour les espèces annuelles, il est fréquemment préconisé de choisir un carré de 1 m<sup>2</sup>. Pour les formations dominées par des arbres (steppes et savanes arborées), l'aire minimale sera bien entendue beaucoup plus étendue. Les formations complexes, présentant deux ou plus de strates, nécessitent que les mesures puissent être effectuées sur des superficies différentes et adaptées aux types de végétaux présents.

Il est reconnu que l'augmentation de la taille des prélèvements, si elle ne modifie en rien la moyenne, fait cependant régresser l'écart-type et accroître en conséquence la qualité des résultats.

3. Le nombre de placettes à mesurer est étroitement lié à la taille choisie pour les placettes. En fait, il importe pratiquement de tenter de parvenir à la combinaison optimale entre taille et nombre des prélèvements afin d'obtenir à la fois la plus grande précision possible au coût minimum en main d'œuvre.

Il est reconnu que l'augmentation, jusqu'à un certain niveau, du nombre de prélèvements améliore la précision de la moyenne et de l'écart-type, mais aussi que ce gain de précision apporté par une mesure supplémentaire diminue au fur et à mesure que l'on augmente le nombre de prélèvements. Autrement dit, les gains de précision sont de plus en plus coûteux. Pour le Sahel, Levang & Grouzis, 1980, parviennent à la conclusion qu'il faut retenir comme combinaison optimale, pour la mesure de la phytomasse herbacée, 30 placettes de prélèvement de 1 m<sup>2</sup> chacune. Milner & Hugues (1968) ont rapporté une formule censée déterminer avec rigueur le nombre (N) de prélèvements à effectuer afin d'atteindre le niveau de précision souhaité.

$$N = \frac{tS}{DX}$$

avec : S = erreur standard obtenue en prélevant, par coupe, un nombre restreint (10) de placettes, t obtenu à partir des tables statistiques,

D = degré de précision souhaité (en décimale par exemple 10 % = 0,1),

X = moyenne arithmétique des mesures effectuées sur le nombre réduit de prélèvements.

Greig-Smith, 1964, a proposé une méthode graphique (*in* Milner & Hugues, 1968) de visualisation, au fur et à mesure du déroulement du travail, de l'accroissement de la précision des résultats. L'établissement d'un tel graphique permet de choisir la limite à partir de laquelle il devient inutile d'ajouter du travail supplémentaire.

4. *la répartition des prélèvements* doit également faire l'objet d'un choix. Il apparaît clairement que les prélèvements doivent être répartis sur l'ensemble de la formation étudiée afin de tenir compte de toute son hétérogénéité. L'hétérogénéité des sites se révèle ainsi très importante à considérer. Il est capital, lorsqu'un gradient d'hétérogénéité existe et qu'il est détecté, de prendre soin de situer les échantillons dans le sens (voire l'axe) de ce gradient. Dans les situations de milieux considérés comme étant homogènes ou de milieux hétérogènes, mais sans gradient établi, la répartition des prélèvements devrait se faire au hasard. Plusieurs astuces ont été adoptées dont celles du jet d'objet au hasard ou encore la détermination de direction au hasard et comptage d'un nombre donné de pas. Un avis a été donné sur ces pratiques en annexe I b.

Le repérage précis des emplacements de prélèvement n'est indispensable que s'il importe de refaire des mesures aux mêmes endroits.

### C. *Mesure de la Phytomasse pastorale totale*

#### 1. Méthode des coupes

##### *Protocole*

Les choix évoqués aux paragraphes précédents étant effectués, la placette de prélèvement est matérialisée (piquets et corde). La végétation pérenne est coupée à ras du sol sur toute la placette. Si elle est effectuée manuellement, la coupe est source de grandes erreurs, la hauteur de coupe variant beaucoup selon les opérateurs. Il importe également de tenir compte du fait que si les moyens mécaniques de coupe offrent plus de régularité, ils ne peuvent couper au ras du sol. Ellenberger (1977) rapporte les normes suivantes de hauteur de coupe de divers matériels :

- tondeuse à moutons      1-3 cm
- mototondeuse            3-4 cm
- barre de coupe tractée   7 cm

Les végétaux coupés au ras du sol (récolte intégrale) sont triés taxon par taxon, ou par catégories d'espèces (graminées, légumineuses), selon la précision souhaitée pour l'étude. Pour les espèces annuelles, la coupe se fait sur une superficie généralement réduite à 4 voire 1 m<sup>2</sup>. A la fin de la coupe, les catégories de végétaux retenues sont pesées en vert séparément.

Cette procédure, si elle ne présente aucune difficulté pour les herbacées (pérennes et annuelles) ni pour les ligneux bas, n'est par contre pas directement applicable pour les ligneux hauts. Il s'avère cependant capital, l'importance des ligneux traduisant (même en zones aride et semi-aride) de

façon relativement fidèle l'état du peuplement, de pouvoir également mesurer leur phytomasse. Des méthodes ont été évoquées au Chapitre II § Caractérisation quantitative, a. Phytomasse, à ce propos, comme par exemple la méthode de 'l'arbre moyen'.

Lors de la pesée, l'on prélève pour chaque catégorie de végétaux un échantillon qui, enfermé dans un sac en plastique étanche, est ensuite porté au laboratoire pour pesée et analyse. Le poids sec est obtenu après passage des échantillons durant 12 heures à l'étuve maintenue à 70 °C. Le rapport entre le poids vert de l'échantillon frais et son poids après passage à l'étuve donne le quotient à utiliser pour traduire les données en poids vert, obtenues sur le terrain, en poids de matière sèche. Cette expression des résultats, indépendante de la teneur en eau du matériel végétal frais facilite les comparaisons inter-saisonnières et interannuelles.

### *Résultats et leur précision*

Dans la majorité des cas d'études pondérales appliquées aux formations pâturées, les auteurs effectuent les calculs de la moyenne arithmétique, de l'écart-type et éventuellement de l'indice (P) de précision de la moyenne. Ce dernier indice n'est pas très usité quoique capital. Il se calcule selon la formule suivante :

$$P = \frac{s \ t}{x \sqrt{n}}$$

où s est l'écart-type, t le coefficient de Student et x la moyenne arithmétique

Selon Daget (1996), la végétation pastorale étant, surtout en zones arides, très hétérogène, les méthodes classiques d'analyse des résultats se trouvent être inadaptées. Tous les auteurs constatent la grande variabilité des résultats et la difficulté d'effectuer suffisamment des mesures pour aboutir à une précision acceptable. De fait, l'hétérogénéité naturelle de ce type de végétation invalide l'hypothèse d'une distribution gaussienne des mesures et rend délicat de se référer au calcul de la moyenne. Daget (1996) préconise alors de calculer non plus la moyenne arithmétique mais la médiane et ce, de la manière suivante. Les valeurs des n mesures étant classées par ordre croissant et la médiane occupe le rang :

$$\frac{(n + 1)}{2}$$

Daget (*op cit.*) conteste également les moyens, proposés par les mathématiciens, pour calculer un intervalle de confiance dans cette situation et propose les recours suivants. Le rang des bornes de l'intervalle de confiance de la médiane est donné par :

$$\frac{(n+1)}{2} \pm z = \frac{n}{2}$$

où z est la valeur de la variable normale au seuil choisi (au seuil 0,95, z = 1, 96 et au seuil 0,99, z = 2,6)

Pour une série de 30 mesures de phytomasse aérienne épigée, les bornes de l'intervalle de confiance seront données par la formule :

$$\frac{31}{2} \pm \frac{30}{2} = 15,5 \pm 5,5$$

Dans la série des mesures rangées par ordre croissant, les bornes seront donc la dixième et la vingt-et-unième valeur.

## 2. Autres méthodes

Ces autres méthodes sont ici assez largement abordées et décrites, quoiqu'elles soient basées sur des indices, estimations et autres jeux de relations statistiques entre des résultats rigoureux obtenus par la méthode des coupes, telle qu'elle est décrite au paragraphe précédent, et des évaluations obtenues par d'autres voies. Ces voies, qui ont fréquemment été développées avec le souci de leurs initiateurs qu'elles soient moins contraignantes en temps, et moins destructives, nécessitent encore souvent d'être affinées.

### *a. Méthode approchée par estimations (méthode par entraînement d'observateurs)*

Il s'agit de fait d'une méthode dérivée de celle de Pechanec & Pickford, 1937, (présentée au chapitre II).

Le principe est qu'un bon observateur, avec un entraînement et des contrôles réguliers, parvient à estimer le poids d'un végétal sur pied avec une erreur réduite. L'observateur teste ses capacités d'abord sur une seule espèce. Le poids des touffes est estimé puis cette même touffe est coupée au ras du sol et pesée en vert sur place. Progressivement, un bon observateur affine son jugement au point de pouvoir travailler avec une certaine sécurité dans des tranches de poids en vert de 10 g en 10 g. Bien calé pour une espèce, l'observateur complique alors progressivement l'exercice en l'étendant aux diverses espèces d'une même formation végétale.

L'entraînement achevé, la procédure de travail consiste à procéder, sur des placettes délimitées selon les directives décrites pour la méthode de coupe intégrale, en premier lieu à l'évaluation du poids d'une touffe qui est ensuite coupée et pesée. Cette procédure est appliquée à toutes les touffes d'une même espèce puis étendue à toutes les espèces de la placette. Il est possible, par exemple, de procéder à l'estimation puis à la pesée sur une placette puis à la seule estimation des deux suivantes et ainsi de suite par série de trois placettes. Il est recommandé que chaque journée commence par ce double exercice : 'estimation-pesée'. Le fait de noter systématiquement les résultats estimés et, en regard, les résultats des pesées permet le calcul de l'équation de régression entre les deux résultats obtenus pour la placette de prélèvement (1 placette sur 3). Ce calcul permet d'appliquer une correction calculée aux résultats des placettes seulement estimées, accroissant ainsi leur précision. Les calculs statistiques traditionnels sont applicables à ces données.

Floret (1988) rapporte un exemple de ces calculs pour les données obtenues sur 20 placettes de 16 m<sup>2</sup> (dont 7 sont à la fois estimées et pesées) avec une moyenne des 7 mesures de 2 851 g/ m<sup>2</sup> et une moyenne des estimations de 2 540 g/m<sup>2</sup>

L'équation de régression, entre estimations et mesures pour les 7 placettes, est de la forme :

$$Y (\text{estimé}) = a + b (x - \bar{x})$$

où a = moyenne des estimations sur les 7 placettes également mesurées ; b = constante  
 x = moyenne des 20 placettes estimées,  
 $\bar{x}$  = moyenne des mesures des 7 placettes.

*b. Méthode fondée sur la relation Contribution spécifique et phytomasse sur pied.*

Nous avons déjà évoqué, pour des formations herbacées denses (Poissonet & Poissonet, 1969), la relation (presque linéaire dans certains cas) entre la Contribution spécifique présence (CSP) et la Contribution spécifique contact (CSC). Ces auteurs ont également établi une relation strictement linéaire entre CSC et phytomasse aérienne sur pied (poids exprimés en matières sèches). La relation doit être établie espèce par espèce. Il en ressort que la CSP peut être retenue comme une expression convenable de la phytomasse.

La procédure logique (two-step sampling), comme cela a été proposé par Anderson & Kotmann (1982), comporte deux étapes avec successivement, sur les mêmes espaces et les mêmes individus, détermination du recouvrement (FS, CSP, CSC) puis de la phytomasse.

Les résultats sont assez inégaux, selon en particulier les types biologiques des taxons.

La procédure peut éventuellement être aussi appliquée au niveau de l'ensemble de la formation végétale. L'on considère a) la phytomasse aérienne sur pied et b) le recouvrement ou le biovolume. La procédure suivie peut être la suivante, qui consiste à mesurer le couvert le long de 10 lignes de 100 points chacune et, à proximité, à mesurer la phytomasse par la méthode de la coupe intégrale, sur 6 bandes de 10 m<sup>2</sup> (25 x 0,4 m). L'on calcule par la suite l'équation de régression linéaire, passant par l'origine, du type :

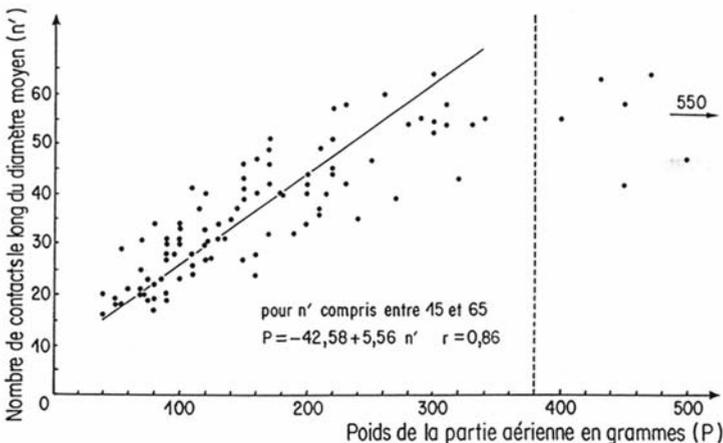
$$y = bx$$

où y est la biomasse et x le couvert.

Ce procédé améliore semble-t-il la précision des résultats.

La qualité de la relation recouvrement-phytomasse est nettement moins bonne pour les formations ligneuses basses, très fréquentes en zones arides, ainsi que l'a démontré une étude méthodologique qui a été réalisée (Joffre, 1978) dans le Sud tunisien sur 5 espèces ligneuses basses. De fait, la corrélation, qui est bonne pour les petits individus (Figure 12), se détériore pour les individus de poids supérieur à 350 grammes.

Figure 12 : corrélation entre la phytomasse aérienne de *Seriphidium herba-alba* et le nombre de contacts (CSP) observé sur le diamètre moyen (Joffre, 1978)



Pour les gros buissons la méthode de lecture des points-quadrats est difficile à mettre en œuvre. C'est ainsi que dans le cas de formations pluristrates (strate herbacée basse et strate ligneuse plus élevée), il y a tout intérêt à dissocier les mesures pour chacune des strates. Pour les mesures des grosses touffes, il est possible de se référer, ainsi que nous l'avons déjà évoqué, aux techniques des forestiers.

**Aire minimale** : la plus petite surface nécessaire pour identifier la plupart des espèces d'un groupement homogène. La méthode de détermination de l'aire minimale est donnée au Chap. II

**Appétibilité (appétabilité, appétance ou palatibilité)** : l'appétibilité d'une plante dépend de l'intensité avec laquelle l'animal la consomme. Elle peut varier en fonction des saisons et dépend de la composition chimique de l'espèce et du rapport feuille/tige/graine, de sa valeur nutritive, des éléments répulsifs (tanins), etc. [cf. Chap. II]

**Biodiversité** : Daget & Gaston (2001) en donnent la définition suivante : *la diversité mesure l'hétérogénéité globale d'un ensemble dénombrable dont les éléments peuvent être regroupés en catégories, donc un ensemble partitionnable* [Chap. III & IV]

**Biomasse** : masse de matériel vivant par unité de surface. Elle se subdivise en biomasse végétale ou phytomasse et en biomasse animale ou zoomasse [Chap. II]

**Biotope (ou un habitat)** : unité de surface limitée mais variable (écosystème ou agro-système), pouvant être décrite par les conditions physiques et chimiques particulières qui y règnent (descripteurs abiotiques) et occupée par une biocénose (descripteurs biotiques)

**Biocénose** : cf. in Biotope

**Carte d'occupation des terres (COT)** : document cartographique thématique incluant la description et la localisation des principales formations végétales, des espèces dominantes et co-dominantes, des états de la surface du sol et le niveau de pression exercé par l'Homme. La COT rend compte de l'état actuel de la végétation et de l'emprise des actions humaines sur le milieu [Chap. I, Zonage]

**Composition floristique** : liste des espèces recensées en un lieu, sur une surface et à une date donnée [Chap. II]

**Contact** : notion liée à la structure verticale de la végétation. Le nombre de contacts est évalué par la méthode dite des points-quadrats [Chap. II]

**Contribution spécifique (CS)** : rapport de la fréquence d'une espèce sur la somme des fréquences spécifiques de toutes les espèces recensées le long

d'une ligne par la méthode d'analyse de la végétation dite des points contacts [Chap. II]

**Courbe aire-espèces** : graphique dont l'ordonnée représente l'évolution du nombre de taxons et l'abscisse la surface d'un groupement homogène dont on veut recenser le nombre de taxons. Elle permet la détermination de l'aire minimale (*cf.* aire-minimale)

**Densité** : nombre d'individus par unité de surface ou par unité de volume [Chap. II]

**Diamètre** : mesure de la largeur moyenne d'un végétal. [Chap. II]

**Diversité biologique** : *cf.* Biodiversité

**Diversité écologique** : généralement, nombre de types d'unités écologiques différents dans un espace donné. Il est souvent accessible par le nombre de 'cartouches' de la légende de la carte la plus précise à ce sujet [Chap. IV]

**Diversité structurelle** : associée à la diversité écologique, elle relève par exemple la dimension moyenne d'un type d'unité et indique la plus ou moins grande fragmentation d'un espace [Chap. IV]

**Echantillonnage** : ensemble des opérations qui ont pour objet de relever dans une population les individus devant constituer l'échantillon représentatif [Chap. II]

**Ecosystème** : ensemble constitué du milieu physico-chimique (biotope) et des êtres vivants qui le peuplent (biocénose)

**Etat de surface** : composition et organisation de la surface du sol à un instant donné. Il prend en compte les divers éléments : croûtes de battance, efflorescences salines, pierrosité, et toutes autres organisations superficielles, mais aussi le recouvrement du sol par les algues, les mousses, etc. [Chap. II]

**Fréquence** : rapport entre le nombre de points où une espèce est présente et le nombre total de points étudiés [Chap. II]

**Hauteur** : hauteur moyenne des individus, mesurée en cm [Chap. IV]

**Nécromasse** : quantité d'organes morts (ex. végétation) par unité de surface à un moment donné [Chap. II]

**Paysage** : un assemblage d'écosystèmes interagissant d'une manière qui détermine des patrons spatiaux qui se répètent et sont reconnaissables (Forman & Godron, 1981) [Chap. IV]

**Phytovolume** : volume de la végétation ; il est mesuré par la hauteur et le diamètre de la plante [Chap. II]

**Radiométrie** : enregistrement des différentes réponses spectrales des composantes de la surface du sol. Ces signatures spectrales serviront à établir la discrimination entre le sol et la végétation [Chap. II]

**Recouvrement d'une espèce** : proportion de la surface du sol couverte par la projection verticale des organes aériens de cette espèce. Elle est évaluée à partir de la fréquence. (cf. Fréquence)

**Région** : territoire géographique étendu ayant des caractéristiques propres dans les domaines de la flore, de la faune et des conditions naturelles (sols, climat, etc.) [Chap. I]

**Station** : unité écologique élémentaire définie par des conditions écologiques homogènes et où se développe un groupement végétal bien déterminé [Chap. I]

**Suivi [cf. surveillance]** : le suivi concerne de fait la mesure de l'évolution possible d'un élément et s'adresse le plus souvent à un certain nombre de paramètres dits 'indicateurs' [Chap. I à IV]

**Surveillance** : la méthodologie se fonde sur le fait qu'il est possible de détecter, pour chaque paramètre (indicateur) mesuré un seuil de valeur au-delà duquel l'on considère que les changements sont significatifs. Il est alors possible par exemple de déclencher un système d'alerte [Chap. I à IV]

**Valeur énergétique** : du point de vue nutritionnel, la valeur énergétique d'une espèce, c'est sa valeur alimentaire ou nutritive qui dépend de la digestibilité de la matière organique, et de sa composition chimique (azote et autres éléments minéraux) [Chap. II]

**Valeur pastorale** : indice caractéristique de la valeur d'un pâturage qui tient compte de l'abondance des espèces, mesurée par leur contribution spécifique, et de leur qualité, mesurée par l'indice spécifique (Djebaili et *al.*, 1992). Il est le plus souvent déterminé par enquêtes auprès des éleveurs [Chap. II]

**Zonage** : désigne la subdivision d'un domaine géographique en secteurs homogènes, compte tenu de certains critères qui attribuent à chaque zone définie des fonctions spécifiques [Chap. I]

**Zone sensible** : espace écologiquement fragile où des actions de développement ne peuvent être menées sans tenir compte de sa spécificité [Chap. I]



## Liste des figures

Figure 1 : schéma des démarches proposées .....	47
Figure 2 : dispositif de superficies croissantes en m <sup>2</sup> (doublement à chaque étape) pour la détermination de l'aire minimale .....	53
Figure 3 : diverses expressions mathématiques des données d'une courbe aire-espèces (Daget & Poissonet, 1969) .....	54
Figure 4 : abaque donnant l'intervalle de confiance en fonction de la fréquence ...	63
Figure 5 : variations du nombre total de taxons et de la somme des fréquences spécifiques dans le temps(in Jacquard et al., 1968) .....	64
Figure 6 : graphique de l'expression synthétique (par catégories) Floret et al. 1987. .	74
Figure 7 : exemple de diagramme synthétique de D.M. de Vries représentatif d'herbages échantillonnés en Margeride – France (in Daget & Poissonet 1971). .....	74
Figure 8 : relation entre valeur pastorale et productivité pastorale dans quelques unités de végétation pastorale steppique du Sud oranais, Algérie (in Aïdoud et al., 1982). .	84
Figure 9 : fiche descriptive de terrain .....	137
Figure 10 : fiche de relevé selon la méthode des points-quadrats .....	155
Figure 11 : jauge de Cooper .....	156
Figure 12 : corrélation entre la phytomasse aérienne de <i>Seriphidium herba-alba</i> et le nombre de contacts (CSP) observé sur le diamètre moyen (Joffre, 1978) .....	165

## Liste des tableaux

Tableau 1 : mesures et observations Roselt/OSS aux différents niveaux de perception et d'organisation de l'espace et du vivant .....	18
Tableau 2 : distinction entre les grands types de végétaux.....	22
Tableau 3 : codification de la structure verticale (strates de hauteur).....	23
Tableau 4 : codification de la structure horizontale (recouvrement total).....	24
Tableau 5 : codification du degré d'artificialisation .....	27
Tableau 6 : exemple de construction d'un tableau d'échantillonnage .....	38
Tableau 7 : les paramètres et les méthodes de mesures ou d'observations .....	49
Tableau 8 : dépouillement et interprétation des données brutes recueillies (bordereaux d'enregistrement de terrain) par la méthode 'point-quadrat'.....	73
Tableau 9 : récapitulatif des paramètres à relever .....	116





#### **Roselt/OSS**

*(Réseau d'observatoires de surveillance  
écologique à long terme)*

Centre IRD Roselt/OSS - BP 64501 FR - 34394

Montpellier Cedex 5

France

Tel. : (33) 04 67 16 31 90

Fax : (33) 04 67 16 31 99

[www.roselt-oss.org](http://www.roselt-oss.org)



#### **OSS**

*(Observatoire du Sahara et du Sahel)*

Bd du Leader Yasser Arafat

BP 31 - 1080 Tunis, Cedex

Tunisie

Tel. : 216 - 71 - 20 66 33

Fax : 216 - 71 - 20 66 36

[www.oss-online.org](http://www.oss-online.org)



#### **IRD**

*(Institut de recherche pour le développement)*

Chef de file de la coordination régionale

ROSELT/OSS

Département Milieux et Environnement

IRD

213, rue La Fayette

FR - 75480 Paris Cedex 10

France

[www.ird.fr](http://www.ird.fr)



#### **DDC**

*(Direction du développement et de la coopération)*

Freiburgstrasse

130, 3003 Berne

Tel. : 41 31 322 34 75

Fax : 41 31 324 16 94

[www.ddc.admin.ch](http://www.ddc.admin.ch)