



HAL
open science

Guide technique du forestier méditerranéen français, chapitre 2 bis: évaluation des potentialités forestières

C. Ripert, M. Vennetier

► **To cite this version:**

C. Ripert, M. Vennetier. Guide technique du forestier méditerranéen français, chapitre 2 bis: évaluation des potentialités forestières. Cemagref éditions, pp.60, 2002. hal-02587528

HAL Id: hal-02587528

<https://hal.inrae.fr/hal-02587528v1>

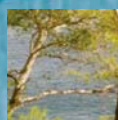
Submitted on 15 May 2020

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Évaluation des potentialités forestières



Guide
technique
du forestier
méditerranéen
français



Christian Ripert & Michel Vennetier

chapitre **2** bis



Unité de Recherche
Agriculture et
Forêt Méditerranéennes



Évaluation des potentialités forestières

Chapitre 2bis

Christian Ripert, Michel Vennetier

Guide
technique
du forestier
méditerranéen
français



Unité de Recherche
Agriculture et Forêt Méditerranéennes

BP 31 - Le Tholonet
13612 Aix-en-Provence cedex 1
tél. 04 42 66 99 10

Avec la participation financière de :



Conception, rédaction

Christian Ripert, Michel Vennetier

Cemagref Aix-en-Provence, Unité de Recherche Agriculture et Forêt Méditerranéennes
Avec la collaboration de l'Office National des Forêts (Daniel Nouals, Jean Ladier) pour les fiches 8 et 9
et de Guy Aubert, pédologue, pour les rubriques traitant du sol

Comité de pilotage

Bernard Guay (CRPF-PACA), Bernard Cabannes (CRPF-LR), Jean-Michel Ningre (DRAF/SERFOB-PACA),
Jean-Claude Boyrie (DRAF/SERFOB-LR), Albert Mailet (DRONF-PACA),
Bernard Fleury (DRONF-LR), Guy Benoît de Coignac (Association Forêt Méditerranéenne),
Michel Bariteau (INRA), Daniel Alexandrian (Agence MTDA)

Recherche iconographique

Catherine Tailleux

Pictogrammes originaux

Olivier Chandloux

Composition - réalisation

Éditions de la Cardère Morières (84)

Avertissement

Ce chapitre a été conçu pour un usage dans les **milieux méditerranéens français**. Les méthodes et solutions proposées peuvent trouver une application hors de ce domaine : elles restent sans doute largement valides dans les autres pays méditerranéens, mais seulement pour partie hors de la zone méditerranéenne. Nous laissons aux utilisateurs le soin de discerner ce qu'ils peuvent extrapoler sans risque à leur pays ou région. Les auteurs remercient d'avance tous les lecteurs qui voudront bien faire part de leurs remarques et critiques.

Référence : Ripert C., Vennetier M. *Évaluation des potentialités forestières*. Guide technique du forestier méditerranéen français, chapitre 2 bis. Éditions Cemagref Antony 2002, 61 p.

ÉDITIONS CEMAGREF

BP 44

92163 ANTONY cedex

tél. 01 40 96 61 29

© Irstea 2015 – ISBN version internet : 979-10-94074-03-9

© Cemagref 2002

ISBN 978-2-85362-605-9 (version papier)

© Le code de la propriété intellectuelle du 1er juillet 1992 interdit la photocopie à usage collectif sans autorisation des ayants droit. Le non-respect de cette disposition met en danger l'édition, notamment scientifique. Toute reproduction, partielle ou totale, du présent ouvrage, est interdite sans autorisation de l'éditeur ou du Centre français d'exploitation du droit de copie (CFC) 3 rue Hautefeuille, Paris 6^e.



Évaluation des potentialités forestières

Chapitre 2bis

Sommaire...

Présentation générale	INTRODUCTION	7
	PRINCIPES ET MÉTHODES	8









Les facteurs du milieu naturel	FACTEURS CLIMATIQUES	12
	FACTEURS ÉDAPHIQUES	17
	FACTEURS TOPOGRAPHIQUES	34
	FACTEURS ANTHROPIQUES	38
	LA VÉGÉTATION	43

Mise en œuvre de l'évaluation	PRÉPARATION DES ÉTUDES DE MILIEU	48
	RÉALISATION DES RELEVÉS DE TERRAIN	56

BIBLIOGRAPHIE	61
---------------	----



Sommaire général du guide

-  1. Conception des projets
-  2. Stations forestières
-  3. Essences forestières
-  4. Protection des forêts contre l'incendie
-  5. Protection phytosanitaire
-  6. Production de plants forestiers
-  7. Techniques de reboisement
-  8. Usages et fonctions multiples de la forêt méditerranéenne



Avant-propos

Le **chapitre 2** du Guide technique du forestier méditerranéen est consacré à l'approche analytique de l'écosystème forestier. Cette approche doit permettre aux gestionnaires de comprendre comment est structuré le milieu, quels en sont les principaux atouts et les principales contraintes, afin d'en déduire les potentialités forestières et en partie le fonctionnement écologique. Ce chapitre est constitué de deux volumes :

Le **premier volume**, publié en 1992, présente le découpage de la zone méditerranéenne française en petites régions naturelles.

Ce découpage est le fruit de la superposition d'une typologie climatique d'une part, de données géologiques, lithologiques et orographiques d'autre part. Il a été conçu pour que chaque petite région naturelle présente une certaine homogénéité écologique à l'échelle régionale. Les investigations approfondies de l'écosystème forestier sont ainsi plus faciles au sein des petites régions naturelles, où les variations des grands facteurs structurants du milieu sont réduites.

C. Tailleux

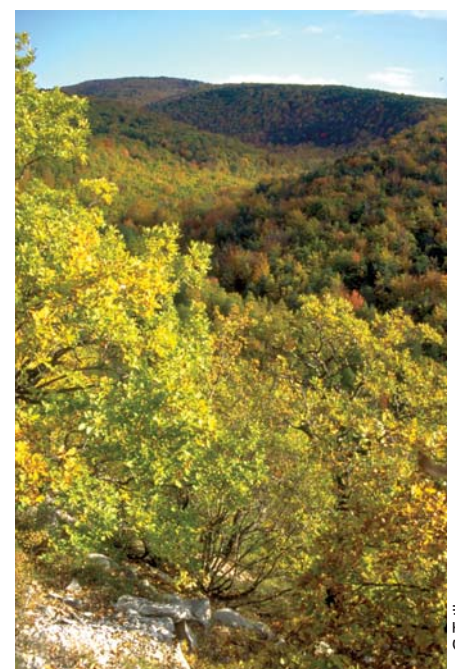


Le présent ouvrage est le **deuxième volume** de ce chapitre. Il a pour objectif de présenter les bases de la description de l'écosystème forestier dans sa réalité de terrain, à l'échelle locale, pour une étude approfondie.

Ce volume développe une approche spécifique à l'évaluation des potentialités forestières et de l'adaptation des essences au milieu. Cette approche s'appuie sur la notion de station forestière qui est l'unité élémentaire de description et de compréhension du milieu naturel et forestier. On trouvera dans ce volume les informations nécessaires pour décrire une station et les différentes méthodes ou procédures permettant de faire une analyse de milieu sur un domaine d'étude plus ou moins étendu.

Ce deuxième volume est divisé en trois parties principales :

- Une présentation sommaire du milieu méditerranéen, des principes généraux et des méthodes pour l'étude des potentialités forestières dans ce milieu.
- La description détaillée des variables du milieu qui doivent être prises en compte pour évaluer ces potentialités.
- Une aide pour la conception et la mise en œuvre d'études des potentialités forestières et de typologie de stations forestières.



C. Tailleux

Introduction

En région méditerranéenne, le forestier se heurte à plusieurs contraintes qui sont souvent plus sévères que dans le reste de la France : le climat, le sol, la faible rentabilité économique, et la forte demande sociale.

❖ Le climat méditerranéen est caractérisé essentiellement par sa sécheresse estivale, et la grande irrégularité des précipitations tant annuelles que mensuelles. Ces précipitations oscillent couramment de 30 à 200% autour de leur moyenne. De plus, mistral et tramontane accentuent le stress hydrique des végétaux.

❖ Par ailleurs, l'agriculture a colonisé depuis longtemps les meilleures terres, laissant à la forêt les sols les plus superficiels et les sites les plus accidentés. La pression humaine (voir encadré), couplée à la rudesse du climat, a plus qu'ailleurs dégradé ces sols.

❖ Enfin, en région méditerranéenne, la faible production de bois, peu rémunératrice, se combine avec une forte demande sociale, liée à des niveaux élevés d'urbanisation et d'industrialisation, ainsi qu'à une pression touristique parmi les plus fortes du monde.



C. Tailleux

Quelques caractéristiques de la forêt méditerranéenne

Le rôle prédominant du bilan hydrique

Il est lié aux périodes de forte sécheresse, principal facteur limitant de la croissance des végétaux. Il intervient par ses composantes climatiques, topographiques et édaphiques. Cette prédominance s'atténue avec l'altitude et la continentalité mais reste vraie tant que persiste une sécheresse estivale marquée.

Sauf cas particulier, le bilan trophique (richesse du sol en éléments nutritifs) est secondaire.

Une forte anthropisation

Depuis près de 6000 ans, l'homme a profondément modifié et façonné le milieu, de façon positive (construction de terrasses, épierreage, apports de fumure, plantations) ou négative (incendies, surpâturage, surexploitation, ramassage de litière... ouvrant la voie à l'érosion et à l'appauvrissement du sol).

Des forêts jeunes

La grande majorité des forêts méditerranéennes du début du XXI^e siècle est issue de la reconquête spontanée par les arbres, depuis le milieu du XIX^e siècle, sur des terrains abandonnés par l'agriculture. Il n'existe pas en France de forêt méditerranéenne au stade ultime de sylvigénèse en équilibre écologique avec le milieu (forêts subnaturelles). Au mieux trouve-t-on des peuplements datant d'un à deux siècles, ayant échappé au feu et plus rarement à une exploitation au moins partielle, ainsi qu'au pâturage. Certains taillis de chênes sont en place depuis plusieurs siècles mais ont été exploités intensément jusqu'au milieu du XX^e siècle. La plupart des peuplements sont en évolution rapide, dans leur structure comme dans leur composition floristique. Les incendies participent au rajeunissement de la forêt, notamment sur le littoral.



Étude du milieu : principes et méthodes

Les potentialités forestières d'un site se définissent par une liste d'essences adaptées à ce site, par la vitesse de croissance des arbres, et par la production de biomasse globale du site. L'objectif des outils présentés dans ce guide est de permettre une évaluation des potentialités forestières à partir de l'observation des facteurs du milieu, même en absence de végétation.

Les potentialités d'un site résultent de l'action combinée des nombreux facteurs du milieu (fig.1 et encadré) qui agissent en interaction. Les effets de ces facteurs peuvent s'ajouter (synergie) ou s'opposer (compensation).

Les facteurs abiotiques du milieu

On peut les classer en trois catégories :

Les facteurs climatiques déterminent les apports naturels d'eau et d'énergie dont peut bénéficier un territoire. Les valeurs excessives de certains paramètres météorologiques (gel, sécheresse, froid et chaleur extrêmes, etc.) peuvent être limitantes pour la végétation.

Les facteurs édaphiques caractérisent le support de la végétation (substrat) que celle-ci explore pour s'ancrer et se nourrir, et où circulent l'eau et les éléments nutritifs. Le sol et la partie supérieure du sous-sol sont concernés.

Les facteurs topographiques sont définis par la position de la station dans le relief. Cette position agit directement sur la circulation de l'eau, et sur les déplacements de matériaux en surface ; en fonction de l'exposition et de la pente, elle détermine l'énergie solaire reçue par unité de surface mais aussi l'intensité et la direction des vents.

Les facteurs abiotiques sont liés aux caractéristiques purement physiques et chimiques d'un site.

Les facteurs biotiques, par opposition, représentent l'action des êtres vivants : structure de la végétation, rôles de la microfaune et de la microflore, pression des herbivores, des parasites, des maladies. Les facteurs biotiques et abiotiques sont souvent en interaction : effet du peuplement sur le microclimat et l'humus, de la microfaune et de la microflore sur la porosité et la composition chimique du sol et de l'humus, du climat sur la virulence des maladies, etc. Lorsque l'action des facteurs biotiques modifie les facteurs abiotiques, elle peut changer globalement la potentialité des sites ; il est utile de la comprendre et de la reconnaître. Certains facteurs biotiques (parasites, maladies, herbivores) ne modifient la potentialité des sites que pour une ou quelques essences, de façon variable ou réversible.

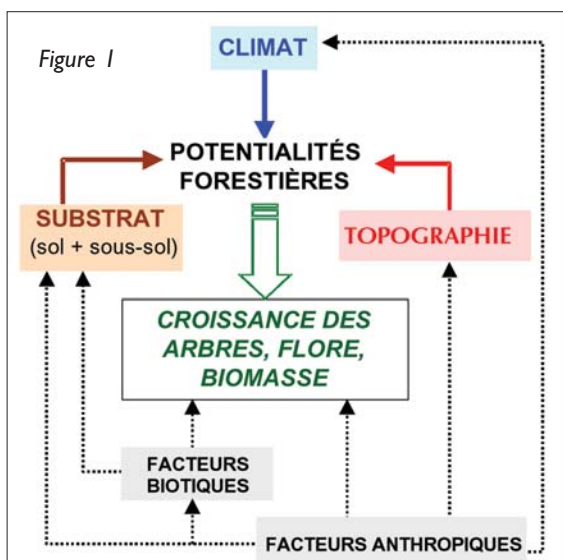
Les facteurs anthropiques. Ce sont les modifications du milieu qui sont imposées par l'action de l'homme. Ces facteurs agissent sur la forêt :

- indirectement en modifiant des facteurs du milieu naturel, par exemple aménagement de terrasses modifiant la topographie et la profondeur du sol, pollution agissant sur le climat et la fertilité du sol, pompage d'eau modifiant les nappes...
- directement, sur la végétation elle-même : sylviculture, débroussaillage, exploitation, plantation, incendie, pâturage.

La flore

En théorie, la flore apporte une information synthétique sur le milieu, en intégrant l'ensemble des facteurs naturels et leur variabilité interannuelle. Cette information est fonction :

- ❖ de la précision de l'observation :
 - à l'échelle régionale, elle reflète les grands gradients écologiques à travers la distinction d'étages de végétation. Ces étages correspondent à des groupes d'essences dominantes et à des cortèges floristiques moyens, liés à des grands types climatiques.
 - à l'échelle locale, la composition floristique d'un site et la vigueur des plantes intègrent tous les facteurs descriptifs du milieu, régionaux et locaux.
- ❖ du niveau de perturbation de la flore. La forêt méditerranéenne est rarement en équilibre avec le milieu. Sa composition floristique, si elle dépend du milieu, dépend aussi de l'ancienneté et de la fréquence des perturbations anthropiques, et des antécédents agri-



coles du site. Il est donc rare que la flore reflète fidèlement les potentialités d'un site. Bien qu'elle puisse aider au diagnostic des potentialités forestières et confirmer la pertinence de limites décelées avec d'autres critères, il faut toujours la considérer avec prudence. Il existe différentes manières d'aborder les études de milieu suivant l'échelle, la précision recherchée ou l'objectif poursuivi. Mais toutes sont basées sur les mêmes principes de description et d'analyse des facteurs du milieu.

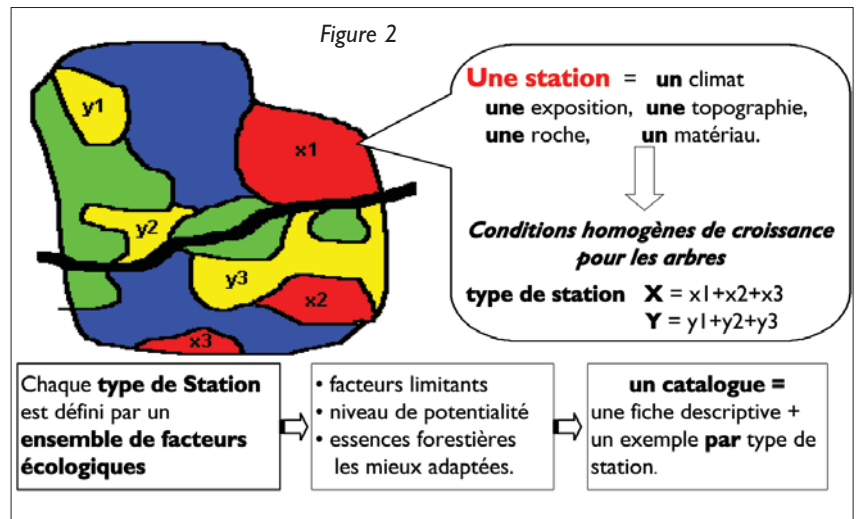
Notion de station forestière (fig.2)

On appelle « **station forestière** » une zone suffisamment homogène dans ses conditions physiques et biologiques pour que les végétaux trouvent sur toute sa surface des conditions égales de survie et de croissance.

La taille d'une station varie de quelques mètres carrés à quelques dizaines d'hectares suivant la variabilité du milieu et la précision souhaitée par l'utilisateur. Elle est généralement de l'ordre de quelques ares dans les sites à topographie chahutée, et de plusieurs dizaines d'ares à quelques hectares en plaine ou sur grand versant homogène.

La station forestière est l'unité élémentaire pour décrire et cartographier le milieu à l'échelle de la gestion forestière.

Une forêt est une mosaïque de stations contiguës.



Les outils d'étude et de description utilisant la notion de station

Typologie de stations forestières

Après avoir bien défini les stations d'une zone d'étude, on peut regrouper celles qui se ressemblent en un nombre limité de **types de stations**.

Ces types peuvent être synthétisés sous forme de fiches décrivant les facteurs du milieu qui les caractérisent, et précisant leurs potentialités. L'ensemble de ces fiches, accompagné d'une clef de détermination des types, constitue un **catalogue de stations**. La clef permet de rattacher n'importe quel lieu de la zone d'étude à l'un des types, à partir d'observations de terrain.

Les catalogues de stations sont réalisés sur des surfaces dépendant de la précision recherchée et des moyens engagés : ils varient du massif forestier à la petite région naturelle (1 000 à 120 000 ha). Pour de plus petites surfaces, une typologie n'est généralement plus nécessaire à cause du nombre réduit de stations, et une description exhaustive peut être réalisée sans surcoût ; les principes de travail restent les mêmes.

L'**échelle d'étude** et de cartographie des stations dépend de la précision recherchée, généralement celle des aménagements forestiers : entre 1/10 000 et 1/25 000.

Un **catalogue de stations** permet la description exhaustive d'un domaine d'étude. C'est un outil pratique de cartographie et de gestion forestière permettant de réaliser un diagnostic écologique et de connaître les aptitudes du milieu, quel que soit l'objectif : production de bois, protection des sols, paysage, patrimoine, etc.

Étude autécologique

Elle consiste à rechercher, pour une essence choisie, les relations entre sa croissance et les facteurs descriptifs du milieu. On étudie parfois aussi la qualité du bois, la régénération ou l'état sanitaire en fonction du milieu.

L'échantillonnage est basé sur les boisements existants de l'espèce étudiée. Il n'est donc pas toujours exhaustif vis-à-vis de la variabilité écologique totale du domaine d'étude.

Le protocole d'observation est le même que pour une typologie de stations, mais comporte en plus des mesures spécifiques à l'objectif de l'étude (dendrométriques, état sanitaire, par exemple). Comme pour une typologie, on agrège les milieux qui présentent à la fois les mêmes potentialités vis-à-vis de l'essence étudiée et les mêmes caractéristiques écologiques.

L'**échelle de travail** concerne des grandes régions (zone méditerranéenne française) ou quelquefois des secteurs plus homogènes (ex : pin d'Alep ou cèdre en Provence caennaise). Lorsque l'espèce est peu abondante, on peut être réduit à l'étudier sur des petites surfaces discontinues et disséminées dans plusieurs régions (pin de Salzmann).

L'étude débouche sur une clé autécologique. C'est un outil d'aide à la décision permettant de définir, pour les différents milieux étudiés, le niveau d'adaptation de l'espèce, sa productivité, la qualité de son bois, etc. L'extrapolation aux milieux où l'espèce n'est pas présente (et qui n'ont donc pas pu être évalués), doit être faite avec beaucoup de prudence, surtout en limite d'aire de répartition de l'espèce.

Relations station-production

Dans ces études, on cherche à mettre en relation les types de stations d'un catalogue et la production d'une ou plusieurs essences, soit par une étude spécifique après réalisation du catalogue, soit par croisement d'un catalogue et d'études autécologiques.

Modélisation du bilan hydrique (à partir des relations végétation-milieu)

Cette méthode a été développée par le Cemagref spécialement pour les régions méditerranéennes. En 2002, elle est validée sur 7 000 km² de la Provence calcaire Ouest. Elle pourrait être étendue ultérieurement à toute la zone méditerranéenne française.

Son objectif est d'évaluer la potentialité forestière uniquement sur des facteurs abiotiques du milieu, afin de s'affranchir des conséquences des incendies et autres perturbations sur la flore.

Cette évaluation se base sur un **modèle de bilan hydrique**. L'eau est en effet de très loin le facteur le plus limitant pour la végétation dans les régions concernées ; le bilan en eau d'une station est donc déterminant pour sa potentialité forestière.

Base scientifique et méthodologie

La méthode se base sur un réseau régional de plusieurs centaines de placettes, représentatives des principaux gradients écologiques régionaux. Ces placettes ont été choisies dans des forêts anciennes n'ayant subi ni exploitation, ni incendie, ni autre perturbation majeure depuis trente ans ou plus. Dans cette situation, rare en zone méditerranéenne, la flore est assez représentative du milieu. Elle traduit notamment très bien le gradient de bilan hydrique, grâce à des méthodes statistiques appropriées (fig.3).

On peut classer les placettes dans ce gradient de bilan hydrique à partir de leur inventaire floristique. Puis on explique ce classement « floristique » grâce aux variables du milieu, relevées de façon très détaillée sur le terrain. On bâtit ainsi un modèle permettant de prédire le bilan hydrique à l'aide des seules variables abiotiques.

Ce modèle peut ensuite être utilisé sur l'ensemble du territoire concerné pour prédire le bilan hydrique d'un site, et les potentialités forestières, quel que soit l'état de sa végétation.

Le modèle a deux composantes : une composante climatique calculée à l'échelle régionale avec une résolution de 50m x 50m, et une composante topographique et édaphique qui doit être calculée à partir des relevés sur chaque station.

Utilisation sur le terrain

L'usage de cette méthode s'appuie sur trois documents :

- une carte de la composante climatique du modèle (indice climatique). Elle permet, à l'aide d'un SIG, de donner la valeur de l'indice climatique de chaque station, connaissant sa localisation. Pour l'évaluation des potentialités forestières, on peut se contenter généralement d'utiliser la carte simplifiée en neuf classes tirée à une échelle adaptée sur un fond IGN (fig.4) ;

- une clef de détermination de l'indice topographique et édaphique.

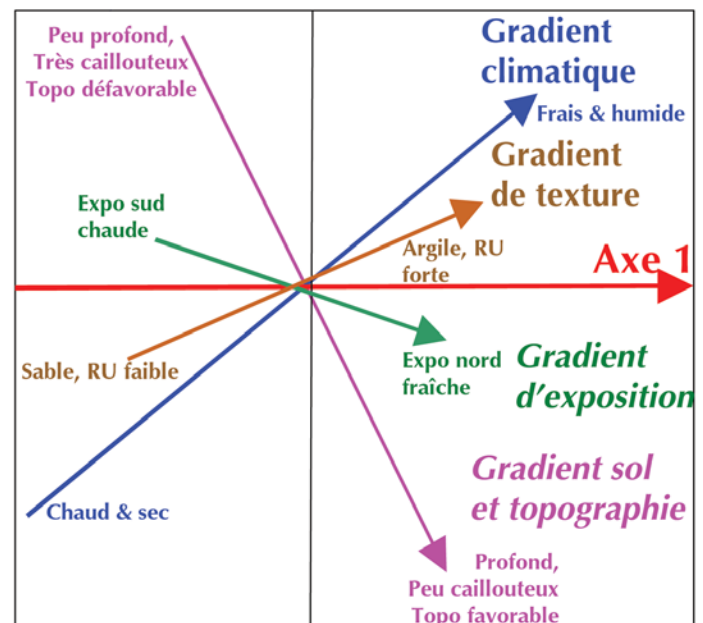
L'indice de bilan hydrique global d'une station est la somme des deux indices (climatique et topo-édaphique) ;

- un tableau de correspondance à double entrée entre les deux valeurs d'indices ci-dessus et la productivité des principales espèces forestières méditerranéennes.

Cette méthode a l'avantage d'être extrapolable facilement à toute partie du territoire qui présente des combinaisons de variables du milieu semblables à celles de la zone d'étude. Pour la même quantité de travail, elle permet de traiter des surfaces cinq fois plus grandes que la typologie de stations, et de faire le lien avec la croissance des arbres. Elle permet aussi de comparer objectivement des stations éloignées et très différentes.

Figure 3. Interprétation de l'AFC sur la flore des placettes

On a quatre gradients concordants allant de la gauche (niveau le plus chaud ou le plus sec) vers la droite (niveau le plus frais ou le plus humide)



L'axe 1 est la résultante des 4 gradients, c'est le BILAN HYDRIQUE GLOBAL

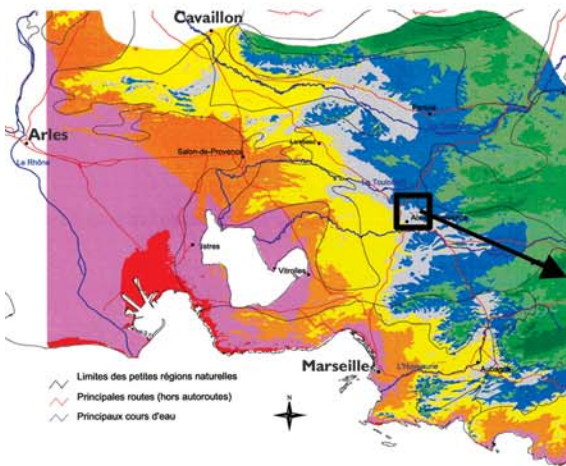
Découpage de la région méditerranéenne française en petites régions naturelles

Ces petites régions définissent des portions de territoires qui présentent une certaine homogénéité climatique et physique (substrat, relief) entre les échelles 1/100 000 et 1/500 000. Le découpage est établi sur des régions administratives ou naturelles.

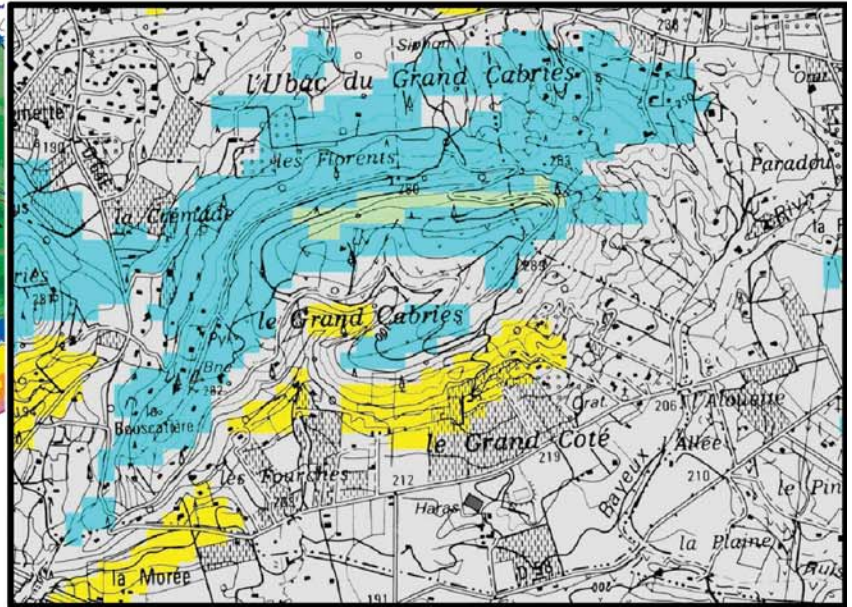
Ce travail, décrit dans le premier volume du chapitre 2 de ce guide, sert de cadre pour diverses études de milieu (typologie, autécologie...). Il sert plus généralement de base de réflexion pour des décisions nécessitant l'appréciation des variations écologiques au niveau régional (orientations de politique forestière, cahier des charges de travaux...).

Figure 4. Modèle de bilan hydrique, usage sur le terrain

Carte régionale du bilan hydrique climatique



1 - Zoom de la carte régionale à l'échelle de la zone étudiée sur fond IGN. Il permet de se situer dans une **classe d'indice climatique**.



2 - Une clef (ci-dessous) permet de déterminer la valeur de **l'indice topo-édaphique**.

		facteurs défavorables				facteurs neutres				facteurs favorables				
TOPOGRAPHIE	topographie générale	sommet	croupe	-14	haut de pente	-6	pente	-3	plateau	0	bas pente	10	vallon vallée	18
	topographie stationnelle				convexe	-8			plan	0			concave	8
	banquettes								absence	0			présence	13
	pente du terrain						> 27° ou 50%	-1	< 27° ou 50%	0				
ROCHE	affleurement rocheux	>= 30%		-8	10 - 30%	-3	1 - 10%	-1	0	0				
	affleurement de cailloux				>= 30%	-3	10 - 30%	-2	1 - 10%	0	0	2		
	pendage / pente (sur altérite et colluvion < 80 cm)						défavorable	-1	neutre	0	favorable	1		
	Diaclases (sur altérite et colluvion < 80 cm et pendage défavorable ou neutre)						absentes	-2	quelques	0	nombreuses	3		
MATÉRIAU	matériau de référence	roche		-4	altérite	-2	lapiaz	-1			colluvium	5		
	HCI terre						forte	-2	faible	0	nul	3		
	éléments grossiers	>= 90%		-7	60-90%	-3			30-60%	0	< 30%	4		
	plaquettes horizontales				présentes	-6			absentes	0				
	réserve utile / texture **	<= 0,7mm/cm		-10	1 à 1,3	-3			1,35 à 1,6	0	1,7 à 1,95	5	2	10
PROFONDEUR	épaisseur de la colluvion				absent	-2	5-20 cm	-1	25-50 cm	0	> 50 cm	3		
	profondeur totale	0-20 cm		-12	25-45 cm	-5			50-75 cm	0	75-100	5	> 100 cm	10
	tests tarière						0-20 cm	-2	21-40 cm	0	41-75cm	2	> 75 cm	3

Indice topo-édaphique	=		+		+		+		+		+		+	
-----------------------	---	--	---	--	---	--	---	--	---	--	---	--	---	--

3 - L'indice de bilan hydrique = indice climatique + indice topo-édaphique de la station. Il permet de comparer des stations éloignées et très différentes. A partir des deux indices, des tableaux à double entrée servent à évaluer la potentialité du milieu pour les 15 principales essences forestières méditerranéennes, en 4 classes de productivité (ci-dessous exemple du pin d'Alep : la classe 1 est la meilleure, la 4 correspond à une zone de survie difficile et de croissance très faible).

indice Climatique			Pin d'Alep	Indice topo-édaphique														
moy	min	max		extrême	très défavorable		défavorable		moyen		favorable		très favorable		exceptionnel			
-6.5	-8.0	-5.0	plage rouge	-16.4	4	-12.5	4	-9.5	3	-7.5	2	-5.5	2	-3.5	2	-0.5	1	3.3
-4.3	-5.0	-3.6	plage rose	-13.4	4	-10.3	4	-7.3	3	-5.3	2	-3.3	2	-1.3	1	1.7	1	4.7
-2.9	-3.6	-2.2	plage orange	-12.0	4	-8.9	3	-5.9	2	-3.9	2	-1.9	1	0.1	1	3.1	1	6.1
-1.4	-2.2	-0.5	plage jaune	-10.6	4	-7.4	3	-4.4	2	-2.4	2	-0.4	1	1.6	1	4.6	1	7.8
0.0	-0.5	0.5	plage grise	-8.9	3	-6.0	3	-3.0	2	-1.0	2	1.0	1	3.0	1	6.0	1	8.8
1.3	0.5	2.2	plage bleu	-7.9	3	-4.7	3	-1.7	2	0.3	2	2.3	1	4.3	1	7.3	1	10.5
3.0	2.2	3.8	plage verte clair	-6.2	3	-3.0	3	0.0	2	2.0	2	4.0	1	6.0	1	9.0	1	12.1
4.9	3.8	6.0	plage verte	-4.6	3	-1.1	3	1.9	2	3.9	2	5.9	1	7.9	1	10.9	1	14.3
7.5	6.0	11.0	plage verte foncé	-2.4	4	1.5	4	4.5	3	6.5	2	8.5	2	10.5	2	13.5	2	19.3



Les facteurs climatiques

Le climat méditerranéen est défini par la conjonction d'un été chaud et sec et d'un hiver frais et humide. En France, ces caractéristiques s'accompagnent de vents secs, forts et fréquents, qui déterminent un fort ensoleillement.

Le climat méditerranéen

La pluviométrie

Plus ou moins abondante suivant les zones, elle est surtout très irrégulière aux cours de l'année ainsi que d'une année à l'autre (fig.5)

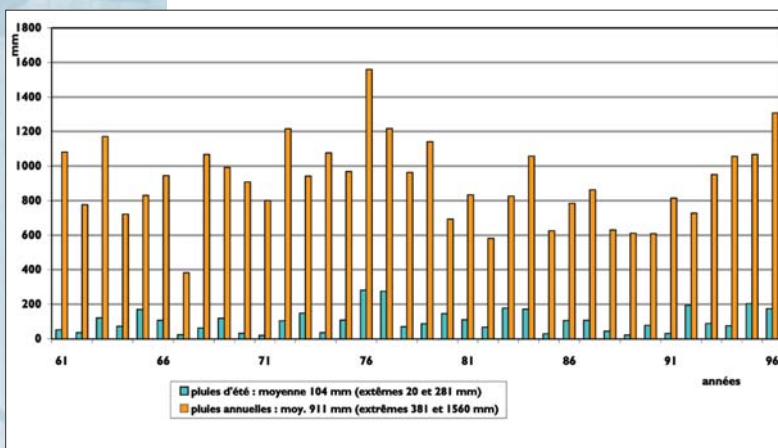


Figure 5. Variation de la pluviométrie annuelle à Brignoles entre 1961 et 1996

Les précipitations annuelles ne sont pas plus faibles qu'en d'autres régions françaises, mais elles sont plus violentes et tombent en deux fois moins de jours (tab.1).

régions	méditerranéenne		Bassin Parisien	Bordelais	Bretagne intérieure	plaine d'Alsace
	basse	arrière-pays				
altitude moy.	0- 400m	400-1000m	100-200m	50-100m	200-300m	100-300
pluie moy./an	500-800	900- 1100	500-700	800-900	1000 -1200	500- 800
nb j > 1 mm	50-60	70-80	110	120	140-150	110-120
pluie d'été	100	130	100	180	190	210
nb j > 1 mm	10	10	24	22	25	30
ensoleillement	2900 h/an	2700	1800	2100	1700	1600
jours de gel	< 40	< 60	60 à 80	20 à 40	20 à 60	80 à 100
moy. janvier	7	3	2	5	5	-2
moy. juillet	23	20	18	20	17	18

Tableau 1. Comparaison de quelques climats en France

Les températures

Elles sont douces : moyennes annuelles de 13 à 17°C sur le littoral et en plaine, descendant jusqu'à 9°C en montagne. La Méditerranée atténue les amplitudes thermiques et élève la température moyenne. Dans l'arrière-pays, les amplitudes journalières et saisonnières sont très fortes. Des accidents climatiques (grands froids ou vagues de chaleur) se produisent régulièrement.

La combinaison de la pluie (P) et de la température (T) permet de définir les périodes de **sécheresse** (fig.6).

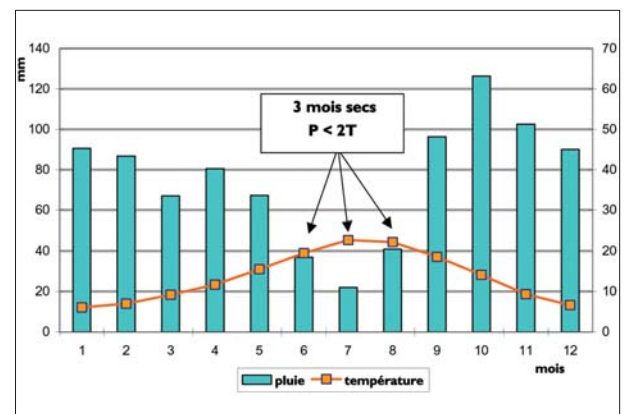


Figure 6. Courbe ombrothermique de Brignoles : moyenne 1961-1996

Vent et ensoleillement

Les vents dominants de secteur nord-nord-ouest (mistral, tramontane) sont froids, secs et souvent violents. Ils accroissent le stress hydrique et entretiennent un ciel dégagé (2 900 h de soleil par an). Moins fréquents, les vents venant de la Méditerranée peuvent aussi être violents. Ils apportent pluie et humidité, surtout en automne et au printemps, mais aussi des orages en été.

Climat méditerranéen montagnard

Il apparaît sur les premiers reliefs des Alpes du sud, des Cévennes et des Pyrénées, au-dessus de 900 m. Les précipitations y sont plus abondantes que près des côtes, mais restent très irrégulières, avec des chutes de neige variables d'une année à l'autre. Les températures y sont plus fraîches avec de fortes amplitudes. L'ensoleillement y reste remarquable et la sécheresse d'été, sans être systématique, y est fréquente.

Climats voisins

Sur les parties les plus excentrées des départements méditerranéens, on passe à d'autres climats : *climat continental humide*, pluvieux et froid l'hiver dans le nord de la Lozère, *climat océanique altéré* avec des pluies fréquentes réparties sur toute l'année dans l'ouest de l'Aude et sur les reliefs occidentaux (Montagne Noire, Aubrac).

Les données climatiques

Il peut s'agir de données de base (ex : t° moyennes annuelles) ou d'indices synthétiques destinés à décrire les climats et les classer. Pour une analyse détaillée du climat méditerranéen et de ses variantes, se reporter au premier volume de ce chapitre (*Découpage de la zone méditerranéenne française en petites régions naturelles*).

Rappel : afin de gommer la forte variabilité interannuelle, les normales pluviométriques se calculent avec les moyennes sur trente ans, les normales thermiques, sur dix ans. Mais ces normales cachent des variations cycliques de moyenne fréquence (trois à dix ans) et des accidents exceptionnels.

La pluviométrie

La pluviométrie moyenne annuelle permet de comparer différentes régions mais elle n'est fiable que sur des longues périodes, car elle est très variable. De plus, la répartition saisonnière des pluies peut varier beaucoup d'une région à l'autre (types pluviométriques) et encore plus d'une année à l'autre pour la même région.

Les pluies d'été (juin à août) sont particulièrement faibles, au moment où l'évapotranspiration et donc les besoins hydriques des végétaux sont maximums. Elles constituent le principal facteur limitant du climat méditerranéen.

Les pluies automnales et hivernales reconstituent les réserves hydriques du sol, qui se sont vidées en été. Elles sont souvent violentes. Les premières grosses pluies de fin août ou septembre mettent fin à la sécheresse d'été. Si elles sont précoces, elles permettent aux arbres de réaliser une reprise de croissance en hauteur, et parfois en diamètre (cela se traduit par un « faux cerne » observable sur la section des arbres).

La température

La température moyenne annuelle définit le contexte thermique local. Moins irrégulière que la pluie, elle doit quand même être précisée avec les variables suivantes.



Moyenne des maxima du mois le plus chaud (M) et moyenne des minima du mois le plus froid (m) : elles font ressortir des contraintes fortes pour la végétation. L'amplitude (M-m) s'accroît avec la distance à la mer au sein du climat méditerranéen.

Minima et maxima absolus : leurs valeurs peuvent dépasser des seuils critiques pour la végétation. Vers le bas, ce sont les plantes strictement méditerranéennes qui sont affectées par les gelées trop fortes (pin d'Alep, olivier...). Vers le haut, ce sont les plantes de climats plus froids, en limite inférieure de leur aire, qui souffrent de chaleur et de sécheresse excessives (pin sylvestre, hêtre, orme...).

Le vent

On dispose rarement de données sur le vent (nombre de jours, intensité, direction) à l'échelle locale. L'extrapolation à partir des stations météo doit être prudente et tenir compte du relief et de la topographie. Le vent exerce de nombreuses contraintes limitant la potentialité forestière :

- un effet desséchant, accroissant le stress hydrique, particulièrement en été ;
- des effets mécaniques : sur les houppiers, l'agitation des branches et les chocs qu'elle occasionne détruisent des bourgeons, limitent la croissance des branches et des aiguilles, entraînent des bris de cimes ou de branches. La hauteur moyenne des arbres dans les sites très ventés peut être inférieure de plusieurs mètres à celle de stations identiques mais protégées. Les arbres sont fréquemment inclinés ou déracinés à l'occasion d'épisodes violents.

L'étude des ripisylves de l'Aude a montré qu'une majorité des arbres adultes présentait des dégâts directement attribuables au vent, et que la tramontane était un des facteurs les plus actifs de la régénération continue de cette formation végétale.

Près de la côte, les embruns transportés par le vent ont un effet toxique direct par contact sur les feuilles et aiguilles, et provoquent une salinisation des sols qui limite aussi la croissance des végétaux. Dans les cas extrêmes, seules quelques espèces peuvent survivre.

Autres variables climatiques

Les nombres de jours de pluie et de gel, l'ensoleillement, etc., permettent de mieux caractériser le climat et de définir des contraintes locales particulières.

Deux valeurs mensuelles sont aussi utilisées :

- **Nombre de mois froids** : deux seuils ont été définis, correspondant respectivement à des températures moyennes mensuelles de + 7°C (mois froid) et - 3°C (mois très froid).

- **Nombre de mois secs** : un mois est sec quand ses précipitations, en mm, sont inférieures au double de sa température moyenne en °C : $P < 2T$ (fig.6). Le nombre moyen de mois secs décroît de quatre à zéro entre le littoral méditerranéen et l'intérieur des terres. Il décroît également avec l'altitude. Dans les mauvaises années, il peut atteindre et même dépasser six près des côtes.

Les indices synthétiques

Ils sont calculés à partir des données de base, et permettent de mieux caractériser et comparer les climats.

Coefficient d'Emberger

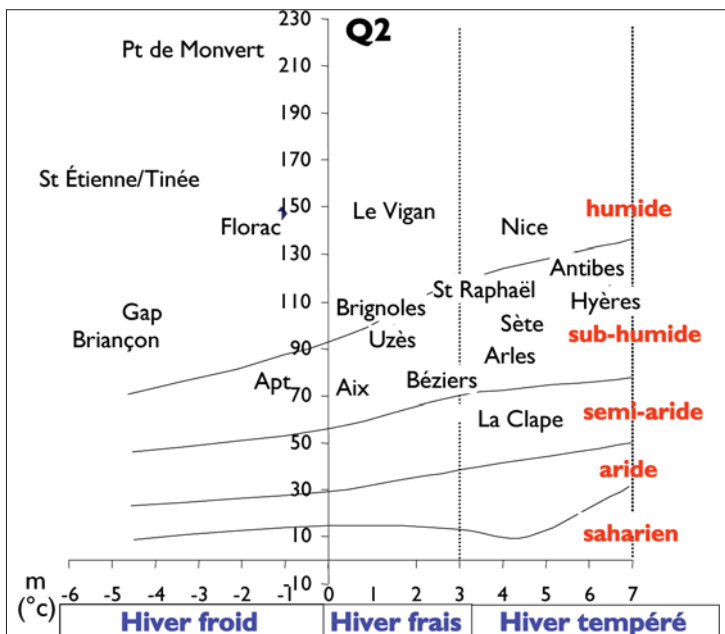
Il exprime la sécheresse globale d'un climat en comparant la dépense en eau (évaporation et transpiration) au gain (précipitations).

$$Q2 = \frac{2000P}{(M + m + 546)(M - m)}$$

P : pluie moyenne annuelle
M et m sont définis en page précédente

Ce quotient varie de 50 à 220 en région méditerranéenne française (fig.7). Il permet de replacer la station sur un climagramme comprenant en ordonnée le coefficient d'Emberger et en abscisse la valeur de m.

Figure 7. Climagramme d'Emberger



Sur ce climagramme, on distingue cinq étages climatiques : saharien et aride, (non représentés en France), semi-aride, sub-humide, humide. Les variations de m permettent de subdiviser chacun des cinq étages en variantes à hiver chaud (non représenté en France), tempéré, frais, et froid.

Indice de xéricité d'Emberger (S)

Il est aussi appelé indice de sécheresse estivale. Il permet d'évaluer l'état d'aridité d'un climat méditerranéen.

$$S = \frac{\text{pluie d'été}}{M}$$

- $S < 5$: climat typiquement méditerranéen, deux à trois mois secs ;
- $5 < S < 7$: climat méditerranéen avec un seul mois sec ;
- $S > 7$: climat méditerranéen sans mois sec.

Les types climatiques du Cemagref

Ils sont définis dans le premier volume de ce chapitre. On distingue huit indices pluviométriques et sept indices thermiques. Ils permettent de caractériser et de comparer entre eux les climats des petites régions naturelles.

Variations locales du climat

Le climat d'une station est déterminé à plusieurs échelles. Le climat général de sa petite région naturelle donne les principales tendances (types climatiques). Ce climat global est modifié de façon sensible à une échelle intermédiaire par des facteurs géographiques, liés à l'altitude et aux principaux reliefs, et la topographie qui apporte des nuances à l'échelle locale.

Influence des variables géographiques

L'altitude

La température est étroitement corrélée à l'altitude. Le gradient thermique moyen en France est de 0,6°C par 100 m de dénivellé. Le relief joue donc un rôle clef dans le climat.

Le relief

Dans les sites à versants abrupts et à fort dénivellé, des inversions de température peuvent se produire localement par l'effet de convections d'air chaud le jour, et de coulées d'air froid la nuit. Certaines vallées sont ainsi exposées à des gelées fortes et tardives malgré leur faible altitude.

Le relief joue également sur la pluie, à travers les effets de convection – les massifs montagneux sont plus arrosés que les plaines – et de fœhn – les vallées entourées de montagnes peuvent être assez sèches suivant leur orientation par rapport aux vents amenant la pluie.

La distance à la mer

La Méditerranée influence directement la température (réduction des amplitudes, accroissement de la moyenne annuelle). Cette influence est très forte dans les premiers kilomètres près des côtes et décroît ensuite rapidement, mais elle peut se faire sentir sur plusieurs dizaines de kilomètres en absence de relief. Des reliefs de quelques centaines de mètres d'altitude parallèles à la côte suffisent à limiter son influence à une mince frange littorale.

L'altitude du masque

C'est l'altitude moyenne du relief le plus élevé entre une station et la côte. Les reliefs constituent un écran face aux influences maritimes, et accroissent la continentalité du climat. Cette variable a une importance particulière en Provence où des massifs montagneux élevés et parallèles à la côte se trouvent à faible distance de la mer (Maures, Sainte-Baume, Étoile...).

Distance à la mer et altitude du masque doivent être mesurées dans des directions correspondant aux vents apportant les influences maritimes.

Exemple : directions utilisées pour la Provence Ouest

157 grades pour tenir compte des entrées d'air humide en provenance du golfe de Gènes, notamment à l'automne.

247 grades pour tenir compte de l'orientation générale des vallées de la région, s'ouvrant aux perturbations en provenance du golfe du Lion. Direction correspondant à la **distance à la mer la plus courte** pour les observations effectuées très près du littoral et pour lesquelles les directions précédentes n'ont pas d'influence.

Influence des variables topographiques

L'exposition et la pente

La combinaison de l'exposition et de la pente détermine la quantité d'énergie solaire reçue sur une station par unité de surface. Cette énergie reçue est traduite en langage courant par les appellations adret / ubac ou encore versant chaud / versant froid.

L'indice de climat lumineux de Beckert (IKR) exprime cette énergie en % par rapport à une situation plane et horizontale de référence (voir la fiche « Facteurs topographiques »).

Les différences de température entre les versants nord et sud d'une même crête peuvent atteindre 10°C ponctuellement et plusieurs degrés en moyenne annuelle. Des différences apparaissent même sur le micro-relief à l'échelle métrique.

Le confinement

Il mesure sur une station l'interception de la lumière directe (ensoleillement) et indirecte (diffusion atmosphérique) par les reliefs environnants, proches ou lointains, à différentes heures du jour et différentes saisons. Il est surtout fort dans les vallées encaissées. Il abaisse la température moyenne en limitant l'apport d'énergie solaire, et favorise la conservation de l'humidité atmosphérique. Il peut aussi atténuer le vent suivant l'orientation et la proximité des reliefs concernés. Lorsqu'il est très important, il joue vis-à-vis des arbres le rôle d'une concurrence latérale, et favorise leur croissance en hauteur.

La violence du climat méditerranéen

Sécheresse

La végétation méditerranéenne est adaptée à la sécheresse mais elle en souffre toujours, surtout lorsque le phénomène se prolonge anormalement. Elle peut se poursuivre en automne, affecter le printemps, parfois même l'hiver. Pour l'année 1989, l'indice de sécheresse mensuel P/2T (fig.6) est inférieur à un pour huit mois sur douze, et sa valeur moyenne est inférieure à un sur l'ensemble de l'année, ce qui indique un déficit du bilan hydrique global annuel.

Les épisodes prolongés de vents forts et secs peuvent aussi créer ou accentuer une sécheresse. Des incendies se produisent ainsi à tout moment de l'année, et pas seulement en été.

Pluies violentes

Au cours des épisodes de pluie violente, fréquents en régions méditerranéennes, une partie de l'eau est perdue pour la végétation du fait d'un important ruissellement. Le total des pluies annuelles et mensuelles doit être analysé en tenant compte de ces événements. Il n'est pas rare qu'une seule pluie de quelques heures apporte 50 à 200 mm, soit 10 à 30% du total moyen annuel.

Grands froids

Ils n'arrivent que quelques fois par siècle. Les plus notables du dernier siècle sont ceux de février 1929 et 1956, des hivers 1984-85 et 1985-86. Ils doivent être pris en compte pour les introductions d'essences ou provenances exotiques. Par exemple, les pins d'Alep originaire du Sud de l'Italie ont été tués en France par les froids de 1956 et de 1985.

Les grands froids de fin d'hiver sont particulièrement néfastes à la végétation lorsqu'ils se produisent après une période de beau temps, ayant amorcé la montée de sève.

Neige lourde

Lorsqu'elle tombe en abondance par temps calme et température au sol légèrement positive, la neige colle aux branches et fait de gros dégâts sur toute la végétation, et plus particulièrement sur les essences à feuilles persistantes : chêne vert, pins, etc. Ces chutes peuvent atteindre 40 à 60 cm en quelques heures. Elles sont largement responsables de la forme défectueuse des pins d'Alep et sylvestre dans les massifs montagneux méditerranéens. Elles sont un facteur limitant de l'extension du pin d'Alep dans l'arrière-pays.

Changements climatiques

Les régions méditerranéennes n'échappent pas à la tendance mondiale de changement climatique. En l'état actuel des scénarios d'évolution, elles seraient même à l'avenir plus affectées que la moyenne européenne par le réchauffement du climat. Le changement modifierait aussi la répartition annuelle des pluies, avec une moyenne annuelle peu changée mais un accroissement des pluies d'automne et d'hiver au détriment des pluies d'été. On observerait donc une accentuation de la sécheresse estivale. Le réchauffement est plus sensible depuis les années soixante-dix.

Effets indirects du climat

Le climat influence la composition et la vigueur de la végétation, mais pas seulement par ses effets directs. Il peut aussi jouer indirectement. L'étude du dépérissement du pin maritime sous l'effet de la cochenille *Matsucoccus feytaudi* (fig.9) montre l'impact du climat sur la virulence du parasite. Un changement climatique pourrait déplacer la limite géographique du dépérissement.

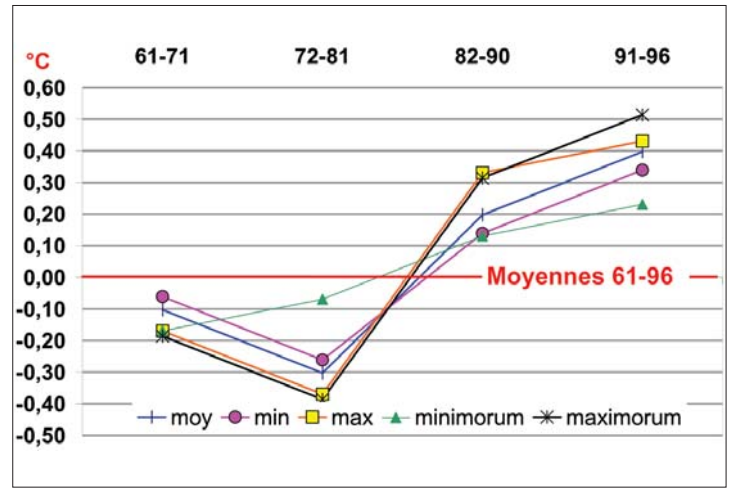


Figure 8. Évolution des paramètres climatiques en Provence. Chaque point mesure la différence entre la moyenne décennale et la moyenne trentenaire pour différentes variables exprimant la température. Cette figure montre que toutes les composantes de la température sont en hausse, qu'il s'agisse de la moyenne ou des extrêmes (malgré un repli passager dans les années soixante-dix).

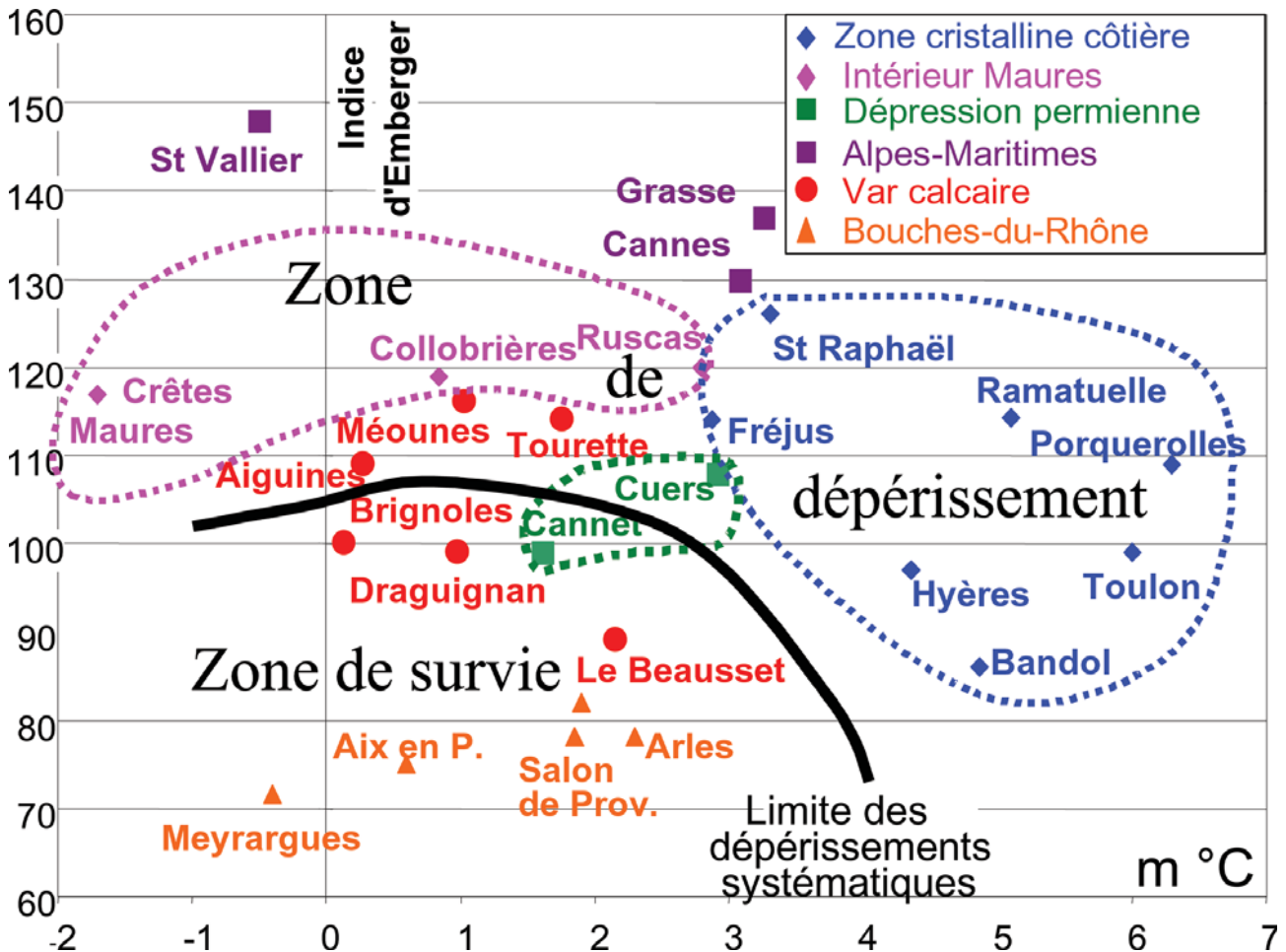


Fig 9 : climagramme d'Emberger pour la Provence. Une limite bioclimatique nette se dessine entre zones de dépérissement et zones de résistance du pin maritime à *M. feytaudi*



Les facteurs édaphiques

Les facteurs édaphiques concernent toutes les caractéristiques du sol et de la partie superficielle du sous-sol, l'ensemble étant appelé substrat. L'observation doit porter prioritairement sur les caractères du substrat qui déterminent l'aptitude à l'enracinement profond et la capacité d'alimentation en eau de ces végétaux, ce dernier critère étant primordial en région méditerranéenne.

Plus rarement, les caractéristiques chimiques du substrat (notamment pH, pauvreté en éléments nutritifs, salinité) peuvent être limitantes dans des milieux particuliers. Les phénomènes d'hydromorphie, limitants pour la croissance des arbres dans d'autres régions françaises sont rares ici, restreints principalement à des zones alluviales.

La variabilité spatiale du substrat peut être très rapide, d'ordre métrique, notamment sur roches calcaires. L'évaluation des potentialités forestières d'une station doit prendre en compte cette variabilité, et l'analyser à l'échelle des systèmes racinaires des arbres : ceux-ci peuvent prospecter facilement jusqu'à 10 m de leur base, et fréquemment beaucoup plus. Ils intègrent la variabilité d'ordre métrique, et les potentialités d'une station sont une moyenne de celles des micro-stations qui la composent. Ainsi un milieu peut être très variable à l'échelle métrique (alternance de couches géologiques dures et tendres par exemple), et homogène à l'échelle stationnelle si cette variabilité est régulièrement répétitive.

Les racines des arbres sont aussi capables de descendre à grande profondeur, dans certains substrats fissurés et notamment dans les zones karstiques (calcaires, dolomies). Dans les grottes de Thouzon (Vaucluse), les parois d'une salle située à 18 m de profondeur dans un calcaire compact sont entièrement tapissées de racelles ! Cet exemple illustre les difficultés que l'on peut rencontrer pour évaluer les potentialités d'un substrat dont une grande partie échappe à l'observation.

Les grandes familles de roches

En se basant sur la genèse des roches, on peut les classer en trois grandes familles :

Les roches sédimentaires

Il s'agit de roches formées initialement à la surface de la terre et résultant de l'accumulation :

- soit de fragments de roches préexistantes, déplacés et déposés par les agents de l'érosion (roches détritiques comme les grès, loess, conglomérats, argiles...) ;
- soit de débris plus ou moins transformés d'êtres vivants (roches biogènes comme certains calcaires, le charbon, le pétrole...) ;
- soit de concrétions et cristaux de différents minéraux (roches physico-chimiques comme les roches siliceuses – silex, jaspe –, les roches salines – gypse, sel gemme –, les roches ferrugineuses ou alumineuses – alios, latérites, bauxite).



Le substrat peut varier à l'échelle métrique

G. Aubert

La plupart des roches sédimentaires combinent différentes origines, des matériaux détritiques ou biotiques au départ indépendants ayant été soudés ultérieurement par une matrice physico-chimique. Elles se présentent en bancs horizontaux ou inclinés, souvent plissés et fissurés par les contraintes qu'ils ont subies aux cours des temps géologiques. À cause des variations physiques et climatiques, à toutes les échelles de temps, de l'environnement où se sont formées les roches sédimentaires, les bancs sont rarement homogènes sur des grandes épaisseurs et sur des grandes surfaces. Différentes roches alternent en bancs d'épaisseur variable et parfois au sein même des bancs. Une classification des roches sédimentaires basée sur celle des roches meubles qui leur ont donné naissance permet de comprendre comment elles s'altèrent ensuite (tab.2).

Les roches magmatiques

Elles se sont formées en profondeur ou en surface par refroidissement d'un magma issu de l'intérieur du globe :

Tableau 2. Classification des roches

roches sédimentaires										
granulométrie	grains non calcaires		grains calcaires				I seul minéral		soluble	
	meubles	cimentés	meubles	cimentés → +			silice	alumine fer		
balast (rudites)	bloc, galets, graviers	conglomérat brèche	cailloutis éboulis	éboulis, graviers peu cimentés		brèche, poudingue travertin, tuf		silice meulière quartz	alumine fer latérite bauxite	sel gemme potasse gypse
sable (arénites)	sables	grès arkose	sable coquillier	calc. grossier, tendre		calc. grenus, calc. gréseux				
poudre (lutites) suspensoides	limons, loess ocres, argiles	pélite	limon calc. marnes	ocre, craie	calc. crayeux	calc. fin calc. marneux	calcaire lithographique			

roches de fusion ou magmatiques					roches issues du métamorphisme profond						
composition	quartz + feldspath		feldspath seul		feldspaths et feldspathoïdes		gradient de métamorphisme				
	structure magma d'origine	grenue plutonique acide	grenue plutonique acide	lavigue volcanique basique	grenue plutonique acide	lavigue volcanique basique	Sédiments d'origine	Structure			
feldspath alcalin + plagioclase	minéraux clairs acides	granite	rhyolite	syénite	trachyte	syénite à néphéline	↓	feuilletée → foliacée → cristallisée			
plagioclase seul								minéraux foncés basiques	diorite, gabbro quartzitiques	diorite, gabbro dolérite	andésite, basalte	basalte à néphéline	micas → micaschistes → gneiss → micas
							Acides	schistes	quartzite	amphibolite	migmatite, granites d'anatexie
							1 minéral	quartzite	amphibolite		
							Carbonatés	calcschistes			cipolin

• les roches plutoniques, formées en profondeur, ont une structure grenue du fait d'un refroidissement lent qui permet la formation de cristaux (granite, syénite) ;

• les roches volcaniques (effusives) ont une structure constituées de petits cristaux disséminés dans une pâte vitreuse dominante, à cause d'un refroidissement rapide à l'air libre ou sous l'eau n'ayant pas permis la croissance des cristaux.

Suivant le type de magma initial, on obtient des roches **acides** riches en silice et minéraux clairs (exemple : granite) ou des roches plus **basiques**, pauvres en silice et quartz, riches en feldspaths, feldspathoïdes et minéraux ferromagnésiens foncés (exemple : basalte).

Les roches métamorphiques

Elles se sont formées par transformation physico-chimique plus ou moins poussée de roches préexistantes : soit en profondeur sous l'effet de la chaleur et de la pression, en général sur des épaisseurs et surfaces importantes, soit par contact avec un magma en cours d'ascension, sous l'effet très localisé de la chaleur.

La transformation se traduit par la cristallisation de nouveaux minéraux et une restructuration physique, mais sans fusion totale de la roche. Sur les roches sédimentaires, le métamorphisme de profondeur donne souvent une structure feuilletée.

Le type d'altération de ces roches dépend du matériau d'origine et du niveau plus ou moins avancé de métamorphisme (taille et % des cristaux).

L'observation des roches

La forêt méditerranéenne est souvent cantonnée sur des sols superficiels : la roche est alors proche de la surface et fait partie du substrat exploité par les racines. Son observation et l'étude de ses relations avec le sol sont importantes pour l'évaluation des potentialités forestières.

Cette observation peut être difficile car tout ce qui se rapporte à

la roche (type d'altérite, pendage, fracturation) est parfois peu visible depuis la surface. Une fosse pédologique n'en donne qu'une vision ponctuelle et incomplète. L'exploration des alentours d'une station doit pallier ou compléter l'observation locale.

Altération de la roche-mère

Le matériau issu de l'altération en place de la roche-mère est appelé altérite. Selon leur composition minéralogique, leur structure, leur dureté, les roches ne s'altèrent pas de la même façon et ne génèrent pas le même type d'altérite en quantité ni en qualité, comme l'indique le tableau 3. Les roches carbonatées (calcaire dur, calcaires marneux, etc.) qui réagissent à l'acide chlorhydrique et les roches volcaniques basiques génèrent en général des sols plus riches en éléments nutritifs que les sols acides, mais il y a des exceptions.

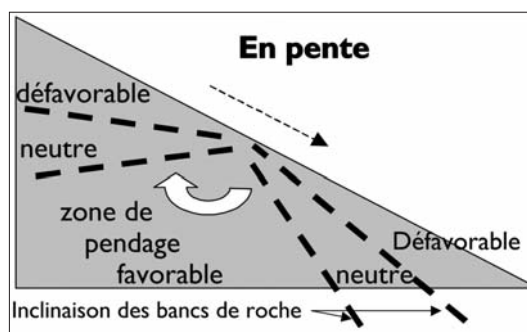
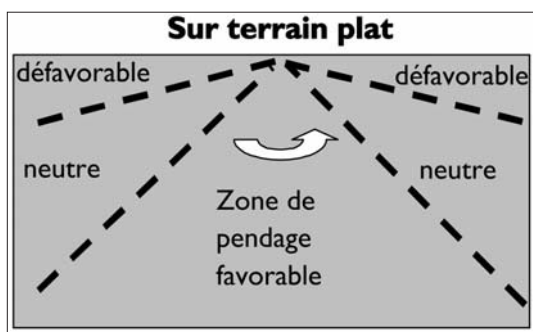
En contrepartie, les roches acides s'altèrent parfois plus facilement et rapidement dans la masse et en profondeur ; elles compensent alors la pauvreté relative du sol par le volume important de matériau exploitable par les racines.

Tableau 3. Type et texture de l'altérite de quelques roches

	calcaire dur	calcaires marneux	marnes argiles	grès, molasses grès calcaires
structure	compacte	micro-fissurée	massive plastique	poreuse
altérite	blocs, dalles ± anguleux ou arrondis	plaquettes écailles	pellicule de desquamation	formes résiduelles en boule
texture	argile, limon	limon, argile	limon, argile	sable

	micaschiste	gneiss	granite et rhyolite	basalte
structure	feuilletée foliacée	litée foliacée	grenue lavique	lavique
altérite	petites plaquettes	arène et roche "fondue"	arène sablo-graveleuse et formes résiduelles en boule	pâte de roche attendrie
texture	limon, sable	sable, limon	sable, limon	limon, argile

Figure 10. Évaluation de l'influence du pendage en fonction de l'inclinaison des bancs de roches dures



Le pendage

Les roches en bancs durs plus ou moins épais et compacts constituent des obstacles difficilement franchissables par les racines. Leur inclinaison par rapport au plan topographique et par rapport aux courbes de niveau peut être plus ou moins favorable à la pénétration en profondeur de l'eau et des racines, comme le montre la figure 10. Un pendage parallèle au plan topographique est appelé pendage conforme, et représente la modalité la plus défavorable.

Affleurements de la roche-mère

Ils concernent surtout les roches dures mais peuvent aussi être notés pour des roches fluides non altérées (marnes, argilites...). Leur abondance laisse supposer un sol localement peu profond. On les distingue des affleurements de cailloux ou de blocs de l'altérite car ils sont difficiles à retirer du sol et même inébranlables avec le pied ou une pioche. On les reconnaît aussi lorsqu'ils sont alignés suivant l'orientation des couches géologiques et le pendage. Il est parfois difficile de distinguer les affleurements de la roche-mère des blocs de grande taille issus d'éboulis et affleurant en surface. L'étude de l'organisation géomorphologique du paysage permet en général de lever l'ambiguïté.

L'appréciation du taux d'affleurements rocheux est toujours délicate, on a tendance à le surévaluer. Voici quelques repères :

< 10%	affleurements rares et diffus, qui peuvent facilement ne pas être vus.
10-30%	affleurements évidents mais recouvrement toujours assez faible.
> 30%	affleurements très évidents et abondants

Diaclases et fissures

Au cours des temps géologiques les accidents tectoniques (plissements, basculements, etc.) ont engendré, sur les roches dures, des cassures perpendiculaires au sens des couches, les *diaclases*.

Les *fissures* liées aux conditions de formation de la roche sont souvent parallèles au plan des couches ou sans direction préférentielle ; elles conditionnent le débit de la roche quand celle-ci s'altère mais sont moins directement déterminantes pour la potentialité.

Diaclases et fissures jouent un rôle d'autant plus important dans la fertilité que les matériaux superficiels sont peu épais, et que les végétaux doivent tirer du sous-sol une part importante de leurs besoins en eau et en éléments nutritifs. Elles favorisent la circulation de l'eau et la pénétration des racines en profondeur, notamment lorsque le pendage est défavorable. Leur largeur et leur



Diaclases sur roche dure

G. Aubert

nombre sont difficiles à observer, et variables au sein d'une même formation géologique, surtout en présence de forts plissements. Lorsque les matériaux superficiels dépassent 80 cm d'épaisseur, la fracturation des roches sous-jacentes perd de son importance. Il est en outre difficile de l'observer dans ce cas-là.

Diaclases et fissures ne concernent pas les roches fluides (marnes, argilites, sables, alluvions) et concernent peu les alternances roches fluides / roches dures lorsque la proportion de roche fluide est largement dominante.

Comment observer le sous-sol ?

Sur la station même :

- au fond d'une fosse pédologique : c'est souvent difficile ou impossible, notamment en sol profond (c'est aussi moins important dans ce dernier cas) ;
- en surface : les affleurements rocheux peuvent renseigner sur le pendage, parfois sur les diaclases et fissures.

Dans l'environnement immédiat :

L'observation du sous-sol est souvent possible au niveau des pistes (surfaces de roulement, talus, fossés) et d'autres accidents de terrain laissant voir un front de roche. Il faut cependant s'assurer par l'approche géomorphologique du site que l'on peut rapprocher cette observation de la station à caractériser.

Lorsque la zone d'étude est étendue, une pré-étude permet de répondre à certaines interrogations concernant ces paramètres cachés.

Les matériaux superficiels

La roche en place est en général recouverte de matériaux qui proviennent de l'altération de la roche elle-même (altérite) ou d'éléments déplacés (colluvions, éboulis, alluvions...).

Les altérites

Les altérites sont des matériaux autochtones issus de l'altération et de la déstructuration de la roche en place, soit par des facteurs physiques, soit par des facteurs chimiques ou biochimiques. Une altérite possède donc un lien parental très fort avec la roche-mère dont elle est issue.

Altération physique ou mécanique (fig.11)

❖ *Dans les roches dures*, qui présentent des irrégularités de structure ou une fissuration initiale (calcaires durs ou marneux, gneiss, schistes...) ou qui sont poreuses (grès, calcarénite), l'eau peut s'infiltrer. L'alternance gel/dégel en surface provoque alors la fragmentation de la roche qui se délite en éléments de formes et de tailles diverses. Cette première agression de la roche permet la fixation de plantes pionnières dont les racines, pénétrant dans les fissures élargies, continuent le travail d'altération de la roche. Les éléments grossiers (blocs, pierres, cailloux, graviers) issus de cette fragmentation sont de même nature que la roche-mère et présentent des arêtes vives. Ils conservent l'orientation des bancs de roche-mère (pendage) et sont imbriqués comme les éléments d'un puzzle aux jointures plus ou moins lâches. La terre interstitielle est peu abondante et sa texture dépend directement de la nature de la roche-mère.

❖ *Sur roches meubles* (marnes, argiles), ce sont plutôt les cycles humectation / dessiccation qui altèrent la roche et génèrent en surface une pellicule de desquamation (petites plaquettes friables) constituant un matériau peu cohérent, soumis à l'érosion.

Altération chimique ou biochimique (fig.12)

Elle se traduit par la disparition partielle ou totale de certains minéraux de la roche, parfois remplacés par un matériau secondaire autochtone ou allochtone : par exemple hydrolyse des minéraux ferromagnésiens sur roches acides, des carbonates sur calcaire. L'altération est due notamment au CO_2 ou à des acides issus de la matière organique et dissous dans l'eau, ou aux acides sécrétés par les racines. Elle est maximale sous climat chaud et pluvieux et affecte plutôt les roches recouvertes de matériaux meubles et de végétation. Elle génère des matériaux fins et plus ou moins décarbonatés (argile de décarbonatation, arène).

❖ *Calcaires durs et dolomies* altérés chimiquement prennent un aspect de rognons lisses, souvent perforés, quelquefois sculptés ou cariés. L'altération se prolonge en profondeur le long de fissures et diaclases, qui se remplissent des résidus constitués de terre fine argileuse ou argilo-limoneuse sur calcaire, plus sableuse sur dolomie. Le matériau issu de l'altération est totalement décarbonaté (*ne réagit pas à l'acide chlorhydrique*) et sans élément grossier au stade ultime.

❖ *Les amphibolites* (roche métamorphique sombre, très dure) et *les laves volcaniques massives* fondent en place sur une grande épaisseur et se transforment en terre fine très fertile. Les châtaigneraies à fruit dans le massif des Maures prospèrent sur ces sols.

❖ *Les granites et les grès* s'altèrent en boules et génèrent une arène sableuse.

Altérations mixtes (fig.13)

Les altérites sont souvent issues d'actions successives ou conjointes des différents mécanismes d'altération, ce qui rend difficile leur diagnostic.

Les altérites sont plus ou moins profondes, en fonction de l'ancienneté et de la vitesse du processus d'altération, et de l'érosion qui peut éliminer les matériaux d'altération au fur et à mesure de leur formation. Elles peuvent être recouvertes de matériaux allochtones qui présentent en général des caractéristiques différentes et dont il faut pouvoir les distinguer.

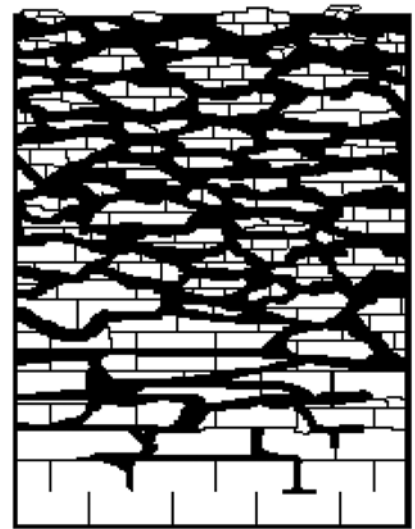


Figure 11. Altérite issue de la fracturation de la roche

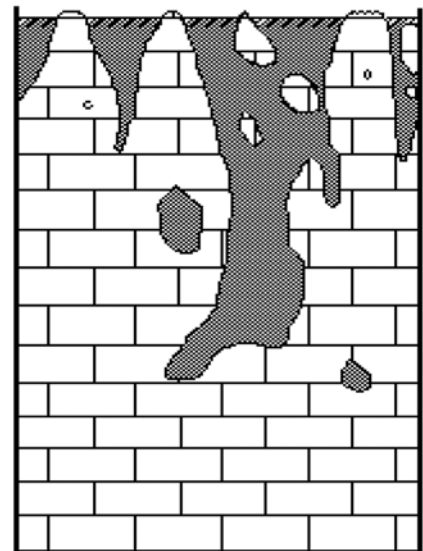


Figure 12. Altérite de dissolution biochimique de la roche

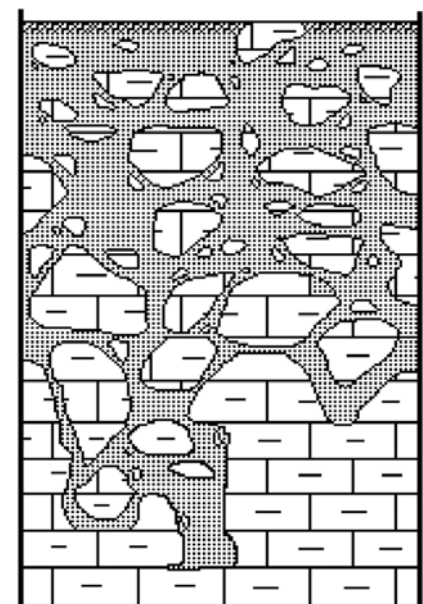


Figure 13. Altérites mixtes

Les matériaux allochtones

Différents types de matériaux allochtones (fig.14)

Les matériaux générés par l'altération d'une roche sont souvent déplacés ensuite par l'effet de la gravité, de l'eau, du vent ou de la neige. Suivant le mode de déplacement et la distance parcourue, on distingue principalement en zone méditerranéenne :

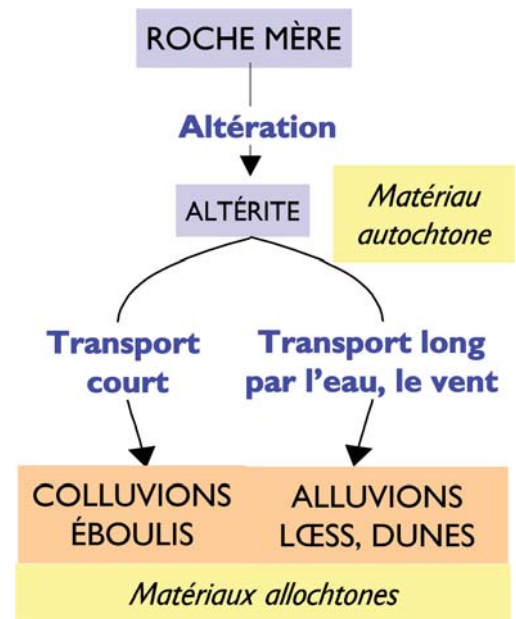
- **les colluvions** : mélange de terre et de débris rocheux déplacé sur un versant par le ruissellement et la gravité (fig.15) ;
- **les alluvions** : matériau déplacé et déposé parfois très loin par l'eau et transitant par le réseau hydrographique ;
- **les éboulis** : matériau essentiellement rocheux déplacé à courte distance par gravité.

D'autres types de matériaux allochtones peuvent être rencontrés localement, comme les **lœss**, matériaux très fin déplacés et déposés par le vent, les **sables éoliens** qui forment des **dunes**, les **moraines** déposées par les glaciers, etc.

L'altérite en déplacement se déstructure, se mélange éventuellement à d'autres matériaux et recouvre plus loin le sol en place. Le matériau allochtone améliore en général les potentialités d'une station parce qu'il augmente l'épaisseur du substrat, en venant recouvrir une altérite ou une fraction d'altérite restée en place. De plus, une colluvion est souvent moins compacte que l'altérite qui lui a donné naissance.

Mais l'épaisseur du matériau allochtone est parfois telle qu'il devient l'élément exclusif du substrat explorable par les racines. D'autre part, les alluvions ou colluvions anciennes peuvent avoir perdu leurs qualités d'origine par compaction et induration, et se comporter comme une roche-mère en place. Dans ces cas, le sol doit se reconstituer sur ce nouveau substrat.

Figure 14. Principaux matériaux allochtones



Colluvion type (fig.15)

La colluvion est le type de matériau allochtone le plus fréquemment rencontré en forêt méditerranéenne. C'est un mélange de terre fine et d'éléments grossiers de dimensions variées disposés en tous sens sans classement de taille (bien que l'on puisse quelquefois distinguer des lits). Ces éléments grossiers ont leurs arêtes émoussées par le transport qu'ils ont subi et ont souvent une forme plus ou moins arrondie.

La présence de cailloux de natures différentes constitue un des moyens les plus sûrs de reconnaissance d'une colluvion, surtout s'ils sont différents de la roche-mère sous-jacente.

Les éléments grossiers d'une colluvion peuvent être sains et durs sur toute sa profondeur, alors que ceux d'une altérite sont souvent plus ou moins altérés et friables en surface et présentent une taille croissante avec la profondeur.

En zone calcaire, la terre fine des colluvions réagit fortement à l'acide chlorhydrique.

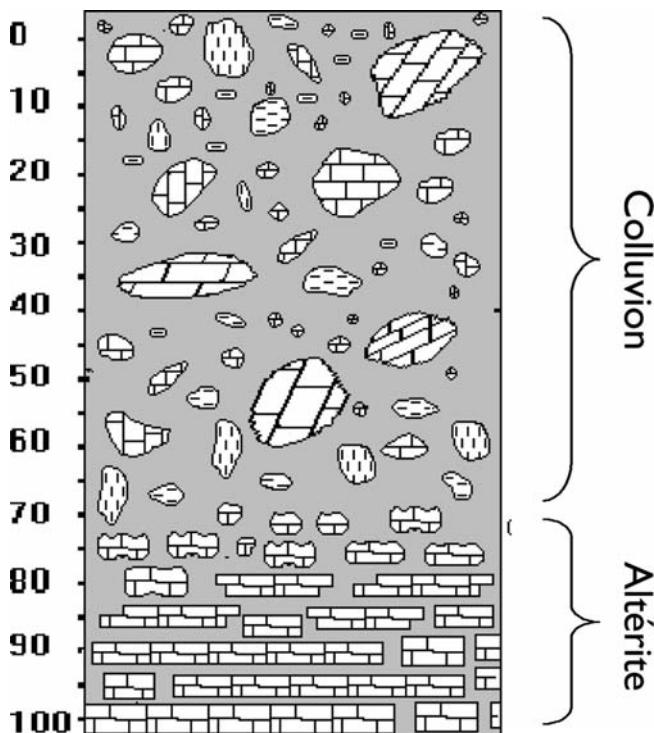
Alluvions

Les alluvions sont assimilées aux colluvions quand elles sont en faible épaisseur dans des vallons. Lorsqu'elles atteignent des grandes épaisseurs sur des surfaces importantes, elles peuvent présenter des caractéristiques qui rendent leur évaluation délicate : stratifications entrecroisées, succession de couches très variables dans leur origine, leur texture et leurs caractéristiques physico-chimiques, présence de nappes phréatiques...

La battance des nappes lorsqu'elle est forte est une des principales contraintes de ces sols pour les peuplements forestiers. Les racines ne peuvent descendre en profondeur à cause du niveau élevé des nappes en période pluvieuse, et par contre le sol se dessèche très profondément au cours de l'été. De telles variations peuvent être détectées par les traces d'oxydoréduction observables sur le profil du sol, mais cette observation demande une bonne expérience et doit être confirmée par un spécialiste.

La plupart des sites alluviaux ont été occupés jadis par l'agriculture, ce qui accentue la difficulté d'interprétation du profil de sol : semelles de labour, horizons superficiels mélangés, épierrages...

Figure 15. Colluvion type



Éboulis

Les accumulations de fragments de roche au pied des falaises et des corniches ont une épaisseur très variable et peuvent parfois couvrir en nappe des versants entiers. S'ils sont épais, deux cas se présentent :

- les formes vives qui correspondent à des *éboulis actifs*. Ils sont peu ou pas végétalisés car non altérés et sans matériau fin pour combler les vides. Leurs potentialités sont théoriques et difficiles à éva-

luer, en raison des contraintes exercées par la chute et les mouvements des pierres et blocs ;

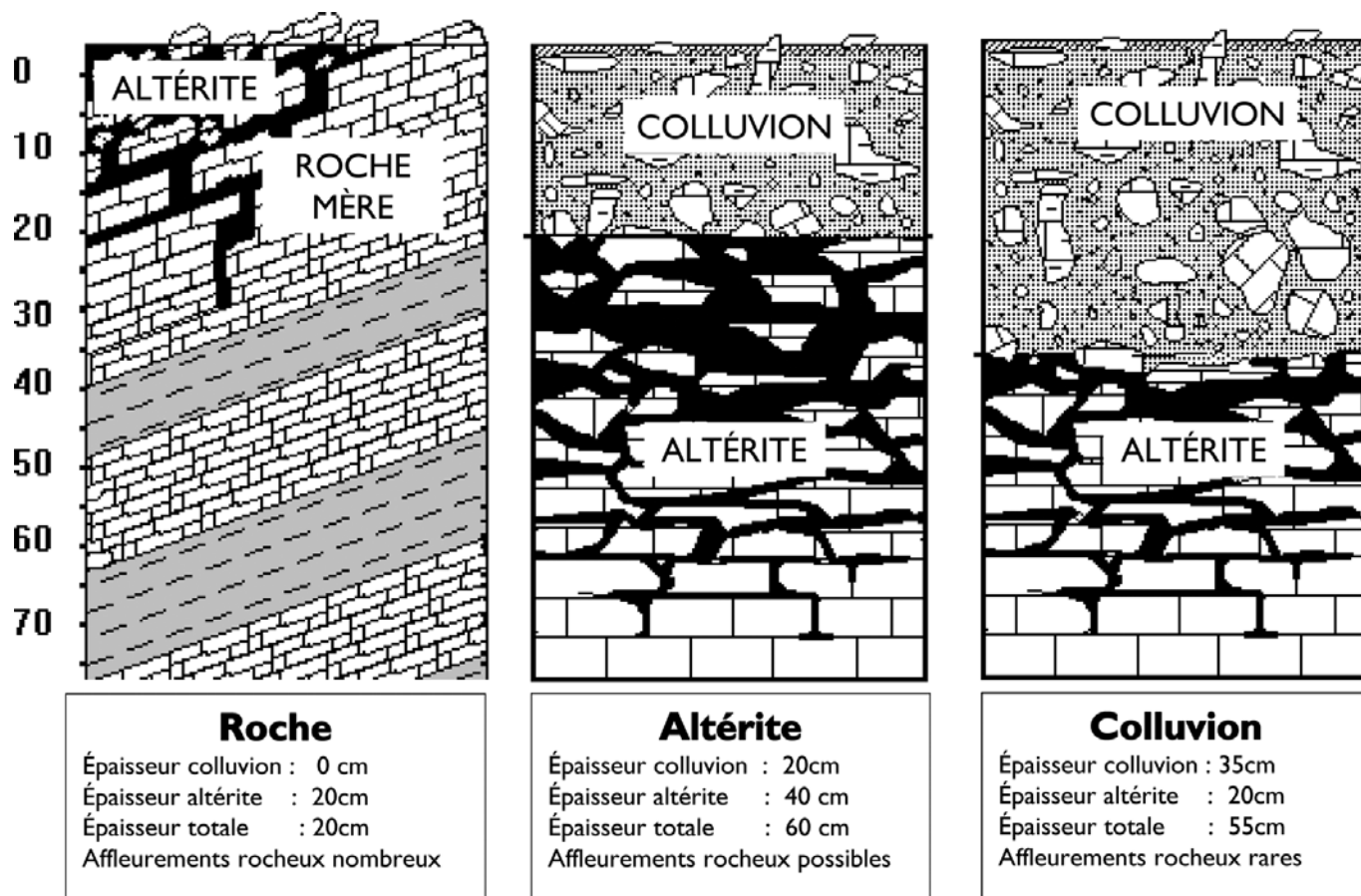
- les formes stabilisées, *éboulis anciens* qui se sont petit à petit altérés et dont les vides sont en partie comblés de matériau fin autochtone ou allochtone. Ils sont assimilés fonctionnellement à des colluvions. Malgré la forte charge en éléments grossiers, ils peuvent être très fertiles s'ils sont épais, en fonction de leur exposition, grâce au confinement et aux résurgences d'eau fréquentes au pied des falaises et corniches.

Matériau de référence

Dans certaines clefs autécologiques, il est demandé de préciser le matériau de référence : roche-mère, altérite ou matériau allochtone. Cette détermination n'a de sens que pour l'entrée dans la clef. Elle traduit dans un certain nombre de cas le matériau que l'on considère comme le plus contraignant pour la fertilité, ou celui qui y contribue le plus. Mais c'est toujours sur l'ensemble du substrat que doivent être évaluées les caractéristiques du sol.

On peut considérer que l'on se trouve sur la roche-mère directement si l'altérite est discontinue et fait moins de 20 cm d'épaisseur en moyenne. On considère que l'on est sur altérite si celle-ci est assez développée et que les matériaux allochtones ne dépassent pas 25 cm d'épaisseur.

Figure 16. Matériau de référence



La différenciation altérite / colluvion est importante, les stations à colluvions se révélant généralement plus favorables que celles qui en sont dépourvues, pour une même épaisseur de substrat. Une colluvion épaisse est généralement associée à une position topographique favorable et un bilan hydrique plutôt positif, où les dépôts par le ruissellement dépassent l'érosion.

De nombreuses études autécologiques et stationnelles montrent que c'est au-dessus de 25 cm d'épaisseur que la présence d'une colluvion est significativement corrélée à la fertilité d'un site. Au-dessous de ce seuil, la colluvion intervient dans l'épaisseur totale et d'autres caractéristiques du substrat (pierreosité, texture...) mais on peut considérer que la station se trouve fonctionnellement sur une altérite.

Quelques substrats particuliers

Le lapiaz (ou lapié)

la reconnaissance d'un lapiaz est aisée lorsque la roche affleure, car on distingue alors en surface les formes caractéristiques de l'érosion chimique : stries et cannelures arrondies correspondant aux fissures élargies par dissolution des carbonates le long des chemins préférentiels de l'eau, forme arrondie des roches souvent trouées de nombreuses cupules. Lorsqu'il n'est pas érodé, un lapiaz fini par être « couvert » par l'argile de décarbonatation que laisse sur place la dissolution de la roche. Cette argile est souvent d'un rouge assez vif dans nos régions (« terra rossa »). Les formes caractéristiques du lapiaz apparaissent dans une fosse pédologique dès qu'on atteint la roche.

Le lapiaz concerne les calcaires durs en bancs épais. L'altération peut être très profonde le long des diaclases : jusqu'à plusieurs dizaines de mètres. Le fort pourcentage de roche est alors compensé par la grande profondeur explorable par les racines. La fertilité des lapiaz affleurants est extrêmement variable, et difficile à évaluer en raison des incertitudes sur leur structure profonde (pourcentage de roche par rapport à la terre fine, profondeur d'altération). Les lapiaz « couverts » présentant une épaisseur importante de matériau superficiel sont par contre très favorables à la forêt : ils combinent une grande profondeur de sol avec une bonne infiltration de l'eau dans les diaclases et une forte capacité de rétention de cette eau par leur texture (argiles).

Les altérites en plaquettes

les plaquettes sont une forme particulière d'altérite, issue du débit d'une roche dure mais finement litée et fissurée. Les plaquettes mesurent entre 10 et 30 cm de long et de large et 2 à 8 cm d'épaisseur. Lorsqu'elles sont imbriquées horizontalement comme des tuiles (fig. 17) avec peu de terre interstitielle, elles sont particulièrement défavorables à la pénétration des racines et de l'eau. Elles le sont d'autant plus que le pendage est conforme. Cet inconvénient est limité si le pendage est très incliné, les racines pouvant alors descendre en suivant les plans de clivage principaux. Ce débit peut se rencontrer dans de plus grandes dimensions (plaques de 30 cm à 1 m de largeur sur 10 à 20 cm d'épaisseur) qui présentent les mêmes inconvénients sauf qu'il y a en général plus de terre interstitielle. Les débits en blocs ou cailloux moins aplatis sont globalement plus favorables à la végétation car ils présentent plus de voies de pénétration verticale pour les racines.



G. Aubert

Formes caractéristiques d'un lapiaz

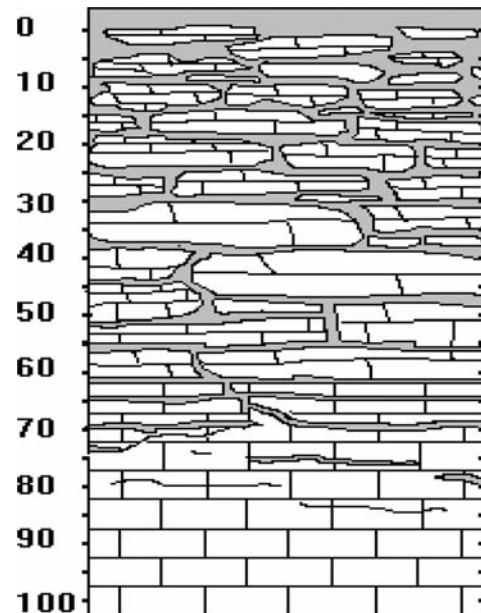


Figure 17 : altérite en plaquettes

Description du substrat

La description du substrat doit commencer par l'ensemble des éléments décrits précédemment dans ce paragraphe : type, origine et particularités de la roche-mère, type d'altération et de débit de l'altérite et son épaisseur, nature, origine et épaisseur des matériaux allochtones.

Cette description de base doit être complétée par une observation plus fine de certains facteurs qui influent sur la potentialité forestière du substrat ; c'est l'objet de ce qui suit.

Réaction à l'acide chlorhydrique

C'est un test qui permet de déterminer si une roche ou un matériau possède du calcaire actif. Il s'effectue en déposant une goutte d'acide chlorhydrique dilué à 10% sur le support choisi. Il faut alors apprécier la présence et l'intensité de l'effervescence produite par réaction de l'acide sur le carbonate de calcium (libération de gaz carbonique).

Test du calcaire actif à l'acide chlorhydrique

Note : L'acide chlorhydrique du commerce étant généralement dilué à 33%, il faut le couper à raison d'un volume d'HCl pour deux volumes d'eau distillée.

Test sur la terre fine : prélever un peu de terre, sans matière organique, tamiser (maille < 2 mm). Faire le test plusieurs fois en divers endroits du profil et pour chacun des matériaux en présence. Il faut vérifier si l'effervescence se produit sur toute la terre fine et pas seulement sur des micro-graviers (< 2mm) disséminés dans cette terre.

Test sur les roches : le test doit être effectué sur un fragment de roche débarrassé de la terre fine. La partie superficielle extérieure de la roche ou des éléments grossiers du sol peut être décarbonatée tandis que leur cœur ne l'est pas encore : il faut donc fragmenter la roche ou l'élément grossier au marteau de géologue pour faire un test sur l'intérieur de la roche. À l'inverse parfois, le cœur très massif et homogène de la roche réagit peu tandis que l'altération libère du calcaire actif.

beaucoup de bulles	terre très carbonatée
bulles petites, production ralentie	terre peu carbonatée
effervescence nulle	terre décarbonatée pH pouvant être acide

Le calcaire actif est la fraction de texture très fine du calcaire (taille des particules d'argile ou de limon). Cette « poudre » de calcaire est facilement soluble dans l'eau chargée de gaz carbonique ou d'acide. Elle modifie les processus d'absorption de certains éléments nutritifs, et rend le fer insoluble, donc indisponible pour les plantes. Certains arbres sont intolérants au calcaire actif (châtaignier, chêne-liège, la plupart des provenances de pin maritime...) ainsi que de nombreuses plantes arbustives ou herbacées (la plupart des bruyères, etc.). D'autres plantes se sont directement ou indirectement (par des mycorhizes) adaptées au calcaire actif. Sa présence et son abondance dans le substrat déterminent donc des cortèges floristiques particuliers. Sur zones calcaires où la pédogenèse est ancienne, la décarbonatation progressive du substrat peut aboutir à des sols totalement dépourvus de calcaire actif (argiles de décarbonatation occupant les horizons superficiels et les fissures) et même acides. On peut donc localement trouver une flore acidophile sur des roches-mères calcaires.

Le pH

Mesurer le pH, c'est-à-dire le niveau d'acidité ou de basicité d'un sol, est rarement primordial en zone méditerranéenne française. D'une part parce que les sols très acides sont rares, d'autre part parce que les sols très basiques se trouvent sur des substrats bien identifiés (par exemple certaines marnes), enfin parce que la flore, même perturbée, permet en général de classer immédiatement les sols dans l'une des catégories, acide ou basique. Dans les sols carbonatés, le test à l'acide chlorhydrique est suffisant pour déterminer le niveau de contrainte que représente le calcaire actif. En cas de nécessité, la mesure du pH se fait sur le terrain à l'aide d'appareils portables simples, ou au laboratoire.

Les éléments grossiers

Il s'agit des fragments rocheux inclus dans l'altérite ou dans les matériaux allochtones, et ne pouvant plus être considérés comme appartenant à la roche-mère. On distingue suivant la taille les graviers (2 mm à 2 cm), cailloux (2 à 7 cm), pierres (7 à 20 cm), et blocs (> 20 cm).

Les éléments grossiers ont en général une capacité de rétention en eau très faible par rapport à la terre fine. Leur présence réduit donc la quantité d'eau que le sol peut stocker. L'abondance des éléments grossiers est globalement défavorable en région méditerranéenne. Certaines roches peuvent cependant absorber de l'eau dans leur structure ou dans leurs micro-fissures : entre 3 et 5% de leur volume pour des calcaires durs et compacts, jusqu'à 15-20% pour des roches très poreuses ou en partie altérées (grès, tufs). Cette fraction d'eau est parfois précieuse dans les milieux très secs et caillouteux, notamment parce qu'elle est restituée lentement, et donc utilisée par les végétaux sans trop de perte par évaporation.

Les éléments grossiers retiennent aussi un peu d'eau par capillarité en surface. Ils jouent un rôle intéressant dans les sols très argileux ou limoneux : ils rompent la continuité texturale, et donc limitent le dessèchement en profondeur en été en freinant la remontée de l'eau par capillarité.

Critères empiriques d'évaluation du taux d'éléments grossiers

Une première estimation peut être faite par celui qui creuse la fosse pédologique, et extrait les matériaux.

On peut prendre un certain volume de matériau brut, trier la terre d'un côté, les éléments grossiers de l'autre et apprécier à l'œil la proportion. Cette méthode est adaptée pour les éléments de petites dimensions (graviers, cailloux) lorsque le profil est homogène et qu'un échantillon de petite taille peut être représentatif.

On fait en général une appréciation visuelle sur la face du profil (tableau ci-dessous), après l'avoir nettoyé au pinceau pour faire ressortir les éléments grossiers.

< 10 %	On voit surtout de la terre, éléments grossiers rares et disséminés.
10-30 %	On voit encore beaucoup de terre, mais les éléments grossiers sont évidents.
30-60 %	On a du mal à savoir lequel de la terre ou des éléments grossiers domine
60-90 %	On voit surtout les éléments grossiers, proportion de terre encore appréciable
> 90 %	On ne voit pratiquement que des éléments grossiers

L'observation des éléments grossiers d'un matériau allochtone permet en général d'en préciser l'origine, unique ou mixte. Dans la description d'un sol, on doit évaluer la proportion des éléments grossiers dans la matrice terreuse des différents matériaux en présence, normalement sans tenir compte de la roche-mère. Mais si la roche-mère est très présente à l'échelle de la description, par des affleurements ou par des alternances de zones altérées et non altérées (lapiaz par exemple), elle doit être prise en compte en la rajoutant au pourcentage d'éléments grossiers sur la profondeur que l'on attribue au sol.



G. Aubert

Colluvion très caillouteuse. Noter le fort pourcentage d'affleurement de cailloux en surface

Affleurements de cailloux

Il s'agit des éléments grossiers, de taille supérieure à 2 mm, déposés à la surface du sol et sous la litière, entre les affleurements rocheux avec qui il ne faut pas les confondre s'il y en a. Leur abondance indique souvent des phénomènes passés ou présents d'érosion et donc une diminution de la profondeur du sol. Inversement, ils traduisent parfois des apports de matériaux par éboulis.

Lorsqu'ils sont abondants en surface et dans les premiers centimètres du sol, ils jouent le rôle positif du « paillage », limitant l'évaporation et protégeant de l'érosion. Leur estimation se fait en même temps que celle des affleurements rocheux. Le pourcentage de recouvrement est estimé à l'œil. Il faut pour cela dégager la litière sur des carrés d'environ 50 cm de côté en au moins 5 endroits de la station étudiée.

Critères d'évaluation du taux d'affleurement de cailloux

0 %	absence totale de cailloux
1- 10%	recouvrement rare et diffus
10-30 %	recouvrent évident mais faible
> 30%	recouvrement abondant à très abondant

Texture de la terre fine

La terre fine se compose en proportions variables de trois éléments : sable, limon et argile.

La connaissance de ces proportions permet d'évaluer la capacité de la terre à retenir de l'eau, sachant que le sable retient très peu d'eau, les limons et l'argile beaucoup plus (tabl.5). La texture joue donc un rôle déterminant dans la potentialité forestière d'une station.

Les principales textures

❖ Globalement, les sols très sableux sont défavorables, par leur faible capacité de rétention de l'eau et parfois par leur pauvreté chimique (sables siliceux). La présence d'une faible proportion de limons ou d'argile dans les sables élève considérablement leur capacité de rétention en eau et leur richesse. Les roches gréseuses, les dolomies, les granites et certaines roches métamorphiques donnent des altérites très sableuses.

❖ Les sols à forte dominante argileuse ont une très bonne capacité de rétention en eau mais cette eau est parfois difficile à extraire par les végétaux. De plus, ces sols sont souvent compacts, et donc difficilement pénétrables par les racines. Ils ont tendance à gonfler, se saturer d'eau et devenir asphyxiants lors des phases d'hydratation, puis à se rétracter lors des phases de dessèchement. Ces changements de volume provoquent des fissures dans le sol, qui accélèrent le dessèchement et exercent des contraintes physiques très fortes pouvant aboutir à la rupture de petites racines.

❖ Les sols limoneux ont une capacité de rétention en eau moyenne à forte en fonction de la taille des limons (grossiers ou fins). Les sols limoneux sont généralement riches en éléments nutritifs. Ils sont par contre très sensibles au dessèchement par évaporation à cause de la remontée capillaire qui se produit dans leurs profils très homogènes. Ils se compactent facilement et sont donc particulièrement sensibles aux travaux forestiers (circulation d'engins). Ils peuvent devenir très durs et compacts lors des phases de déshydratation.

Lorsqu'ils sont carbonatés (certaines argilites, marnes), les sols peu altérés à forte dominante argileuse ou limoneuse sont particulièrement défavorables à la croissance des végétaux, et très érodables (voir plus loin « particularité des roches fluides »). Leur forme extrême donne les bad-lands, courants dans les Préalpes méditerranéennes. L'altération en profondeur de ces sols et leur enrichissement en matière organique les améliore progressivement ; à un stade avancé de la pédogenèse, ils ont d'excellentes potentialités forestières.

Le plus souvent, la terre fine a une texture mixte comprenant deux ou trois éléments. Ces textures sont toujours plus favorables que les textures pures. Les meilleures sont les textures équilibrées qui comprennent la même proportion de chacun des trois éléments. Ces textures donnent des sols qui cumulent les avantages de chacun des éléments sans en avoir les inconvénients : très bonne capacité de rétention et disponibilité de l'eau, perméabilité suffisante pour éviter l'engorgement, faible compacité naturelle et résistance à la compaction, richesse chimique. Enrichis en matière organique, ces sols équilibrés prennent facilement une structure en agrégats stables, favorisant la circulation de l'eau et l'aération, et résistante à l'érosion. La croissance des arbres est toujours meilleure sur ces textures équilibrées que sur les autres textures.

Évaluation de la texture

Cette évaluation peut se faire de manière très précise en laboratoire mais c'est une opération longue et coûteuse.

Le forestier ne peut généralement faire qu'une appréciation empirique au toucher, sur un échantillon de terre fine obtenue après tamisage (maille 2 mm). L'opération demande un peu d'expérience et des vérifications régulières. Chaque élément présente des critères caractéristiques qui aident à les identifier (tabl.4).

Mais les échantillons de terre sont le plus souvent des mélanges de deux ou trois éléments, ce qui rend l'évaluation difficile. On peut s'aider des repères du tableau 4.

Tableau 4. Caractéristiques permettant de reconnaître les trois composantes texturales de la terre fine et leurs mélanges

Sable (< 2mm) fraction la plus grossière
Grains détectables entre les doigts à l'état sec, humide et mouillé, et même à l'oeil nu pour le sable grossier. Plus le sable est fin, moins il est détectable, mais il crisse toujours sous le doigt.
Limon fraction intermédiaire
Soyeux et poussiéreux à sec, il dessèche les doigts et les tache. Humidifié, il est doux, non collant, quelquefois presque savonneux, facile à malaxer mais difficile à modeler (impossible de faire un boudin fin de terre humide).
Argile fraction la plus fine
À sec, elle forme des petits blocs durs polyédriques et difficiles à humidifier. Elle est dure à malaxer si elle est à peine humidifiée. Très humidifiée, elle est plastique et collante. À humidité intermédiaire, on peut faire un boudin et le tordre en anneau sans le casser.

sable + limon : l'échantillon a une certaine cohésion quand le limon est dominant même si le boudin est impossible à faire. Quand le sable est dominant la cohésion est très faible.

sable + argile : le caractère collant, plastique, apparaît tout de suite, sans cacher le sable.

argile + limon : échantillon doux comme le limon mais moins souple et légèrement collant. On peut faire un boudin de terre mais il casse plus ou moins rapidement quand on veut en faire un anneau, suivant la proportion d'argile.

sable + limon + argile : lorsque la texture est équilibrée, il est difficile de distinguer les caractères particuliers des trois composants. Lorsque l'un d'entre eux est dominant, ses caractéristiques ressortent rapidement.

Tableau 5. Composition texturale simplifiée et réserve utile du sol

La détermination de la texture permet de chiffrer la capacité de rétention en eau du sol à l'aide du tableau 5. Ces chiffres sont approximatifs mais la variable ainsi calculée donne de bons résultats dans les modèles de bilan hydrique et les études autécologiques en absence de correction spécifique. On peut en tenir compte en attribuant arbitrairement aux textures correspondantes une réserve utile supérieure à ce que donne la mesure réelle (2 mm/cm au lieu de 1,7 mm/cm dans les textures notées 1.1.1 ou 2.2.2 du tableau 5).

composition texturale	codage de la composition texturale			réserve utile en mm/cm
	S	L	A	
sable	0	0	2	1.75
limon	0	1	1	1.85
argile	0	2	0	1.5
0	1	1	2	1.95
1	2	2	2	1.85
2	0	1	1	1.55
0	1	0	2	1.7
1	1	1	0	1.3
1	1	1	1	1.7
2	1	1	2	1.75
0	1	2	0	1.45
2	1	2	1	1.82
2	1	2	2	1.78
0	2	0	0	0.7
0	2	0	1	1.35
2	2	0	2	1.55
0	2	1	0	1
2	1	1	1	1.5
2	2	1	2	1.6
0	2	2	0	1.3
2	2	2	1	1.6
2	2	2	2	1.7

Compacité du sol

Les sols très compacts sont défavorables aux arbres forestiers. Ils sont souvent liés à des terres monotexturales : limons ou argiles purs ou très dominants. Le passage répété d'engins ou de bétail (exploitation forestière, anciens chemins, zones de parage) ou des travaux agricoles (semelle de labour) peuvent avoir compacté une partie du sol, en surface ou en profondeur.

La matière organique limite la compacité des sols : directement par son action physico-chimique sur les éléments du sol (formation de complexes argilo-humiques, etc.) et indirectement par l'activité biologique qu'elle induit (décompactation par les vers de terre, les fourmis, la microfaune). L'altération des limons et argiles les décompacte également. Les horizons superficiels, où l'altération des minéraux est plus avancée, et qui sont plus riches en matière organique, sont donc généralement moins compacts.

On peut évaluer sommairement la compacité d'un sol s'il n'est pas trop caillouteux à l'aide d'une lame de couteau d'environ 10 cm de long, que l'on enfonce dans les différents horizons en évitant les éléments grossiers. Une lame s'enfonçant entièrement sans effort indique un horizon meuble, l'impossibilité d'enfoncer la lame entièrement même en forçant indique un horizon extrêmement compact. La compacité doit être jugée pour un niveau moyen d'humidité du sol : à l'état sec, tous les horizons argileux ou limoneux se révèlent compact, et les sols les plus compacts sont pénétrables au couteau lorsqu'ils sont saturés d'eau.

La compacité peut se mesurer de façon fiable au laboratoire, et sur le terrain avec un matériel spécialisé. Mais ces opérations sont sans intérêt pour le forestier dans la plupart des cas. On peut se contenter d'une évaluation sommaire (cf. encadré). Des variations de compacité peuvent être détectées au creusement de la fosse pédologique.

Profondeur du substrat

La profondeur du substrat est un des facteurs les plus déterminants de la potentialité forestière. Elle détermine les capacités d'ancrage des arbres, et le volume de matériau donc du réservoir d'eau exploitable par les racines.

Épaisseur des matériaux

La profondeur du substrat s'obtient en ajoutant les épaisseurs des différents matériaux superposés, allochtones et autochtones. Une des difficultés principales est d'estimer correctement la profondeur de l'altérite. Celle-ci peut être très variable à l'échelle métrique ou décimétrique ; elle l'est particulièrement sur les roches dures fissurées, où l'altération peut se poursuivre sur de faibles volumes mais dans une grande profondeur le long des fissures. Dans le cas de matériaux très épais (colluvions ou alluvions très profondes, grands éboulis), les racines n'exploitent pas forcément tout le volume disponible.

La recherche de petites racines (< 2 mm) dans le profil d'une fosse ou d'un talus peut aider à déterminer la limite du substrat exploitable, mais ce n'est pas un critère totalement fiable, car les racines ne sont pas réparties uniformément dans le substrat, surtout en limite inférieure de celui-ci.

Mesure des épaisseurs

La mesure de l'épaisseur des matériaux nécessite le creusement d'une fosse pédologique ou l'observation de profils existants. Les talus de routes et les fossés sont intéressants car ils montrent aussi la variabilité spatiale du substrat.

L'idéal est d'atteindre la roche en place afin de bien voir l'épaisseur des colluvions si elles existent puis celle de l'altérite ; la somme des deux donne la profondeur totale.

La mesure de profondeur permet d'observer simultanément les autres facteurs clefs de la potentialité : matériau de référence, pourcentages d'éléments grossiers, texture de la terre fine...

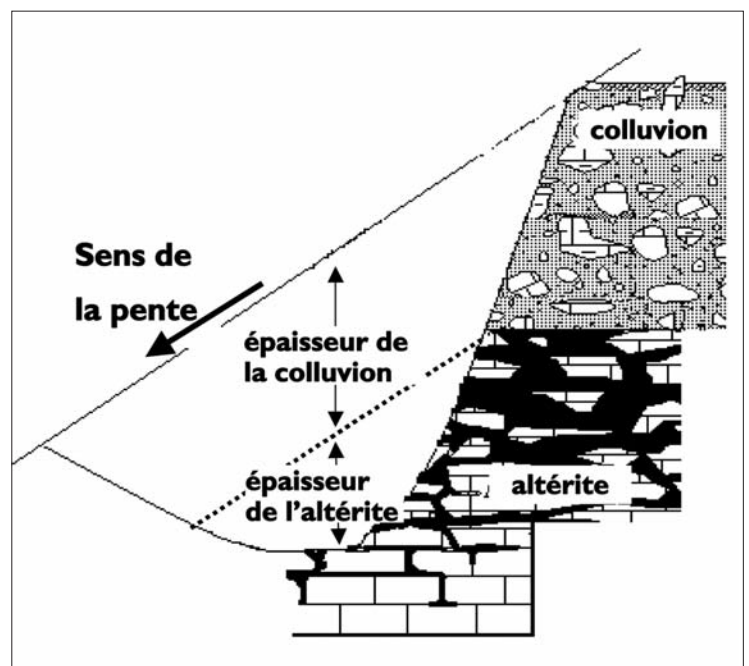
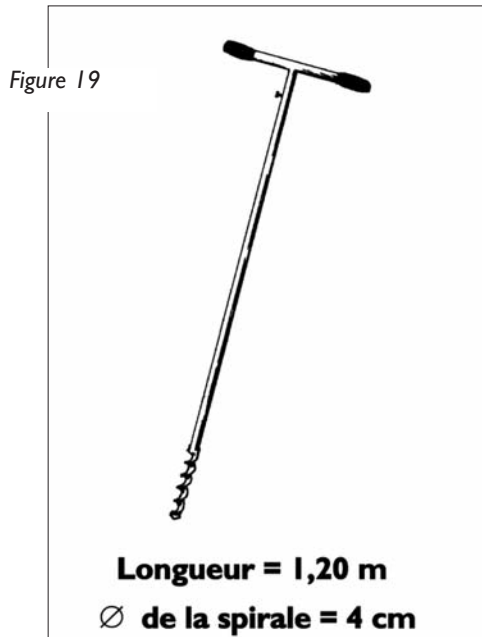


Figure 18. Mesures des profondeurs dans une fosse
Les mesures se font à la verticale, de 5 en 5 cm

Le test tarière

La valeur du test tarière est la moyenne des profondeurs d'enfoncement d'une tarière hélicoïdale de 4 cm de diamètre (fig.19) en divers points du terrain. La tarière doit être enfoncée verticalement.



Ce test s'est révélé souvent corrélé avec la fertilité des stations forestières. Il synthétise la pierrosité, la profondeur des matériaux et la compacité du sol. Il doit être utilisé avec prudence et toujours en complément des autres observations. Il ne dispense pas de l'ouverture d'une fosse pédologique ou de l'observation d'un profil.

La tarière hélicoïdale est particulièrement utile dans les milieux que l'on sait variables : par exemple en zone karstique, en présence de poches d'altérites dispersées irrégulièrement et de profondeur variable, ou pour les sites où l'épaisseur de colluvion peut varier très vite. Le test peut servir *a priori* pour positionner une fosse unique dans un endroit moyen, ou une série de fosses dans des sites représentatifs de la variabilité observée. Quand on soupçonne, dans une unité paysagère bien définie, la présence d'un gradient de profondeur ou de pierrosité, on peut effectuer le long d'un transect une série de tests permettant de vérifier ce gradient et de fixer quelques limites.

Le test tarière peut aussi servir *a posteriori* pour corriger des valeurs observées sur une fosse unique. Il peut donner une idée de l'épaisseur minimum du matériau lorsque la tarière pénètre facilement. Mais inversement une forte compacité ou une forte charge en cailloux arrêtent rapidement la tarière même si le substrat est profond.

La valeur du test tarière est très fortement liée à l'humidité du sol au moment du test, particulièrement en sols argileux ou limoneux. Dans des marnes humides d'un bad-land, la tarière peut s'enfoncer d'un mètre alors que le milieu n'a aucune potentialité forestière. Inversement, des sols à forte compacité peuvent se révéler difficilement pénétrables à l'état sec alors qu'ils sont profonds et fertiles.

Pour une correction ou une validation *a posteriori* de la fosse pédologique sur une station, on pratique au minimum cinq tests : un à proximité immédiate de la fosse pédologique, et quatre autres à 4 ou 5 m du trou dans quatre directions différentes. En cas de doute, on peut multiplier les tests pour évaluer la variabilité de la station.

Pour mieux évaluer la profondeur d'un matériau peu caillouteux et très profond, on peut enfoncer la tarière hélicoïdale dans le fond de la fosse pédologique.

Particularité des roches fluides

Les marnes et les argilites donnent naissance à des milieux particuliers dont il est très difficile d'évaluer la potentialité. Pour des stations très ressemblantes, on a parfois des différences de croissances de plusieurs classes de fertilité. Les cas extrêmes sont les « bad-lands », zones érodées sur roche fluide affleurante, où très peu d'espèces végétales arrivent à s'implanter et à survivre, avec une croissance extrêmement lente.

Les sables meubles peuvent aussi être classés dans les roches fluides mais présentent des contraintes moins aiguës et très différentes.

Contraintes des marnes et argiles

Elles appartiennent à la classe des poudres ou des suspensoïdes. Elles sont meubles et tendres (par opposition aux roches cimentées et dures comme les calcaires ou les grès) et ont une consistance terreuse. Leur composition monotexturale (limon ou argile) et l'absence d'éléments grossiers leur confèrent les propriétés d'un substrat très homogène, massif et peu aéré présentant des contraintes spécifiques :



C. Tailleux

Les sols développés sur marnes et argilites sont facilement érodables, faute d'éléments grossiers paillant la surface du sol, et de bancs rocheux pour limiter et canaliser le ruissellement. Dans les secteurs en pente forte, ils sont fréquemment dégradés à l'extrême, les difficultés de réinstallation de la végétation après incendie ou surpâturage ayant accentué les phénomènes érosifs. Ils constituent ainsi des « bad-lands ».



Alternance équilibrée entre roche dure et roche fluide

Contraintes mécaniques

Forte compacité à l'état humide et induration à l'état sec, limitant dans les deux cas la pénétration des racines et de l'eau. Les cycles de gonflement et rétraction des argiles exercent aussi une traction forte pouvant rompre les petites racines.

Contraintes hydriques

En période chaude, les marnes se dessèchent profondément par évaporation. Marnes et argiles présentent inversement une imperméabilité partielle qui limite leur réhydratation, notamment par les pluies violentes qui sont éliminées par ruissellement. Seules les pluies fines et prolongées permettent une réhydratation profonde, mais dans ce cas un excès d'eau rend ces substrats asphyxiants car le drainage y est très lent. En limite de réserve hydrique, elles présentent une très forte capacité de rétention de l'eau encore présente, ce qui limite l'absorption de celle-ci par les plantes.

Contraintes chimiques

Les marnes et certaines argilites peuvent présenter un excès de calcaire actif préjudiciable à la nutrition des plantes.

La croissance des arbres dans les sols peu évolués sur marnes et argiles est souvent inférieure aux prédictions annoncées par les clefs autécologiques, car les contraintes spécifiques de ces milieux ne sont pas prises en compte. Une façon de corriger cette distorsion est de considérer que les horizons pas ou peu altérés se comportent comme une roche dure impénétrable ou qu'ils sont constitués d'éléments grossiers inexploitablement par les racines. Par exemple pour le pin d'Alep, le fait de noter un pourcentage d'éléments grossiers de 95% pour les horizons peu altérés permet une prédiction correcte de la croissance observée. De même l'affleurement de couches non altérées doit être considéré comme un affleurement rocheux.

Facteurs de compensation sur roche fluide

Sur les alternances roche dure/roche fluide, la fertilité du milieu est meilleure que sur roche fluide pure. La différence devient très sensible quand la proportion de roche dure atteint 50%, particulièrement si les bancs de roche dure intercalés sont bien fracturés ou si le pendage est favorable. Les racines descendent en profondeur en suivant les fractures des bancs durs. À l'interface des couches, elles profitent de la réserve en eau des roches fluides en souffrant moins de leurs contraintes chimiques et mécaniques.

Les effets négatifs des substrats de roches fluides s'atténuent aussi avec la présence de colluvions d'origine différente, si l'épaisseur de ces dernières est suffisante. Ils sont limités pour un matériau allochtone de plus de 50 cm et disparaissent au-delà de 80 cm. Par contre, les colluvions d'origine marneuses conservent en partie les défauts du matériau parental. La fertilité n'est améliorée sur colluvion de roche fluide que si la pédogenèse a altéré et stabilisé le substrat et l'a enrichi en matière organique.

Le point de vue du pédologue

Les sols sont classés dans différentes nomenclatures dont l'objectif est d'unifier leur description et leur définition à l'échelle nationale, continentale ou mondiale. Ils sont répartis en classes, familles, types... Ces nomenclatures sont basées sur leurs caractéristiques physiques et chimiques, mais aussi sur leur organisation spatiale, leur mode de fonctionnement et de formation. La plus ancienne pour la France, qui est la plus connue des gestionnaires forestiers, a été établie par la Commission de Pédologie et de Cartographie des Sols (CPCS, 1967) ; la plus récente est incluse dans le Référentiel Pédologique (éditions INRA, 1992 et 1995).

On ne trouve pas tous les types de sols dans une région donnée du monde, car un type est déterminé par de très nombreux facteurs qui varient d'une région à l'autre : la ou les roches-mères qui lui ont donné naissance, le climat actuel et souvent les climats passés, la circulation verticale et latérale de l'eau, l'ancienneté du processus de pédogenèse, les remaniements qui ont pu l'affecter ponctuellement ou de façon récurrente, l'érosion qui élimine les parties superficielles, l'apport de matériaux ou de minéraux allochtones en surface ou par l'eau circulant en profondeur, la végétation, l'action de l'homme...

Reconnaître un type de sol par certaines de ses caractéristiques pédologiques (organisation verticale, type d'humus, couleur, horizon typique) permet souvent, pour un spécialiste ou un observateur expérimenté, de mieux analyser le fonctionnement du milieu actuel et éventuellement passé. Cela permet aussi d'identifier des contraintes ou des atouts qui sont liés à ce type de sol et qui ne peuvent pas être décelés par une simple observation de terrain ou dans une fosse pédologique superficielle : appauvrissement ou enrichissement chimique ou induration d'un horizon, présence potentielle d'un excès de certains éléments ou d'éléments toxiques, etc. En fonction du matériau, du climat et de la végétation, il sera aussi possible au pédologue de déterminer la vitesse probable d'évolution d'un sol, qui peut être perceptible à l'échelle de quelques dizaines d'années ou au contraire insensible à l'échelle d'un siècle.



G. Aubert

Poches de terra-rossa conservées dans les diaclasses de la roche

Le point de vue du pédologue est donc important si on veut affiner la connaissance d'un milieu ; cependant, dans la majorité des cas, les facteurs décrits dans ce guide et observables par un forestier de terrain suffisent pour déterminer le potentiel forestier d'un sol, à partir d'une évaluation du bilan hydrique et de quelques contraintes physiques ou chimiques.

Les forestiers peuvent avoir à faire référence, à l'occasion d'études de station ou de travaux scientifiques se déroulant sur leur territoire, à une description des sols par les référentiels cités ci-dessus. C'est pourquoi on présente ci-après très rapidement les principaux types de sols et d'humus qui peuvent se rencontrer dans la zone méditerranéenne française. Il faut être conscient qu'il existe un continuum entre les types de sols, et de nombreuses variantes de chaque type : le classement d'un sol dans un type est rarement évident.

Les principaux types de sol

Le contexte climatique et anthropique méditerranéen est à l'origine de sols présentant souvent des caractères de jeunesse, tels que :

- faible épaisseur ;
- forte charge en éléments grossiers ;
- horizons aux caractères peu différenciés ;
- pauvreté en matière organique.

Une très large diversité de sols peut être rencontrée. La liste suivante n'en donne qu'un aperçu.

La désignation des sols dans ce paragraphe fait appel aux deux nomenclatures : CPCS en caractère souligné, et Référentiel Pédologique *en italique*, auxquels il faut se référer pour plus de détails.

Classe I - sols peu évolués

Du fait de l'érosion, des incendies, du relief marqué de certaines zones, des remaniements anthropiques, ces sols sont fréquents. L'érosion a souvent mis à nu la roche-mère et accumulé plus loin les matériaux et fragments de roche déplacés ; les propriétés physiques et chimiques du sol dérivent alors directement des caractères du matériau original (autochtone ou allochtone).

1- Sols peu évolués d'ablation, plus ou moins amincis par l'érosion, sur roche dure (*lithosols*) ou tendre (*régosols*, *peyrosols*). La relative jeunesse du climat actuel a laissé subsister des traces des dernières périodes glaciaires : sols peu évolués brassés par solifluxion ou cryoturbation.

2- Sols peu évolués d'accumulation sous forme de colluvions ou d'alluvions récentes (*colluviosols*, *fluviosols*), ou encore sous forme de sable dunaire (*arénosols dunaires*).

Classe II - sols peu différenciés humifères à complexe absorbant désaturé

Il s'agit de sols en début d'évolution, sur substrat neutre ou acide, libérant peu de cations alcalino-terreux. Le complexe absorbant est plus ou moins désaturé, ce qui favorise l'installation de végétaux acidophiles dont la matière organique tend à s'accumuler, d'autant plus que le climat y contribue (sécheresse ou froid). Dans cette classe sont rangés les :

1- Rankers (*rankosols*), sur substrat plutôt autochtone (cf. photo p.19)

2- Colluviosols et fluviolosols humifères sur les substrats allochtones (cf. photo p.25).

Classe III - sols calcimagnésiques

Ce sont des sols à différents niveaux d'évolution associés généralement à des substrats calcaires ou dolomitiques. La solubilisation par les eaux d'infiltration, du calcaire (carbonate de calcium) ou de la dolomie (carbonate double de calcium et de magnésium), libère les ions HCO_3^- , Ca^{++} et Mg^{++} et détermine les propriétés particulières de ces sols. En absence de brassage par l'érosion ou par l'homme, les eaux d'infiltration éliminent progressivement les carbonates (décarbonatation) puis le calcium (décalcification) et le magnésium. La dissolution de la dolomie est plus lente que celle du calcaire. Dans les sols dolomitiques, la relative abondance des ions magnésium par rapport aux ions calcium contribue à inhiber l'effet nocif de ces derniers vis-à-vis des végétaux. Ainsi s'explique sur ces sols la présence possible d'espèces qualifiées d'acidophiles ou calcifuges, alors que le pH peut être un peu supérieur à 7 et que le complexe absorbant est saturé : châtaignier, chêne-liège, bruyères, fougère aigle...

Au cours de l'évolution de ces sols, outre l'élimination des ions cités ci-dessus, se produit une « brunification », apparition d'une couleur brune induite par les oxydes de fer hydratés et adsorbés par les argiles minéralogiques. Ce phénomène ne doit pas être confondu avec l'assombrissement du sol par enrichissement progressif en matière organique quand la végétation et le climat le permettent, qui donne une couleur plutôt grise. Les deux phénomènes peuvent se superposer.



Rendzine mince sur colluvion

Dans cette classe on trouve les :

1- Rendzines (*rendosols*), sols peu évolués, présentant un mélange de cailloux et de terre fine calcaire, plus ou moins humifère.

2- Rendzines brunifiées (*rendisols*), correspondant à un stade plus évolué, avec un horizon humifère moins épais dont la terre fine est décalcifiée, et sous lequel apparaît un horizon brun.

3- Sols humo-calcaires (*orga-*

nosols calcaires) où les espaces vides entre les éléments grossiers près de la surface ou dans les fissures s'emplissent de matière organique et de petits fragments de roche calcaire. La solubilisation du carbonate de calcium à la surface des éléments grossiers et de la roche maintient saturé le complexe absorbant. Ce substrat est propice à la croissance racinaire. La terre fine contient des petites particules calcaires (calcaire actif).

Sols humo-calcaires (*organosols calciques*), ressemblant au précédent mais dont le calcaire actif est absent ou a disparu.

4- Sols bruns calcaires ou dolomitiques (*calcosols et dolomitosols*). Ils se caractérisent par une très faible charge en éléments grossiers. La terre fine contient du calcaire actif ou de la dolomie. Sous l'horizon de surface organo-minéral, l'horizon sous-jacent est peu différencié.

5- Sols bruns calciques ou calcimagnésiques (*calcisols ou calcimagnésisols*). Ils se différencient des précédents par l'absence de calcaire actif et de dolomie, notamment sous l'effet de l'eau d'infiltration. Cependant, il reste assez d'ions calcium ou magnésium pour saturer le complexe absorbant.

Remarque : sous l'effet de la circulation d'eau, le calcaire peut, à des degrés divers, s'accumuler et former des encroûtements en profondeur faisant obstacle à l'enracinement.

Classe VI - sols brunifiés (brunisols)

Ils peuvent dériver de sols bruns calciques, ou apparaître sur des substrats silicatés ou siliceux non carbonatés.

En fonction de la richesse minérale du matériau d'origine et du degré d'évolution, ils peuvent être eutrophes, mésotrophes, oligotrophes, par ordre décroissant de richesse. La décalcification progressive entraîne une acidification et favorise l'entraînement des argiles qui peuvent s'accumuler en profondeur (lessivage). Selon l'ampleur de ces phénomènes, on obtient des sols bruns non lessivés. Le complexe absorbant de ces sols est riche en éléments nutritifs et les horizons superficiels riches en matériau fin (argiles, limons) ; des sols bruns faiblement lessivés (*brunisols luviques*), des sols lessivés (*luvisols*). L'entraînement des argiles et minéraux peut être latéral (exportation) sous l'effet des eaux de ruissellement, donnant des sols bruns appauvris.

Le lessivage des sols est un processus très lent, qui ne peut être perçu que sur des sols anciens épargnés par l'érosion et l'agriculture. C'est pourquoi les sols lessivés sont rares et très localisés en région méditerranéenne. La **classe VII : sols podzolisés** en est pratiquement absente (très rares vestiges de sols fossiles).



Sol brun sur colluvion : l'horizon brunifié est masqué en surface par un enrichissement en matière organique

Classe VIII - sols hydromorphes

Ils se trouvent surtout dans les fonds de vallées et vallons sur alluvions, plus rarement sur des versants ou replats en lien avec des apports d'eau assurés par la structure géologique locale. La reconnaissance de l'hydromorphie est essentielle pour le reboisement des terres agricoles qui peuvent, malgré une position topographique et une épaisseur de substrat favorables, présenter des potentialités forestières faibles à cause de l'hydromorphie limitant l'enracinement. Une nappe d'eau à faible profondeur, permanente ou temporaire, n'est pas défavorable si elle est bien oxygénée. Lorsque la nappe perd son oxygène et devient réductrice, (nappe stagnante et activité des micro-organismes dégradant la matière organique par exemple), elle asphyxie et tue les racines. Les principaux types rencontrés sont les pseudogleys (rédoxisols) lorsque l'engorgement du sol est temporaire, et les gleys (réductisols) lorsque l'engorgement est permanent ou très dominant. Plus difficiles à détecter sont les pélosols, sols peu épais de texture fine (argile, limon), en terrain plat ou peu incliné, qui peuvent subir des phases d'engorgement temporaire mais sur toute leur épaisseur. Le phénomène peut être rare et de courte durée, lié à des pluies exceptionnelles, et cependant très néfaste à la croissance de la végétation.

Classe IX - sols fersiallitiques (fersialsols)

Caractéristiques des climats méditerranéens et subtropicaux à saison sèche contrastée, ce sont des sols ayant évolué très longtemps sans remaniement. L'altération poussée des minéraux et la transformation des argiles a libéré de grandes quantités d'oxydes de fer, donnant une coloration rouge (terra-rossa), et d'alumine. Une partie des argiles fines a migré en profondeur. Le complexe absorbant étant encore partiellement saturé notamment de calcium, ce ne sont pas des sols pauvres. Ces sols ne sont présents en France que sous forme de vestiges épargnés par l'érosion (photo p.30).

Classe XII - sols salsodiques (salisols et sodisols)

Ils sont caractérisés par la salinité (sels marins) ou une sur-représentation de l'ion sodium. On les trouve à proximité du littoral (zones dunaires, Petite Camargue). Peu d'espèces arborées sont adaptées à ces sols.

Au sujet de l'humus

Les humus sont très mal connus en région méditerranéenne. D'une part parce qu'ils ont été peu étudiés ; d'autre part parce que la multiplicité et l'ancienneté des perturbations anthropiques et la fréquence des incendies rendent très complexes les relations entre le milieu, la végétation et l'humus. On ne peut pas généraliser dans l'espace et dans le temps à partir de quelques études ponctuelles.

Cependant, les grands types d'humus décrits dans l'ouvrage « l'humus sous toutes ses formes », publié en 1995 par l'ENGREF de Nancy, peuvent être retrouvés en région méditerranéenne. Comme ailleurs, de nombreux facteurs sont déterminants dans les processus de minéralisation et d'humification de la matière organique : conditions thermiques, hydriques et hygrométriques, caractères physiques et chimiques de l'horizon supérieur du sol, nature et quantité de matière organique accumulée sur et dans le sol, faune (prélèvement, retournement), etc.

Mais en région méditerranéenne, les originalités du climat et de la végétation sont à l'origine de particularités dans la formation des humus.

❖ L'évolution de la matière organique y est ralentie par la sécheresse estivale, qui limite l'activité biologique des décomposeurs de la matière organique, à la période où elle pourrait être la plus active. Les arthropodes consommateurs de débris et d'organes végétaux jouent ainsi un rôle accru par rapport aux bactéries et champignons ; les résidus non ingérés ou non digérés ont tendance à s'accumuler.

❖ Des horizons relativement humifères peuvent exister en l'absence d'une litière notable. La faible production de débris en milieu aérien, ou encore leur exportation par le vent et le ruissellement, sont compensées par l'incorporation de matière organique inerte dans le sol par les appareils végétatifs souterrains. Ce phénomène est souvent sous-estimé (photo ci-dessous).

❖ Des sols très humifères peuvent exister pour différentes raisons : insolubilisation et enrobage de l'humus par le carbonate de calcium, ralentissement de la minéralisation et de l'humification en montagne, sous l'effet de températures fréquemment basses et de la sécheresse estivale.

❖ La biodégradation de la matière organique subit des fortes variations intra et interannuelles suivant celles des précipitations ; l'aspect de la litière en un point donné peut être changeant dans le temps.

Contrairement aux autres régions de France, à cause des perturbations et du manque de références, les caractères de l'humus ne sont pas fondamentaux dans la recherche des potentialités forestières au travers du concept de station. Les caractères du substrat jouant un rôle dans l'enracinement, l'alimentation en eau et la nutrition minérale, ou encore dans la régénération naturelle, ont un rôle plus important que la matière humique.

Ce n'est qu'après un laps de temps d'un à plusieurs siècles qu'une végétation pérenne, dense et non parcourue par un incendie, pourrait instaurer des propriétés physico-chimiques de l'humus nettement différentes de celles que l'on rencontre habituellement de nos jours.



Les racines incorporent directement une grande quantité de matière organique dans le sol



Facteurs topographiques

Le climat et le substrat sont les éléments de base pour apprécier la fertilité d'une station. Le premier donne les quantités moyennes d'eau et d'énergie disponibles à l'échelle du paysage. Le second constitue l'élément récepteur qui va les recueillir et les mettre à la disposition de la végétation.

Mais la circulation de l'eau et de l'énergie est influencée par le relief environnant : la topographie, l'exposition et la pente.

❖ Pour la topographie, à toutes les échelles, on distingue trois classes de profils (fig.20) :

- des profils convexes, dont l'eau s'échappe facilement par gravité ;
- des profils concaves, favorables à l'accumulation et la rétention de l'eau ;
- des profils plans qui présentent un bilan neutre au niveau de l'écoulement de l'eau.

- des expositions chaudes : pentes exposées au sud où l'apport important d'énergie solaire détermine des températures élevées et favorise l'évaporation ;
- des expositions fraîches : versants exposés au nord qui à l'inverse reçoivent peu d'énergie solaire, et sont plus frais et plus humides ;
- des expositions neutres, correspondant à des situations planes ou de pente inférieure à 4°, et aux expositions à l'est et à l'ouest, qui sont alternativement chaudes et froides suivant l'heure de la journée.

L'exposition seule ne permet pas de connaître l'énergie solaire reçue en un point. En fonction de la pente, donc de l'inclinaison du terrain par rapport aux rayons du soleil, l'énergie reçue par m² variera considérablement (cf. plus loin indice de climat lumineux).



J. Ladièr

Haut de versant sous corniche

La topographie générale (fig.21 à 24)

Elle s'apprécie à l'échelle du paysage, kilométrique ou hectométrique. Elle indique sur quel type de forme du relief on se trouve. Cette détermination s'entend dans une approche géomorphologique de formation des reliefs et de répartition des matériaux.

Dès qu'il y a de la pente, il faut préciser deux directions (fig.20) :

- topographie longitudinale correspondant à la forme du relief dans la direction de plus grande pente ;
- topographie transversale dans la direction perpendiculaire à la plus grande pente.

Chacune de ces deux directions peut présenter indépendamment un profil convexe, plan ou concave.

❖ Pour les expositions, il y a aussi trois classes principales :

❖ Crête, sommet, croupe sont des positions topographiques dominant le relief, convexes dans une ou plusieurs directions, toujours propices à l'érosion, au départ des matériaux et à l'écoulement de l'eau. Les substrats types sont souvent des roches ou des altérites superficielles, caillouteuses ou rocheuses. Ces positions sont par ailleurs très exposées aux vents et à l'ensoleillement. Une croupe est soit une arête convexe à la jonction de deux versants, soit une éminence arrondie dominant un relief plat (fig.22 et 23).

❖ Le haut de pente, situé tout en haut du versant, est également une zone de départ de matériau et de tran-

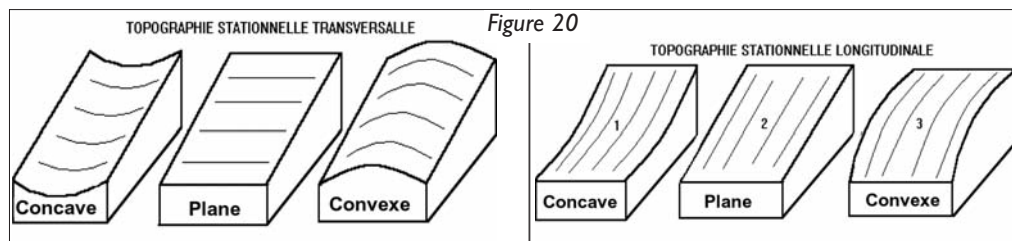
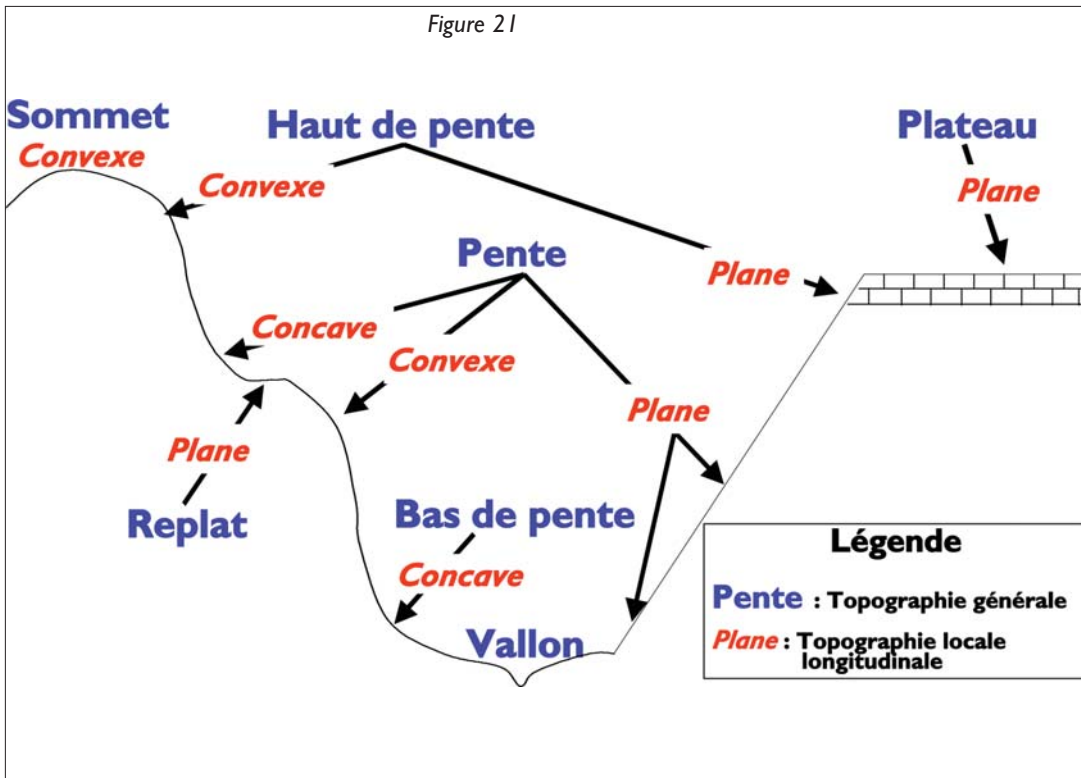


Figure 21



sit hydrique déficitaire mais il n'y a qu'une seule direction globale d'écoulement. Le haut de pente est en général associé à une topographie stationnelle longitudinale convexe. Le substrat type est une altérite.

En bordure de plateau, sous corniche ou falaise, le haut de pente est en général longitudinalement plan. Et le substrat type peut correspondre à un éboulis. Des résurgences d'eau en bas de falaise peuvent modifier le bilan hydrique. La micro-topographie transversale des hauts de pente peut être plane, concave ou convexe.

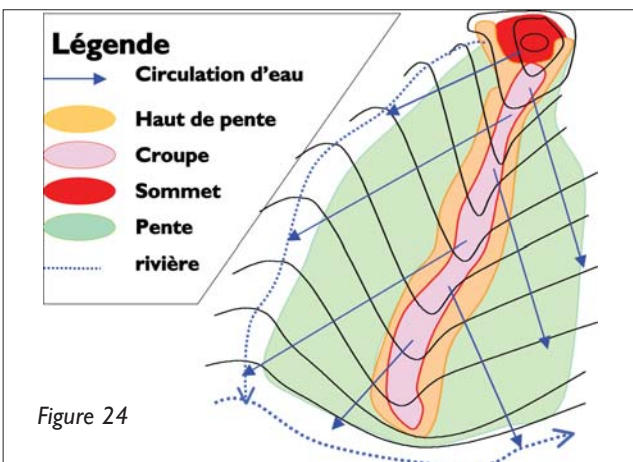
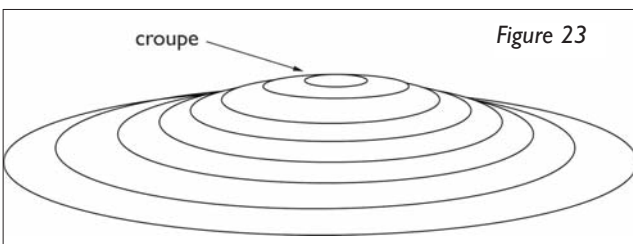
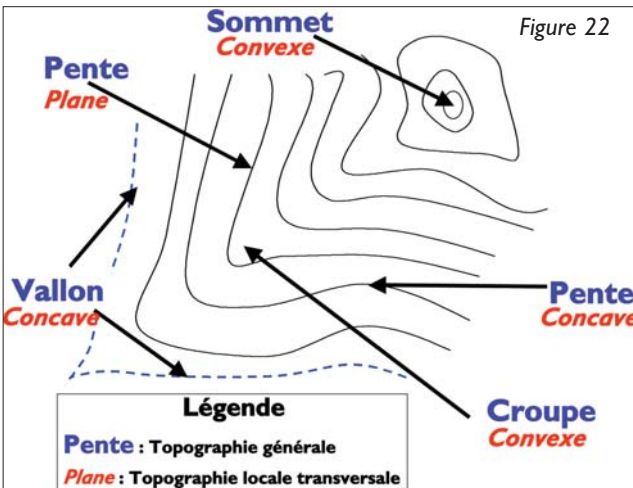
❖ *La pente* est la situation qui caractérise 80% ou plus d'un versant entre le haut

et le bas de pente. C'est une zone de transition où il y a, théoriquement, autant de départ que d'arrivée d'eau et de matériau. Elle correspond donc à des situations relativement équilibrées.

En fait, elle présente une grande variété de situations due à l'action de facteurs secondaires (exposition, inclinaison, micro-topographie, pendage, ravinement, etc.). On peut donc y rencontrer une grande diversité de matériaux.

❖ *Le bas de pente*, situé tout en bas du versant, est le symétrique du haut de pente. Une micro-topographie concave y est systématiquement associée et correspond à une zone d'accumulation des eaux et des matériaux d'origine allochtone. L'épaisseur de ces derniers y est souvent importante et contribue à créer une situation édaphique très favorable, bien que souvent de faible surface.

Il peut exister des situations de bas de versant qui, n'étant pas concaves, ne seront pas à considérer comme des bas de pente mais à classer dans le type « pente » (versant rectiligne se terminant directement dans un vallon en V).



Sur un versant, le relief peut dévier ou concentrer le ruissellement. La notion de pente doit être considérée au regard de cette circulation d'eau indépendamment de la notion de versant. Une station peut être fonctionnellement un haut de pente même si elle est en milieu ou bas de versant (fig.24)

❖ *Le vallon* est le symétrique du sommet, en termes tant géomorphologiques que climatiques.

C'est en effet une situation propice à l'accumulation de l'eau et des matériaux provenant de plusieurs directions (l'axe du vallon et ses flancs) ; c'est aussi une situation abritée du vent et de l'ensoleillement. L'encaissement plus ou moins prononcé peut en outre induire un effet de confinement qui piège la fraîcheur et l'humidité ; ce phénomène est variable suivant l'orientation du vallon par rapport aux vents dominants et à l'ensoleillement.

❖ La vallée et la plaine sont également des zones d'accumulation de l'eau et des matériaux d'origine plutôt alluviale, mais sans effet d'exposition. La présence de nappes phréatiques à faible profondeur complique souvent l'évaluation de leurs potentialités.

❖ Le plateau est une zone plate ou faiblement pentue à l'échelle kilométrique comme la plaine, mais surélevée. On y trouve des matériaux assez divers qui dépendent souvent de la genèse du plateau (arasement, basculement, exhaussement, dépôts, etc.). Les plateaux au sens géomorphologique peuvent couvrir de grandes étendues qui ne sont pas bien entendu absolument planes : on y rencontre des pentes, haut de pentes, vallons, croupes, etc., qu'il faudra noter comme telles à partir du moment où ces formes sont suffisamment étendues spatialement et suffisamment marquées pour influencer sur la potentialité stationnelle.

❖ Cas particuliers. Il faut noter l'existence de situations particulières qu'il est souvent possible de rattacher à une forme générale que l'on précise par la topographie stationnelle et la déclivité de la pente :

Cas particuliers	Topographie générale	Topo stationnelle transversale	Topo stationnelle longitudinale
Doline	plateau	concave	concave
Sillon	plateau	concave	plane
Replat	pente (inclinaison faible)	plane	plane

La topographie stationnelle

Elle apporte une précision à l'échelle de la station (décamétrique) sur la forme du terrain qui peut être concave, convexe ou plane. Cette morphologie peut s'exprimer dans le sens transversal ou longitudinal (fig.20). Normalement, une station forestière ne comporte qu'un seul profil topographique dans chaque direction. Dans le cas contraire, elle risque d'être hétérogène. Les situations types de la topographie générale peuvent avoir des profils variés de topographie stationnelle, même si certains sont imposés par leur définition : par exemple le type « bas de pente » de la topographie générale est toujours concave dans le sens longitudinal, mais il peut être concave, convexe ou plan dans le sens transversal (tab.6).

Des cas particuliers peuvent se présenter sur les pentes aménagées en terrasses, ou dans les situations très chahutées avec des variations très rapides de la micro-topographie (alternances de roches de duretés différentes, etc.). Dans ce cas, il faut se situer :

- soit à l'échelle de la micro-station pour observer plusieurs types de milieu homogènes de taille très réduite ;
- soit à une échelle intégrant un nombre important de répétitions des variations observées, la station faisant alors une moyenne de la variabilité observée.

Le choix de l'une ou l'autre échelle dépend de la précision recherchée. Pour l'évaluation de la potentialité forestière, on choisira plutôt la deuxième solution, car les arbres ont des systèmes racinaires étendus qui explorent dans ce cas toute la variabilité du milieu. Pour la recherche de microstations hébergeant des plantes rares de petite taille, on pourra adopter la démarche la plus détaillée.

Pour bien définir le bilan hydrique lié à la topographie locale, on peut synthétiser les deux directions (longitudinale et transversale) dans un indice de « topographie stationnelle ». Pour cela on attribue une note à chaque type de profil : concave = 1, plan = 0, convexe = -1. La somme des notes des deux directions varie de -2 pour une topographie défavorable dans les deux sens à +2 pour une topographie entièrement favorable en passant par tous les intermédiaires.

L'exposition

L'exposition joue un rôle sur la quantité d'énergie reçue, en conjonction avec la pente. L'exposition comme la topographie doit être mesurée à différentes échelles. On distingue généralement deux niveaux d'échelles ayant une influence sur la potentialité forestière.

Exposition du grand versant

Elle correspond à des reliefs d'ordre kilométrique pour leurs dimensions horizontales et de plusieurs centaines de mètres de dénivelé. De tels versants sont généralement découpés par des reliefs secondaires (crêtes, ravins, vallons), mais présentent à une échelle adaptée une direction d'exposition dominante. Lorsque cette direction est nettement chaude ou froide (grands adrets ou ubacs), elle induit une variation du climat local, principalement une hausse ou une baisse de la température moyenne, qui se répercute sur l'ensemble du versant. Cette variation est d'autant plus marquée que le versant est étendu et en pente forte.

Les grands versants ont aussi des effets indirects sur le climat, comme des inversions temporaires de température entre haut et bas de versant à cause des mouvements massifs de convection d'air chaud ou d'écoulement d'air froid. Les grands versants déterminent aussi parfois des conditions particulières pour la direction ou la force des vents dominants, par l'effet de barrière qu'ils jouent.

Exposition stationnelle

C'est l'exposition dominante de la station à l'échelle décamétrique, que l'on mesure en général avec une boussole dans le sens de la plus grande pente. Elle peut varier légèrement lorsque la

L'indice de climat lumineux défini par Becker exprime l'énergie lumineuse reçue sur une station, en pourcentage de l'énergie reçue par un plan de référence de même surface mais parfaitement horizontal. Il se calcule par la formule suivante :

$$ikr = \sin(C - \text{atan}(\text{pente} * \cos(\text{exposition}))) / \sin(C)$$

où la pente et l'exposition sont exprimés en radians, et où C est une constante dépendant de l'inclinaison moyenne annuelle des rayons du soleil par rapport à l'horizontale, et donc de la latitude. Pour la région méditerranéenne française, on peut prendre cette constante égale à 0,8203. Dans cette formule, l'exposition doit être mesurée dos au versant (en regardant vers le bas de la pente). Si on mesure l'exposition face au versant, il faut remplacer le signe - par + dans la formule.

Une station plane et horizontale aura un ikr égal à 1, une station en exposition chaude un ikr supérieur à 1 et une station en exposition froide un ikr inférieur à 1. L'ikr varie entre 0,2 pour une exposition plein nord en pente forte, à 1,32 pour une exposition plein sud en pente forte. Les expositions plein est et plein ouest ont un ikr égal à 1 (fig.25).

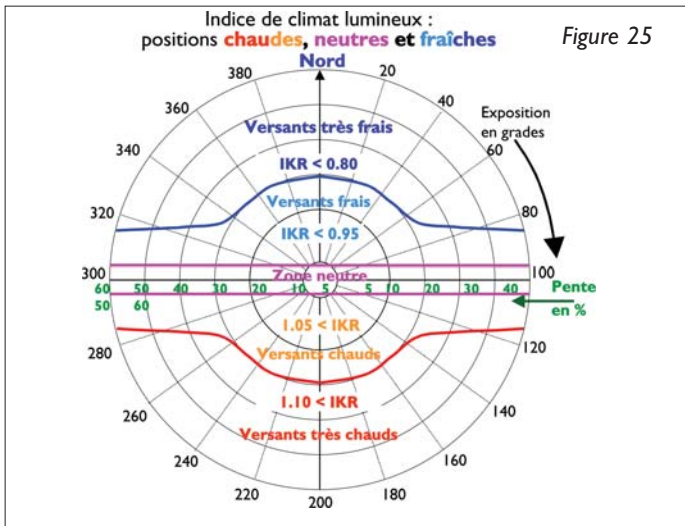


Figure 25

topographie stationnelle est marquée, mais ne doit pas varier beaucoup pour que la station reste homogène. Elle joue un rôle déterminant dans la potentialité forestière, car c'est à cette échelle que se mesure l'énergie solaire effectivement reçue par unité de surface. L'énergie reçue dépend simultanément de l'exposition et de la pente, et peut être évaluée par l'**indice de climat lumineux**, noté **ikr** (encadré).

L'ikr est une variable extrêmement puissante dans les études de milieu en région méditerranéenne. Il donne de bien meilleurs résultats que les variables exposition et pente séparés et même combinés.

Le rôle de l'exposition n'est pas parfaitement symétrique entre l'est et l'ouest. L'étude statistique d'un grand nombre de relevés floristiques montre qu'il y a un décalage de 5 à 10° de l'axe de symétrie vers une ligne NNE-SSO. Si la quantité d'énergie reçue est théoriquement la même pour des expositions est et ouest de même pente, cette énergie est reçue à des moments différents de la journée. L'exposition est, chaude le matin alors que la température de l'air est encore basse et l'hygrométrie élevée, ne souffre pas de cet apport d'énergie. À l'inverse, l'exposition ouest reçoit le maximum de chaleur dans l'après-midi alors que la température de l'air est élevée et l'hygrométrie minimale, ce qui accentue le stress hydrique en période estivale où cette contrainte est maximale.

La pente

Elle mesure l'inclinaison du terrain par rapport à l'horizontale ; elle joue plusieurs rôles :

- couplée à l'exposition, elle détermine l'énergie reçue par la station (voir ci-dessus) ;
- drainage du sol : plus la pente est forte, plus l'eau aura tendance à s'écouler par gravité et, si la station ne reçoit pas d'eau de l'amont, l'assèchement sera rapide ;

Comment observer les paramètres topographiques ?

La topographie générale est relativement simple à déterminer in situ en s'aidant des cartes topographiques au 1/25 000 ; il est recommandé de consulter les cartes lorsque le relief est peu marqué ou au contraire très varié, ou en cas de doute.

La topographie stationnelle n'est pas toujours aussi aisée à décoder, notamment quand il y a beaucoup de végétation ; il vaut mieux en cas d'hésitation prendre un peu de recul (s'éloigner du point de relevé) pour s'en assurer car c'est un facteur très important, notamment pour les formes en creux dans lesquelles l'accumulation de matériaux est plus importante qu'on ne le pense (fig.26). Les cartes IGN au 1/25 000 ne permettent pas de distinguer les formes microtopographiques qui varient à l'échelle métrique ou décimétrique. Certaines formes topographiques générales sont systématiquement associées à une forme stationnelle concave ou convexe comme l'indique le tableau 6.

L'exposition d'un grand versant ne peut être déterminée que sur les cartes au 1/25 000 ou 1/100 000, et il est parfois intéressant de s'aider des cartes en relief. L'exposition stationnelle se mesure à la boussole suivant la ligne de plus grande pente. L'inclinaison de la pente se mesure à l'aide d'un clinomètre dans la même direction, sur une distance suffisante pour gommer les irrégularités du profil ou faire une moyenne en cas de variation au sein de la station.

- mouvements de matériaux : on trouve rarement des sols épais sur versants raides, à la fois parce que les matériaux venant de l'amont ne sont pas facilement retenus, et parce que la violence du ruissellement provoque de l'érosion. Un seuil critique d'après les études autécologiques se situe autour de 27° (51%) de pente.

Le confinement

Il mesure l'interception de la lumière directe (ensoleillement) et indirecte (diffusion atmosphérique) par les reliefs environnants, proches ou lointains, à différentes heures du jour et différentes saisons. Il est surtout fort dans les vallées encaissées (cf. fiche climat). Il s'évalue sur le terrain en mesurant la pente entre la station étudiée et les points dominants et les crêtes des reliefs environnants pouvant avoir un effet de masque par rapport au soleil. Mais cette mesure n'est pas aisée car elle doit être faite dans plusieurs directions, et l'influence des reliefs est très différente suivant leur direction par rapport à la course du soleil. On peut se contenter en général de noter si le confinement est nul, faible, moyen ou fort. Pour plus de précisions, il est nécessaire de faire appel à un SIG qui calculera l'ombre portée sur la station par les reliefs environnants à différentes heures du jour et différentes saisons.

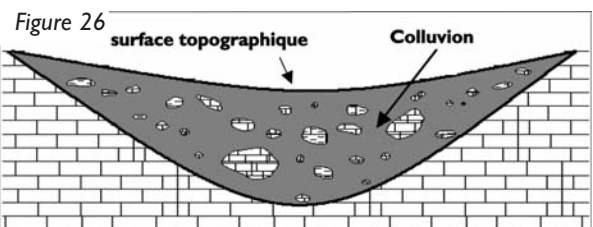


Figure 26

Tableau n° 6 : Relations entre topographie générale et topographie stationnelle (en gras les combinaisons obligatoires)

Topographie générale	topographie stationnelle		Topographie générale	topographie stationnelle	
	transversale	longitudinale		transversale	longitudinale
sommet, croupe	convexe	convexe	bas de pente	toutes	concave
crête, croupe	convexe	toutes	vallon	concave	toutes
haut de pente	toutes	plane ou convexe	vallée, plaines	toutes	toutes
pente	toutes	toutes	plateau	toutes	toutes



Facteurs anthropiques

On appelle facteurs anthropiques les modifications du milieu ou de la végétation qui résultent de l'action directe ou indirecte de l'homme.

Les actions anthropiques décrites dans cette fiche sont celles qui modifient des facteurs abiotiques (profondeur ou richesse du sol, topographie, climat...) et donc la potentialité des stations.

Celles qui agissent directement sur la végétation (sylviculture, débroussaillage, brûlages dirigés...) masquent les relations existant entre la flore et le milieu, rendant l'interprétation de ce milieu plus difficile. Mais elles ne modifient pas la potentialité, et ne sont pas traitées ici.

En région méditerranéenne, berceau de vieilles civilisations, les pratiques culturelles et l'aménagement des terres ont durablement modifié le milieu.



L'homme marque durablement les paysages méditerranéens, favorablement (terrasses) et défavorablement (incendies)

R. Schiano

Actions agricoles et forestières

Les terrasses

Elles sont appelées aussi banquettes, restanques, bancaous en provençal, faïsses ou barres dans les Cévennes. Il s'agit de murs en pierres sèches créés pour lutter contre l'érosion, retenir et accumuler la terre lors de la mise en culture des versants ou de fonds de vallons. Les terrasses ont parfois été remblayées, et ont toujours bénéficié du travail agricole : labour, fertilisation, épierrage.

Nombre de ces terrasses ont été abandonnées suite à l'exode rural ; elles se sont embroussaillées et boisées. En accroissant la profondeur du sol et la proportion de matériaux fins dans le sol, et en favorisant l'infiltration par rapport au ruissellement, les terrasses améliorent le bilan hydrique stationnel. Leur présence améliore fortement les potentialités des sites.

L'observation est facile lorsque les murs sont en bon état et rapprochés, moins évidente lorsque les murs sont plus espacés, écroulés et que la végétation masque leur présence.

À une époque plus récente, des terrasses de quelques décimètres à quelques mètres de largeur ont été tracées en courbes de niveau dans des versants entiers pour préparer leur reboisement. Ces terrasses réalisées en déblai-remblai, sans construction de murettes,

ont un effet favorable sur l'infiltration. Mais elles sont moins durables et, à moins d'être sous-solées, n'ont pas d'effet global d'approfondissement du substrat, le sol étant décapé en amont de la banquette pour remblayer son aval.

L'épierrage

C'est une pratique agricole courante, surtout sur des zones marginales ou très pierreuses où elle permettait la création de champs artificiels pour des cultures pauvres. Son existence est attestée par la présence des tas de pierres (clappes) qu'on rencontre fréquemment en forêt. Elle a une influence directe limitée sur la potentialité car elle ne modifie le sol que superficiellement, sans en accroître la profondeur. Le travail du sol qui l'accompagnait peut avoir une influence rémanente tout aussi grande, de même que l'effet de paillage du sol et de barrière anti-érosive joué par les tas de pierres lorsqu'ils sont nombreux. L'effet de l'épierrage est pris en compte dans la description du sol lors de l'évaluation du pourcentage d'éléments grossiers.

Le labour

Le labour du sol par les agriculteurs était en général accompagné d'autres pratiques transformant le milieu (épierrage, terrasses) et de l'usage d'engrais naturels ou artificiels. En décompactant les horizons superficiels, le labour a un effet favorable sur la potentialité des sites. Mais sur les sols lourds et en cas de passage répétitif avec les mêmes outils, le labour a sou-

vent tassé le sol juste en dessous du niveau de travail, créant un horizon compact très persistant, néfaste à l'enracinement. Détruire cette « semelle de labour » par labour profond ou sous-solage est nécessaire avant un reboisement.

Sur les substrats rocheux, un sous-solage brisant la roche sur 60 à 100 cm de profondeur a souvent précédé les reboisements à partir de 1960. Ce travail a le plus souvent des conséquences favorables sur la potentialité des sites, en favorisant la pénétration en profondeur des racines et l'infiltration de l'eau. Mais il a aussi parfois des conséquences néfastes comme la remontée en surface de gros blocs rocheux ou d'horizons riches en calcaire actif, et la perte de terre fine ou d'humus entraînés en profondeur.

La fumure

L'apport d'engrais pendant une longue période agricole a des conséquences durables sur la composition chimique du substrat, et induit des modifications locales de la flore pendant plusieurs dizaines d'années après abandon des cultures. On retrouve ainsi en forêt, avec la flore, des limites oubliées depuis longtemps.

L'épandage de boues de stations d'épuration ou de composts de boues est de plus en plus pratiqué. L'idée est d'accroître la fertilité du sol par apport d'éléments fertilisants et de matière organique. L'expérience prouve que si le sol n'est pas très pauvre, les effets ne sont sensibles sur la croissance initiale des reboisements que pour des apports très importants par hectare et que ces effets s'estompent rapidement. Pour avoir un effet à long terme, il faudrait en effet accroître significativement la profondeur et la composition du substrat, ce qui implique des apports considérables, lesquels posent d'autres problèmes comme l'accumulation de métaux lourds et autres éléments toxiques.

L'épandage direct d'eaux usées a par contre des effets favorables immédiats sur la potentialité d'un site, surtout si cet apport se poursuit en été, mais cet effet n'est pas durable.

Tout apport d'eau ou de fertilisation profite aussi à la végétation arbustive et herbacée qui devient envahissante et doit être contrôlée pour limiter les risques d'incendie.

Le pâturage

Le pâturage d'animaux domestiques sur des espaces plus ou moins boisés est une pratique constante en milieu méditerranéen depuis les temps préhistoriques (4000 av. JC) jusqu'à l'époque moderne.

L'impact actuel de cette activité, dans le cadre d'itinéraires techniques bien maîtrisés, n'est pas néfaste. Les pratiques anciennes par contre, faisant régulièrement appel au débroussaillage par le feu et sans contrôle de la charge en animaux, ont fortement dégradé le sol par érosion, tassement superficiel et appauvrissement en matière organique.

Le feu

Le feu peut être considéré comme un élément naturel de la dynamique des écosystèmes méditerranéens, utile au maintien de la biodiversité. Mais son usage incontrôlé par les civilisations anciennes en conjonction avec le surpâturage a considérablement dégradé le milieu. De nos jours encore, la trop grande fréquence des incendies dans les zones côtières en diminue régulièrement la potentialité forestière, surtout par ses conséquences indirectes (érosion, perte de matière organique).

Changements climatiques et atmosphériques

Température

Les changements climatiques imputés à l'activité humaine (effet de serre) ne sont pas encore précisément mesurés, mais leur réalité n'est plus contestée. Le réchauffement du climat en est l'effet direct le plus clair, se traduisant par une élévation de toutes les composantes de la température : moyennes, minimums et maximums aux échelles mensuelles et annuelles. Ce réchauffement se traduit par un accroissement du stress hydrique estival, qui limite la potentialité et peut être fatal aux espèces les moins résistantes. Mais parallèlement la saison de végétation démarre plus tôt au printemps et se termine plus tard en automne, alors que la réserve hydrique des sols est généralement bonne, ce qui favorise la croissance des arbres. Le bilan moyen du réchauffement est donc difficile à établir ; il est variable suivant les espèces : plutôt positif pour les espèces très méditerranéennes qui ne craignent pas la sécheresse, et négatif pour les espèces plus nordiques ou montagnardes en limite inférieure de leur aire.

Pluie

Aucun changement dans le régime des pluies n'a encore été mis en évidence, en raison de la très forte variabilité du régime actuel. Les scénarios calculés par la recherche météorologique pour les cinquante à cent prochaines années prévoient que la région méditerranéenne française ne devrait pas voir changer le total pluviométrique annuel, mais que les pluies seraient réparties un peu différemment : plus de précipitations en automne et hiver, moins en été, accroissement de la fréquence des pluies très violentes. Globalement, cette hypothèse prévoit donc un accroissement du stress hydrique estival, et une moins bonne efficacité des pluies tombées à cause d'une augmentation du ruissellement.



C. Millo, P. Lecomte

Jadis néfaste au milieu, le pâturage contribue maintenant à sa protection

CO₂

L'accroissement du taux de CO₂ dans l'atmosphère a un effet fertilisant direct sur les plantes, en améliorant l'efficacité de la photosynthèse. Mais le CO₂ a aussi un effet favorable indirect, en facilitant chez certaines plantes la régulation de la transpiration par les stomates. Perdant moins d'eau, les plantes résistent mieux à la sécheresse.

Pollution azotée

C. Tailleux

Les sociétés industrielles rejettent dans l'atmosphère des grandes quantités de produits azotés : soit directement par les pots d'échappement des véhicules et les cheminées des industries brûlant des produits pétroliers, soit indirectement par leur agriculture (évaporation et transformation des engrais azotés, émanation des lisiers des élevages...). Ces gaz et brouillards azotés se déposent à la surface de la terre à des taux qui varient suivant les régions entre 10 et 40 kg d'azote pur par hectare et par an.

Cet apport d'azote représente une fertilisation significative du milieu, et se traduit par une accélération de la croissance des végétaux, arbres compris. Par endroits, on observe une transformation de la flore, avec multiplication des plantes nitrophiles.

Autres pollutions

Les pics de pollution à l'ozone, fréquemment mesurés à proximité des grandes agglomérations au cours des périodes chaudes et sans vent, ont des conséquences très néfastes pour la végétation. Attaquant la cuticule des feuilles et aiguilles, l'ozone provoque des nécroses et affaiblit les plantes. Cette pollution peut se faire sentir jusqu'à plusieurs dizaines de kilomètres des zones d'émissions polluantes, notamment en montagne où la formation d'ozone est favorisée par la forte irradiation en lumière ultraviolette.

À proximité des côtes, l'effet des hydrocarbures et d'autres pollutions marines s'ajoute à celui du sel pour rendre les embruns marins encore plus agressifs vis-à-vis de la végétation. Dans les zones les plus polluées, des espèces normalement résistantes au sel montrent des nécroses anormales et même la perte d'une partie de leurs feuilles et aiguilles.

Les résineux qui conservent leurs aiguilles plusieurs années sont plus sensibles à ces pollutions chimiques agressives que les espèces caducifoliées qui renouvellent chaque année leurs organes abîmés.

Déprise humaine

L'arrêt de nombreuses activités ayant un impact direct sur le milieu constitue en lui-même un facteur anthropique. Ainsi depuis un siècle, l'homme a progressivement cessé de prélever l'humus forestier qu'il utilisait comme engrais naturel, les fougères et bruyères dont il faisait des litières pour ses animaux, les branches vivantes qui servaient de fourrage en période de sécheresse, le bois mort, les mousses, etc.

Avec l'allongement des rotations de taillis et l'arrêt de l'écobuage systématique, le relâchement de la pression anthropique conduit à une « remontée biologique » d'abord lente puis de plus en plus rapide. L'arrêt de l'érosion, la reconstitution d'un humus, l'enrichissement des horizons superficiels en matière organique, le retour à des niveaux normaux de la faune et de la flore du sol, modifient les conditions édaphiques et se traduisent par un gain important de fertilité et de potentialité forestière. La forêt devient plus dense et plus haute, ce qui favorise encore plus l'amélioration du sol, et le cycle de reconstitution de l'écosystème s'autoaccélère ainsi progressivement.



L'histoire des milieux méditerranéens est faite d'une succession de défrichements, aménagements et déprises

Conséquences indirectes des changements d'environnement

En dehors des conséquences observables ou prévisibles décrites ci-dessus, les modifications de l'environnement global ont des conséquences aléatoires difficilement prévisibles mais déjà observables dans d'autres régions du monde.

Ainsi le cortège des mycorhizes, primordial pour la nutrition des arbres forestiers et la résistance à la sécheresse de nombreuses espèces, pourrait évoluer sensiblement avec les changements climatiques et les dépôts azotés. Les conséquences peuvent être aussi bien positives que négatives, et très différentes d'une espèce à l'autre.

D'autre part, le changement climatique entraîne le déplacement rapide de nombreux animaux et végétaux, parmi lesquels des parasites et prédateurs des plantes : insectes ravageurs, champignons pathogènes. Certaines épidémies comme le chancre du pin d'Alep actuellement en plein développement en Provence pourrait être attribuées à ces changements.

Conclusion

Une station forestière doit être considérée comme temporellement évolutive. Tout en restant homogène sur l'ensemble de sa surface, elle peut gagner ou perdre en potentialité forestière en fonction des changements d'environnement global et sous l'action des facteurs anthropiques. C'est particulièrement vrai des stations couvertes de forêts jeunes sur des sols dégradés, qui peuvent gagner plusieurs classes de fertilité en deux générations d'arbres. C'est vrai de toutes les stations forestières sous l'effet des changements climatiques et atmosphériques. Globalement, le pin d'Alep a ainsi gagné 4 m de hauteur moyenne en 100 ans dans le Sud de la France, toutes stations confondues.

Tableau 7. Les étages de végétation en région méditerranéenne française (d'après Ozenda, 1975 et Godron, 1988)

ÉTAGE	Température (altitude, distance à la mer, pente/expos)				Pour mémoire	
	CHAUD ←	MESO-Méditerranéen	SUPRA - Méditerranéen	MONTAGNARD Méditerranéen		→ FROID
	THERMO-Méditerranéen	MESO-Méditerranéen	SUPRA - Méditerranéen	MONTAGNARD Méditerranéen	SUBALPIN méditerranéen	
	Étage de l'orange, du myrte ou encore série du caroubier. Regroupe des formations végétales variées très thermophiles (t° moyenne annuelle >15°C). Bien représenté entre Menton et Nice où il s'élève localement jusqu'à 400 m d'altitude en exposition sud, il se réduit à une mince bande côtière plus à l'ouest, s'élargissant sur quelques centaines de mètres dans les vallons les plus chauds de Estérel, des Maures et des calanques. Il disparaît à l'ouest de l'embouchure du Rhône pour ne réapparaître dans le Languedoc que dans les Pyrénées-Orientales (côte Vermeil) ou d'après certains auteurs à partir d'Agde, jusqu'à Banyuls-sur-Mer.	Étage des chênes à feuilles persistantes Très présent à basse altitude en Provence, Languedoc et Roussillon, il remonte aussi les vallées des fleuves (Aude, Têt, Rhône, Durance) jusqu'à 400 m d'altitude. On distingue des faciès chauds à pin pignon sur sols sableux et sur la côte, pin d'Alep sur marnes et dalles rocheuses, chêne-île sur sols acides, et des faciès plus frais et mieux alimentés en eau à chêne pubescent.	Étage des forêts caducifoliées Il est dominé par le chêne pubescent dans l'arrière-pays provençal, les Préalpes du sud, le sud du Massif Central et les Pyrénées-Orientales, jusqu'à 1200 m d'altitude. Dans les Alpes-Maritimes il est représenté par le charme-houblon. Sur substrat acide (Maures, Cévennes, Corbières et Pyrénées-Orientales), le châtaignier, souvent introduit, constitue maintenant l'essence emblématique, accompagné du pin maritime.	Étage des brouillards Sur les montagnes méditerranéennes au-dessus de 700-1000 m suivant l'exposition (Ste-Baume, Ste-Victoire, Luberon, Ventoux, Lure, Cévennes méridionales, Pyrénées-Orientales), les hêtres et hêtres-sapinières occupent les crêtes sommitales et les hauts de versants, souvent en exposition nord car elles exigent une humidité atmosphérique élevée et des températures assez basses. Cet étage occupe plus de surface dans les franges méditerranéennes du sud des Alpes et du Massif Central. Les zones plus sèches pour des raisons édaphiques, et en exposition sud, sont occupées par le pin sylvestre.	Limite des forêts naturelles, pré-bois fréquent Le caractère méditerranéen de la végétation, reflet de la sécheresse estivale, s'atténue avec l'altitude (évapotranspiration faible, orages), le manteau forestier moins dense laisse une large place aux landes et groupements herbacés entretenus par le pâturage. Cet étage est bien représenté au-dessus de 1400-1600 m dans le sud des Alpes et de 1500-1800m dans les Pyrénées. On le trouve ponctuellement sur des sommets isolés (Pic de Nore et Mt-Aigoual).	ALPIN médit Étage asylvatique Il est représenté par une mosaïque de milieux divers (rochers éboulis pelouses, marécages), de surface souvent très réduite, sur les plus hauts sommets des montagnes sud alpines au-dessus de 2000-2500 m. Il n'y a pas de mois sec en moyenne mais la pluviométrie est réduite en juillet et surtout août, avec régulièrement des années de sécheresse estivale.
Altitude et localisation						
	<i>Ceratania silqua</i> <i>Chamaerops humilis</i> <i>Cnesorion tricoccum</i> <i>Cornaria myrsifolia</i> <i>Coronilla valentina</i> <i>Euphorbia dendroïdes</i> <i>Laurus nobilis</i> <i>Lavatera maritima</i> <i>Myrtus communis</i> <i>Nerium oleander</i> <i>Olea oleaster</i> <i>Teucrium fruticosum</i>	<i>Arbutus unedo</i> <i>Asparagus acutifolius</i> <i>Clematis flammula</i> <i>Daphne gnidium</i> <i>Jasminum fruticosum</i> <i>Lonicera implexa</i> <i>Phillyrea angustifolia</i> <i>Phillyrea latifolia (media)</i> <i>Pistacia lentiscus</i> <i>Pistacia terebinthus</i> <i>Quercus ilex</i> <i>Rhamnus alaternus</i> <i>Smilax aspera</i> <i>Viburnum tinus</i>	<i>Acer monspessulanum</i> <i>Acer opalpus</i> <i>Brachypodium phoeniceoides</i> <i>Buxus sempervirens</i> <i>Colutea arborescens</i> <i>Coronilla mas</i> <i>Coronilla emerus</i> <i>Cotoneaster tomentosus</i> <i>Gytis sessifolius</i> <i>Helleborus foetidus</i> <i>Lonicera etrusca</i> <i>Quercus pubescens</i> <i>Rhus cotinus</i> <i>Sorbus aria</i> <i>Viburnum lantana</i>	<i>Asperula odorata</i> <i>Corylus avellana</i> <i>Epilobium montanum</i> <i>Fagus sylvatica</i> <i>Festuca silvatica</i> <i>Luzula silvatica</i> <i>Melica uniflora</i> <i>Mercurialis perennis</i> <i>Phyteuma spicatum</i> <i>Prenanthes purpurea</i> <i>Rhamnus alpicola</i> <i>Rubus idaeus</i> <i>Sanicula europaea</i> <i>Sorbus aucuparia</i>	<i>Alnus viridis</i> <i>Calamagrostis villosa</i> <i>Festuca paniculata</i> <i>Festuca flovescens</i> <i>Homogyne alpina</i> <i>Larix europaea</i> <i>Lonicera nigra</i> <i>Luzula sibirica</i> <i>Monotropa hypopitys</i> <i>Pinus uncinata, P. cembra</i> <i>Pyrola minor</i> <i>Pyrola secunda</i> <i>Rhododendron ferrugineum</i> <i>Ribes petraeum</i> <i>Vaccinium myrtillus</i>	Cet étage est rappelé pour mémoire car il est peu représenté et pour certains auteurs d'origine anthropique
Sans distinction simplifiée						
Corège floristique simplifié						

Étage méso-méditerranéen dit « du chêne vert » : principales séries de végétation

Séries	Pin d'Alep / calcaire dur			Chêne pubescent / marno-calca.		
	Pin d'Alep / marno-calcaire	Pin d'Alep / calcaire dur	Genévrier de Phénicie	Chêne pubescent / marno-calca.	Chêne pubescent / marno-calca.	Chêne pubescent / marno-calca.
dégradation	garrigue à romarin	garrigue à chêne kermès	Série rupicole	Landes à genêt et oxyèdre		
	<i>Adenocarpus telonenis</i> <i>Arbutus unedo</i> <i>Calluna vulgaris</i> <i>Calycotome spinosa</i> <i>Cistus monspeliensis</i> <i>Cistus salvicifolius</i> Erica arborea <i>Erica scoparia</i> <i>Lavandula stoechas</i> <i>Phillyrea angustifolia</i> <i>Pistacia lentiscus</i> Quercus suber	<i>Conis monspeliensis</i> <i>Erica multiflora</i> <i>Fumana confertifolia</i> <i>Genista scorpius</i> <i>Globularia alpicola</i> <i>Helianthemum lavandulaefolium</i> <i>Lavandula latifolia</i> <i>Lithospermum fruticosum</i> Pinus halepensis Rosmarinus officinalis <i>Saehelina dubia</i> <i>Ulex parviflorus</i>	<i>Amygdalier ovalis</i> <i>Coronilla juncea</i> <i>Globularia alpicola</i> Juniperus phoenicea <i>Quercus coccifera</i> <i>Quercus ilex</i> <i>Rosmarinus officinalis</i> <i>Stipa juncea</i> <i>Thymus vulgaris</i>	<i>Aphyllanthes monspeliensis</i> <i>Catananche coerulesca</i> <i>Dorycnium pentaphyllum</i> <i>Genista hispanica</i> Genista scorpius <i>Globularia vulgaris</i> Juniperus oxycedrus <i>Lavandula latifolia</i> <i>Linum campanulatum / salsoloides</i> <i>Latus corniculatus</i> <i>Potentilla verna</i>		
du stade de dégradation floristique						
Corège floristique						



La végétation

L'observation montre que les espèces végétales qui constituent la flore d'un territoire ne sont pas réparties au hasard : les mêmes espèces se retrouvent normalement avec une certaine constance dans les mêmes types de stations, constituant ainsi des associations végétales plus ou moins stables. L'observation de la flore d'un domaine d'étude peut donc apporter des informations précieuses sur les conditions écologiques du milieu et les niveaux de potentialité.

Cependant, cette observation doit toujours tenir compte du niveau de perturbation de la flore par des accidents naturels ou le plus souvent par des causes anthropiques, et ne comparer entre elles que des situations équivalentes de ce point de vue. Ces perturbations peuvent en effet faire disparaître totalement certaines espèces caractéristiques d'une association, et modifier profondément la liste et l'abondance des espèces présentes.

Classifications de la végétation

Il existe plusieurs modes courants de description et de classification de la végétation. Comme la classification des sols, celle de la végétation permet aux spécialistes de situer un peuplement forestier dans un contexte régional, national ou international. Un type de végétation prédéfini ne se développe que dans des limites en général connues de climat et de conditions édaphiques, et traduit un niveau donné de perturbation. Elle permet en particulier de différencier immédiatement les milieux calcaires des milieux plus acides, les milieux à humidité édaphique temporaire ou permanente des milieux toujours secs, etc. La connaissance des classifications de la végétation est donc utile pour analyser un milieu, car elle permet d'en cerner les principales caractéristiques.

Les étages de végétation

Le nom étage de végétation vient du lien très fort qui unit les espèces végétales avec la température : sur les grands versants homogènes, les types de végétation s'agencent en bandes superposées globalement horizontales correspondant à des limites thermiques. Les étages de végétation ne sont pas des entités précises ; leur définition et limites sont controversées, d'autant que ces limites sont souvent masquées ou déplacées par l'impact des activités humaines, et que le passage d'un étage à l'autre est progressif. Les étages sont donc des découpages empiriques destinés à décrire sommairement l'étagement altitudinal de la végétation, et à comparer entre eux des sites éloignés. Un étage est lié à des conditions thermiques, mais pas à une tranche altitudinale. On trouve en effet des températures semblables à des altitudes différentes suivant le climat local et suivant l'exposition : sur les adrets (versants chauds),

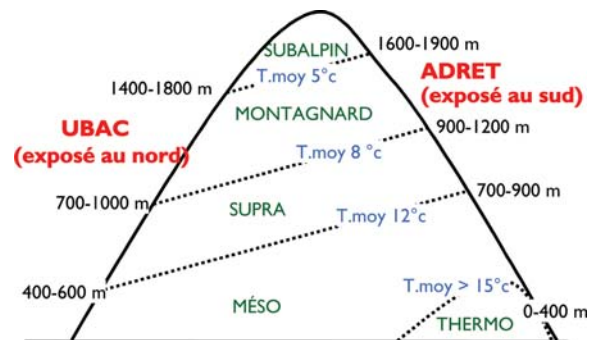


Figure 27. Étages de végétation sous climat méditerranéen

les étages sont décalés vers le haut par rapport aux ubacs (versants froids), de 100 à 400 m suivant la pente et l'ampleur du relief.

À l'échelle de la région méditerranéenne française, on distingue cinq étages principaux de végétation sommairement décrits dans le tableau 7, et schématisés sur la figure 27.

La désignation des étages par leur nom « climatique » (thermo, méso, supra...) est préférable à l'appellation basée sur une espèce arborée (ex. : étage du chêne vert), qui est remise en cause par l'évolution des connaissances sur la dynamique de végétation ; il est admis que le chêne pubescent, qui peut se développer jusqu'au littoral si les conditions édaphiques sont bonnes, a été repoussé dans l'arrière-pays par l'homme et la dégradation des sols. Par ailleurs, le chêne vert et le chêne pubescent se retrouvent dans d'autres climats hors de la zone méditerranéenne.

Les étages de végétation sont caractérisés par des cortèges de plantes. Chacun présente une diversité dans ses cortèges qui reflète la variabilité du territoire qu'ils couvrent : au sein des étages, on distingue donc différents faciès, liés aux variations locales des facteurs topographiques et édaphiques. Un faciès est globalement lié à un type de stations.

Certaines espèces arborées présentent une large amplitude écologique qui leur permet d'être présent dans le peuplement dominant de plusieurs étages de végétation (par ex. pin sylvestre). Les perturbations font que des cortèges floristiques très différents (séries) peuvent se succéder sur les mêmes stations.

Les séries de végétation

Une série de végétation comprend toutes les formations végétales correspondant aux stades de dégradation ou de reconstitution, naturelle ou artificielle, du milieu et de la flore d'un faciès. Une série comprend donc toutes les formations arborées, arbustives et herbacées que l'on peut trouver sur un type de stations donné.

Une série est désignée par l'espèce arborée qui domine la phase avancée d'évolution des peuplements forestiers, mais le contexte biogéographique doit être précisé car une même espèce arborée peut être dominante dans des séries de végétation très différentes : par exemple le pin sylvestre est « tête de série » dans certains versants supra-méditerranéens des Alpes du Sud mais aussi dans l'étape montagnard de la zone intra-alpine.

Exemple d'étape, faciès et séries : l'étape méso-méditerranéen

Cet étage a été caractérisé par le chêne vert, qui domine actuellement les séries à basse altitude sur les zones calcaires et les sols moyens à mauvais. Mais il comprend de nombreux faciès dominés par d'autres espèces, déterminant des séries parmi lesquelles on distingue par exemple (tab.7) :

- une série du pin d'Alep sur substrat marneux, marno-calcaire, molassique ou grésocalcaire, et sur calcaire dur affleurant dans des conditions de température moyenne très élevée ;
- une série du chêne-liège (accompagné du pin maritime) sur sol siliceux. Cette série est largement artificielle, chêne-liège et pin maritime ayant été étendus et favorisés par l'homme depuis longtemps pour leur production de liège, bois et résine ;
- une série du chêne pubescent sur terrain profond et bien alimenté en eau, représentée surtout dans la partie supérieure de cet étage, et de manière plus localisée dans les vallons de la partie inférieure ;
- une série du genévrier de Phénicie dans les zones rupicoles, surtout en partie supérieure de l'étape.



L. Marsol

La série du chêne-liège se développe sur les faciès acides dans l'étape méso-méditerranéen

Les séries de végétation ont été dessinées dans les cartes de la végétation de la France, par le Service de la Carte de la Végétation de Toulouse. Il existe plusieurs définitions des séries, si bien que certaines s'étendent sur plusieurs étages comme celle du chêne pubescent présent dans le méso-méditerranéen (supérieur) et le supra-méditerranéen.

Phytosociologie

Dans le système phytosociologique, chaque association végétale de base et chaque niveau de regroupement de ces associations sont nommés à partir de quelques plantes caractéristiques, et classés de façon précise. Une liste des plantes le plus souvent associées aux espèces caractéristiques complète la description. Chaque association est aussi reliée à des conditions écologiques données, et à un niveau de perturbation de la flore. En effet, différentes associations peuvent se succéder dans le temps sur une même station au cours de phases de dégradation et de reconstitution de la végétation ou de la station elle-même ; on peut alors préciser leurs liens de filiation.

Les associations de bases sont regroupées par ordre de généralisation croissante en alliances, ordres, classes (encadré). Cette nomenclature sert de base à la directive européenne « habitats » (Natura 2000) pour désigner les types de végétation méritant une protection prioritaire.

Cartographie de la végétation

Il n'existe pas aujourd'hui de carte précise des étages de végétation en région méditerranéenne. Le découpage en petites régions naturelles (chapitre 2 de ce guide) répond en partie et à petite échelle à ce besoin.

La classification phytosociologique

Les associations végétales de base ont un nom se terminant par *-etum* : par exemple, la chênaie pubescente d'arrière-pays à moyenne altitude sur calcaire est désignée par l'association *Querceto-buxetum*, d'après le chêne pubescent (*Quercus*) et le buis (*Buxus*). Suivant les auteurs, une association peut être assez synthétique ou au contraire désigner une composition floristique très précise liée à des conditions de milieu particulières, ou être découpée en plusieurs sous-association (terminaison en *-etosum* par ex : *Corylo-buxetosum*, stade intermédiaire de reconstitution de l'association principale ci-dessus à partir d'éboulis). On distingue parfois des variantes et faciès désignés par une plante caractéristique ou particulièrement abondante (ex. variante à *Hedera*, où le lierre abonde).

Les associations sont regroupées en alliances, dont les noms se terminent par *-ion* et qui ont une portée régionale ou inter-régionale. L'alliance *Quercion pubescenti-sessiliflorae* désigne ainsi les chênaies pubescentes de l'ensemble de la zone méditerranéenne, du Sud-Ouest, du Centre et de l'Est de la France (où il peut être en mélange avec le chêne sessile).

À un niveau supérieur, le regroupement se fait par ordres, dont les noms se terminent par *-etalia* puis par classes dont les noms se terminent par *-etea*. Ainsi les chênaies pubescentes méditerranéennes font partie de l'ordre *Quercetalia pubescentis* désignant toutes les chênaies pubescentes, et de la classe *Querceto-fagetea* regroupant le gros des peuplements ligneux mésophiles caducifoliés euro-sibériens sur sols riches, dominés par les chênes ou le hêtre.

Pour plus de détails sur cette classification, on peut consulter « Les groupements végétaux de la France méditerranéenne », Braun-Blanquet et al. 1952, CNRS Montpellier.

Intérêt et limite de la flore pour le diagnostic des potentialités forestières

Précautions générales

Il est rappelé dans cette fiche que la végétation présente un grand intérêt pour détecter des variations dans le milieu naturel, à condition de bien prendre en compte les perturbations naturelles et anthropiques. Les déductions que l'on fait à partir de la composition floristique et de la vigueur des plantes ne sont jamais totalement fiables, et le sont d'autant moins que la végétation est jeune ou dégradée. La flore permet de détecter des variations dans un milieu naturel, à un niveau de perturbation donné, mais les relations qui peuvent exister entre la flore et le milieu dans un site particulier sont difficilement extrapolables à des sites ayant une autre histoire.

Si la présence d'une plante est un fait indiscutable, son absence n'est pas un critère absolu. Dans les milieux perturbés, les plantes n'occupent pas toute leur aire potentielle dont elles ont pu être partiellement éliminées.

La simple composition floristique n'est pas en elle-même un bon indicateur de la potentialité. On constate en effet que la présence ou l'absence des associations végétales est en général très liée au climat, alors que la vigueur des plantes est plus liée aux conditions édaphiques et topographiques locales. Mais il existe des exceptions dans les cas particuliers de milieux très contraignants : sols salés, sols très hydromorphes ou tourbeux, falaises et dalles rocheuses... où c'est l'adaptation d'un petit nombre de plantes aux fortes contraintes locales qui détermine la composition dans une large

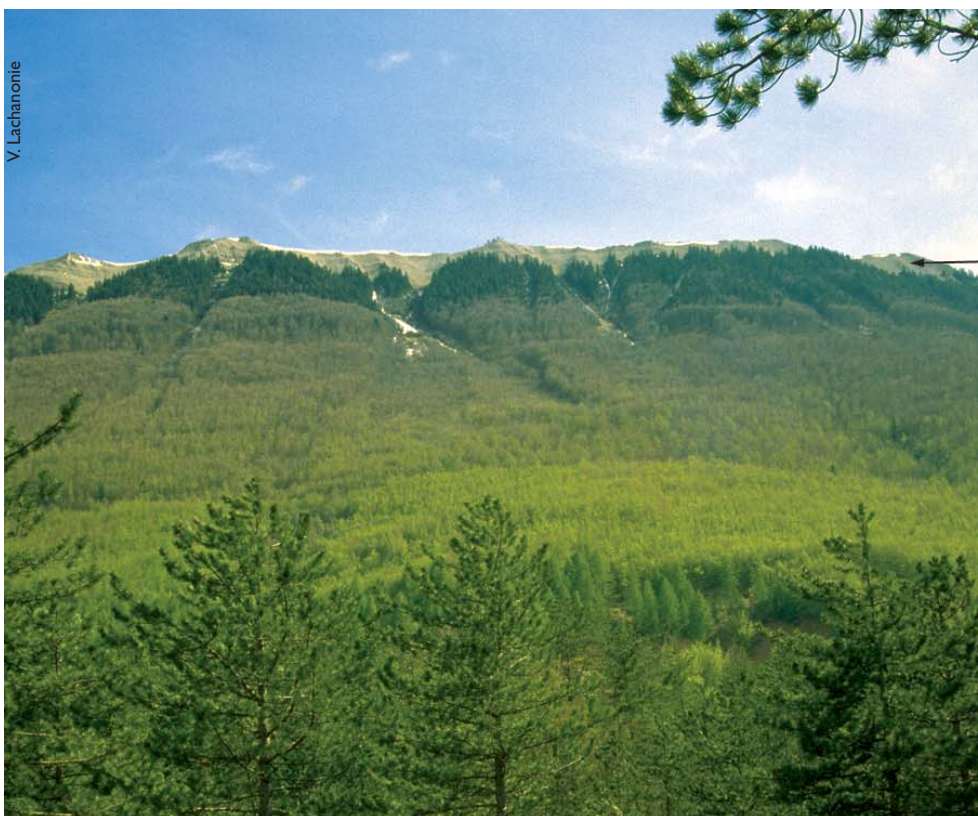
gamme de climats. Dans tous les cas, l'observation de la composition et de la vigueur de la végétation est nécessaire pour un diagnostic stationnel.

La flore permet en général sans ambiguïté de différencier les milieux dits « calcaires » des milieux dits « acides », donc d'éliminer d'emblée les essences inadaptées à chacun de ces milieux pour des projets de boisement. Mais ce classement ne présume pas de la potentialité des sites.

La présence de quelques spécimens vigoureux mais isolés d'une espèce connue pour ses fortes exigences en eau et en profondeur de sol ne signifie pas que le milieu lui soit globalement favorable : ces spécimens peuvent être confinés sur des micro-stations localisées qui ne sont pas représentatives de l'ensemble d'un site.

Les activités agricoles laissent dans le paysage des limites qui peuvent influencer durablement la composition et la vigueur de la végétation. Des limites entre parcelles pâturées et labourées, des anciens chemins, des vieilles terrasses effondrées... peuvent ainsi être marquées jusqu'à un siècle après le boisement naturel ou artificiel des terres, malgré l'uniformité apparente des stations. Les limites d'un incendie peuvent rester visibles dans la composition floristique plusieurs dizaines d'années dans des milieux forestiers évolués, mais aussi disparaître en quelques années dans des garrigues déjà très perturbées.

Étage de la végétation sur le versant nord de la Montagne de Lure



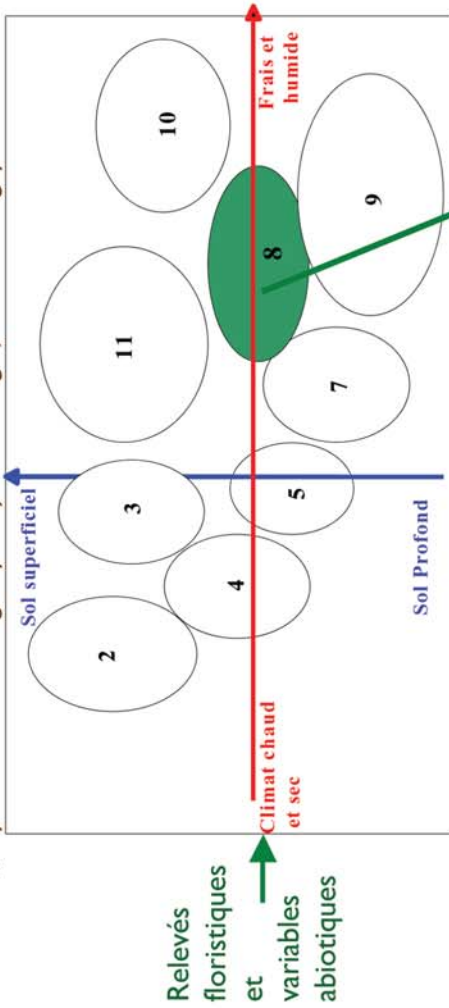
V. Lacharot

- étage subalpin asylvatique
- étage montagnard supérieur (sapin)
- étage montagnard inférieur (hêtre)
- étage supraméditerranéen (chêne blanc)
- plantation RTM de pin noir à la base de l'étage supraméditerranéen

Figure 28. Prise en compte de la flore dans le catalogue des stations du massif de Sainte-Victoire

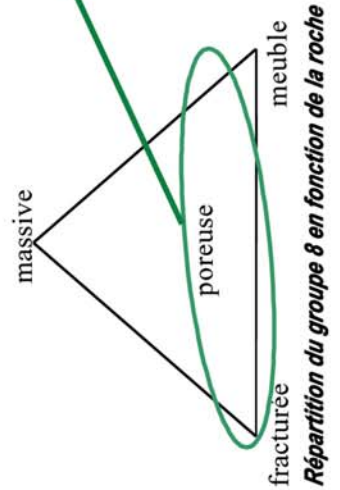
1- Des méthodes statistiques appropriées appliquées aux données de flore et de milieu permettent de répartir les plantes suivant deux axes traduisant les principaux gradients écologiques, et de les associer en groupes suivant leur probabilité de se retrouver ensemble sur le terrain.

Ci-dessous, représentation de 9 groupes ayant une signification écologique sur ces axes



3- Une fois les groupes floristiques affinés, on peut étudier leurs relations globales avec les principales variables du milieu. Ci-dessous, exemple du groupe 8 avec quelques variables.

Exposition	Altitude	200	300	400	500	600	700	800	900	1000	
	fraîche	←									
	chaude	←									



2- La méthode des profils indicés indique pour chaque modalité de variables si une plante est statistiquement plus (+) ou moins (-) abondante ou de même abondance (0) que dans la moyenne des modalités. Le point (.) signifie que le test statistique n'est pas significatif. On peut ainsi affiner les groupes floristiques en ne conservant que les plantes ayant les mêmes profils.

profil indicés du groupe 8	Formation végétale couverte 50-100 %	topo - climat		substrat
		altitude 500 à 700 m	rayonnement frais (pente+expo)	
Quercus pubescens	+++	0	0	++
Rosa canina	++	0	+	+++
Genista pilosa	0	+	++	0
Genista hispanica	+	0	+	0
Amelanchier ovalis	+++	0	+++	0
Lonicera etrusca	+++	0	+	++
Rubus sp.	+	0	+	+++
Hieracium murorum	+++	0	++	++
Viola sp.	++	+	0	++
Sorbus domestica	0	0	.	0
Brachypodium pinnatum	0	+++	.	+
Crataegus monogyna	+	0	.	0
Ulmus minor	.	.	.	++
Cornus sanguinea	.	.	.	++

Le groupe 8 est particulièrement présent sous couvert dense, en exposition nord et altitude moyenne, sur calcaire dur fracturé, calcaire mameux ou marne et calcaire dolomitique, sur substrat peu caillouteux en surface correspondant plus à des matériaux colluviaux qu'à des altérites superficelles. C'est un groupe caractéristique de milieux assez évolués.

4- Ci-dessous, extrait du tableau de répartition des types de stations en fonction des facteurs abiotiques. Les types CM1 et CM2 sont parfois difficiles à différencier. La flore peut y aider : présence des groupes 10 et 12 et abondance du groupe 8 en CM2, etc.

STATION	CM1	CM2
Roche	Calcaire dur	Calc. mar. tendre
Facès	altérite L ou LA	colluvion La ou L
Matériau	...	favorable
Texture	300-500	300-600
Pendage	...	fraîche
Altitude	...	peute
Exposition	...	oui
Topographie	...	moyenne
Sol calcaire	...	...
Profondeur	...	...

Type Station	BR1	BR2	MA1	MA2	MA3	MA4	MA5	CM1	CM2
Roche	Brèche dur	Brèche tendre						calcaire mameux dur	calcaire mameux tendre
Facès	altérite	alt + coll						altérite	colluvion
Matériau	...	...	glacis	éboulis (chaude)	colluvion	colluvion	colluvion	...	colluvion
Exposition	...	...	chaude	chaude	fraîche	fraîche	fraîche	...	fraîche

Utilisation de la flore

Plusieurs niveaux de précision sont envisageables suivant l'échelle de travail.

❖ À l'échelle régionale, la reconnaissance des étages de végétation et de leurs séries aide à la réalisation de zonages, notamment bioclimatiques, utiles pour le découpage d'un territoire en grandes entités et la structuration du milieu préalablement à des observations plus fines. Les contours ainsi dessinés peuvent servir à délimiter les zones d'utilisation des espèces qui ont une limite climatique assez marquée : par exemple le cèdre qui craint l'excès de sécheresse de la Basse-Provence, le pin d'Alep qui souffre du froid et de la neige dans l'arrière-pays. Les principales limites sont connues et cartographiées à petite échelle sous forme de petites régions naturelles. La flore peut aider à préciser ces limites à l'échelle locale.

❖ Pour un diagnostic ponctuel concernant des petites surfaces (quelques ha et quelques relevés), l'essentiel de l'analyse doit s'appuyer sur l'observation des paramètres abiotiques. Dans l'approche spatiale, la flore peut révéler certains changements écologiques, notamment ceux qui sont souterrains et difficilement visibles.

❖ Pour des investigations portant sur des surfaces de plus en plus grande (du massif forestier à la petite région), et nécessitant de nombreuses observations stationnelles, la flore, toujours en complément des autres facteurs abiotiques, joue un rôle aux différentes étapes du travail :

- lors des investigations initiales et de la préparation de l'inventaire : pour la structuration du milieu et l'identification d'unités écologiques ;
- pour l'implantation des placettes : comme révélateur spatial de certains changements écologiques, et comme critère d'appréciation d'homogénéité des placettes ;
- au niveau du traitement des données, comme critère de validation des regroupements de stations qui sont faits sur la base des facteurs abiotiques ;
- au niveau des outils de restitution, comme critère secondaire ou complémentaire de reconnaissance de stations dans les typologies ou les clefs autécologiques.

Les méthodes statistiques permettant la constitution de groupes floristiques et l'étude des relations entre les plantes et le milieu sont une affaire de spécialistes et ne sont pas traitées dans ce guide.

Un exemple d'utilisation de la flore : le catalogue des stations du massif de Sainte-Victoire (Bouches-du-Rhône) 10 000 ha, 230 relevés (fig.28)

Dans le Massif de Ste-Victoire, la typologie des stations est basée en premier lieu sur les roches-mères : brèche, marne, calcaire marneux, calcaire compact, calcarénite, etc. Pour chaque roche, les césures suivantes se font sur le faciès de la roche (dur ou tendre), puis sur le matériau superficiel (éboulis, altérite ou colluvion), et enfin apparaissent quelquefois des sous-types, en fonction de l'exposition, de la topographie, ou de la texture.

À chaque césure, on a analysé la répartition des groupes floristiques présents dans les relevés, et vérifié que ces groupes se répartissaient différemment d'un type à l'autre, ce qui permet de valider biologiquement le choix fait sur des facteurs abiotiques.

Il faut noter que cette validation n'est possible que sur l'ensemble des relevés d'un type stationnel. À titre individuel, les relevés floristiques des placettes d'un type sont assez variables, et quelques placettes ont une flore très différente de la moyenne de leur type. Une clef de reconnaissance basée uniquement sur la flore ne permettrait donc pas d'identifier les stations de façon fiable, d'autant que le massif a été partiellement parcouru par un incendie.

La flore peut malgré tout aider à différencier sur le terrain des stations assez proches et possédant des potentialités différentes, lorsqu'on n'a pas accès facilement à certaines variables abiotiques déterminantes, comme le faciès de la roche.



Préparation des études de milieu

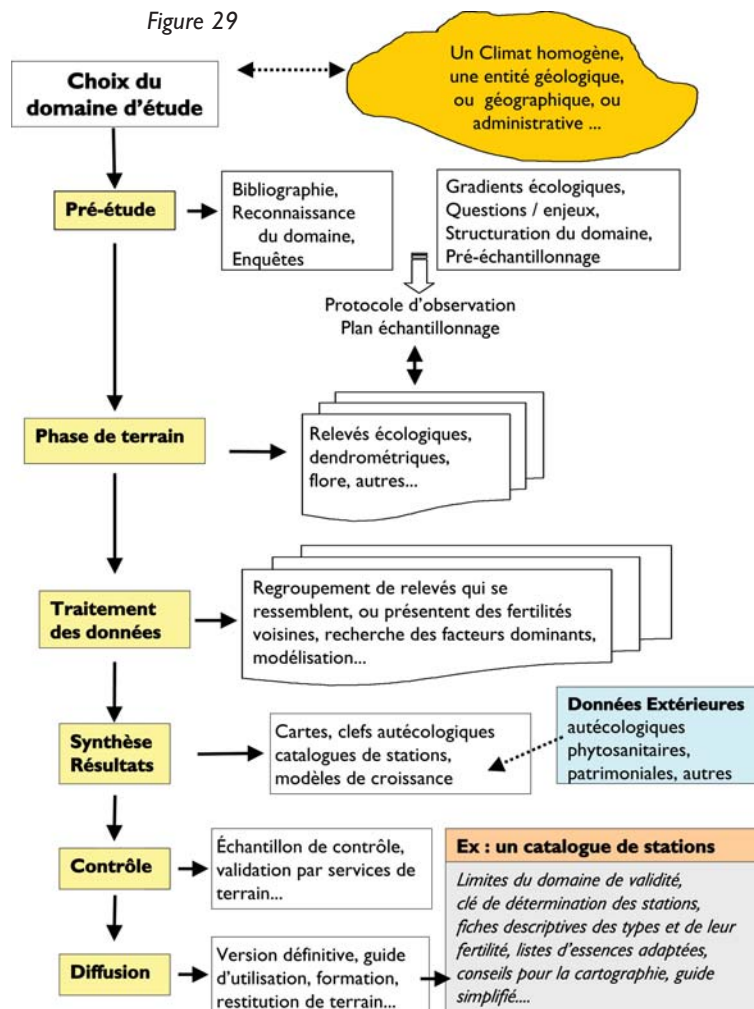
Méthode de travail

Les principales étapes d'une étude de milieu (fig.29)

Toute étude de milieu, quels que soient son importance, son type ou son objectif, doit suivre un plan de travail rigoureux dont les étapes sont définies ci-dessous :

- **La pré-étude** : son objectif est de rassembler le maximum d'information sous toutes ses formes pour faire connaissance avec le domaine d'étude et en comprendre la structuration écologique.
- **La collecte des données** : de leur qualité dépendra celle des résultats et la facilité d'analyse.
- **Le traitement** : saisie et mise en forme des données, puis l'analyse dont les qualités majeures doivent être l'objectivité et le caractère scientifique.
- **La phase de contrôle** est une phase de retour sur le terrain pour tester la validité et la fiabilité des résultats et propositions.
- **Les résultats** : ils doivent être accessibles et d'utilisation facile. Restitutions sur le terrain, stages de formation ou guides d'utilisation facilitent leur diffusion, et leur application par les gestionnaires.

Figure 29



Approche méthodologique

Quelle que soit la surface du domaine d'étude, l'analyse du milieu doit se faire en allant du général vers le particulier, à des échelles de précision croissante.

On parle d'*approche par échelles emboîtées*

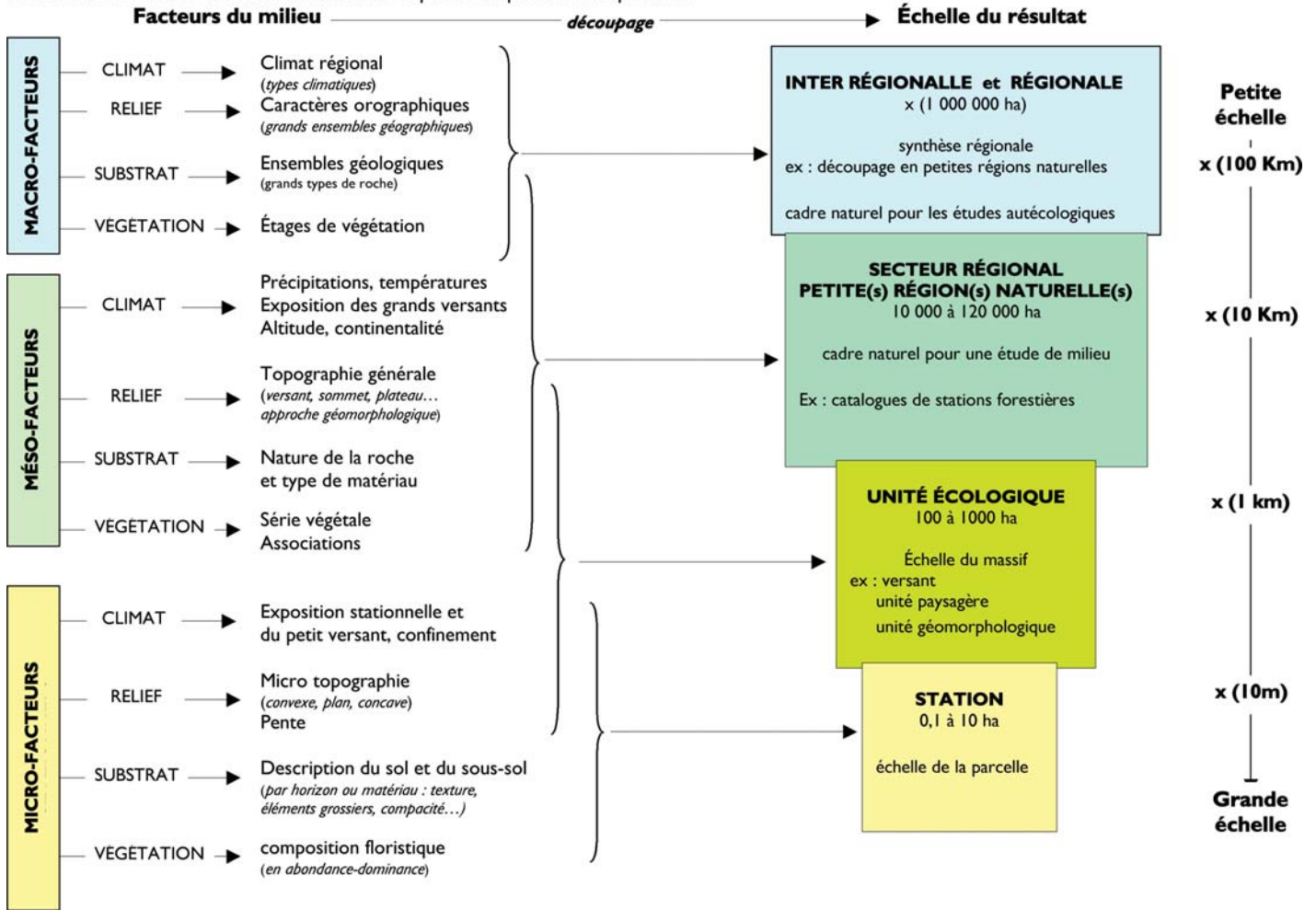
(cf. fig.30 : les échelles de travail, et fig.31 : un exemple)

- 1 - On commence par analyser les macro-facteurs qui structurent une région en sous-ensembles plus homogènes. On part en général d'une ou de quelques petites régions naturelles.
- 2 - Chaque sous-ensemble est ensuite analysé et découpé en unités écologiques sur la base de méso-facteurs d'ordre paysager qui rapprochent l'analyse du terrain.
- 3 - À l'intérieur de chaque unité, l'étude de la variabilité écologique s'appréhende à travers l'analyse des facteurs stationnels, dont l'observation nécessite une investigation fine sur le terrain.

À chaque niveau successif de l'approche, la pertinence du découpage peut parfois être étayée par l'analyse floristique.

Pour l'étude de petites surfaces, on peut commencer l'approche au niveau des unités écologiques, mais il est toujours utile de replacer le domaine d'étude dans un contexte plus vaste pour mieux le comprendre.

Figure 30. Les échelles de travail. Les études de milieu peuvent être abordées à des échelles très variées, suivant la précision et les objectifs recherchés. Les facteurs du milieu donnent une information adaptée à chaque niveau de précision.



Préparation des études de milieu, pré-étude

Pour décrire et caractériser les conditions de vie des arbres et expliquer les différences de potentialité d'un domaine étudié, il serait nécessaire, en théorie, de recueillir des données écologiques dans toutes les stations existantes (une forêt étant une mosaïque de stations contiguës). Cela est impossible et inutile dès que la zone étudiée dépasse quelques dizaines d'hectares : on doit alors se contenter de faire un inventaire plus rapide rendant compte néanmoins de la diversité écologique.

Il faut donc définir une répartition et une localisation judicieuses des observations à réaliser en un nombre restreint de relevés. C'est l'objet de la pré-étude et du plan d'échantillonnage.

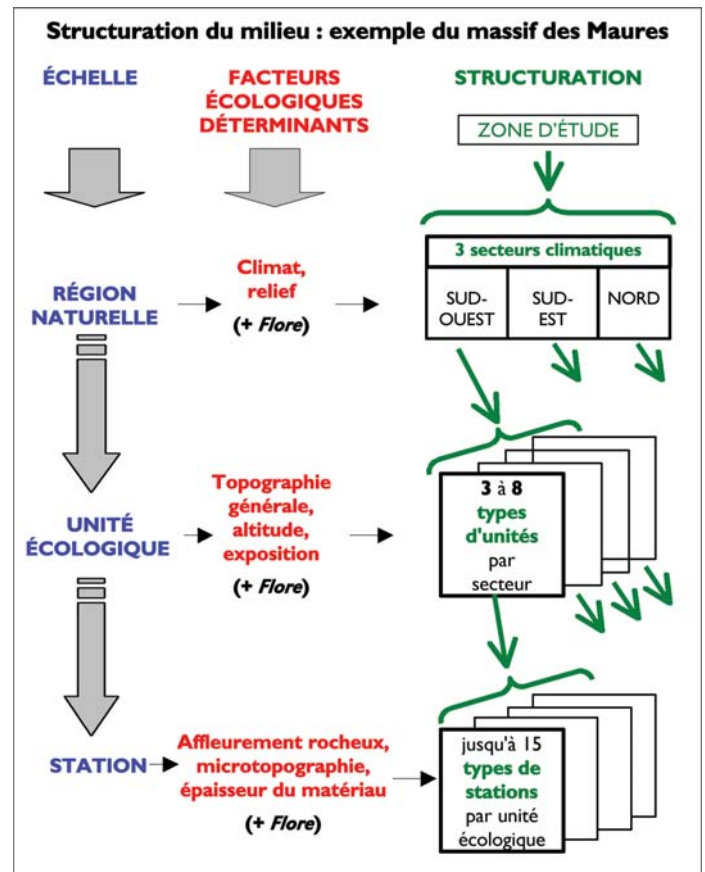
Les observations de terrain sont coûteuses en temps et argent
↓
Il faut **optimiser**
c'est-à-dire adapter les observations au problème posé.

**Noter tout ce qui est nécessaire
mais seulement ce qui est nécessaire**

**Les phases préparatoires au travail de terrain
sont fondamentales
pour la qualité de celui-ci**

Phases préparatoires

Figure 31



Il s'agit de faire connaissance avec le domaine d'étude :

- sur le plan physique : climat, géomorphologie et relief, roches et sols, topographie, hydrographie ;
- sur le plan anthropique : histoire, contexte socio-économique, enjeux de la gestion forestière, attentes des commanditaires de l'étude et des acteurs de terrain ;
- sur le plan biologique : végétation, zones protégées ou à haute valeur patrimoniale, histoire, productivité.

Cette prise de contact se fait initialement et en alternance avec la bibliographie, des enquêtes et interviews, la consultation d'experts, à l'aide de toutes les cartes disponibles (tab.8) et d'une reconnaissance rapide du territoire. Cette phase permet de faire un pré-découpage de la zone d'étude avant un approfondissement du travail.

Des visites de terrain ont pour objectif de **situer** le domaine d'étude dans son environnement, **repérer** et affiner les pré-découpages réalisés au bureau, **comprendre** à quoi cela correspond dans la réalité à travers les facteurs écologiques les plus évidents (altitude, topographie, exposition, géomorphologie, végétation). Au cours de ces visites, il faut chercher à comprendre le substrat (sol et sous-sol) et déterminer si possible certains facteurs écologiques cachés : principalement à travers les opportunités du terrain (*talus de piste, fossés, affleurements de roches, carrières, arbres renversés, falaises, etc.*) et à l'aide de quelques fosses pédologiques à des endroits stratégiques. On peut faire appel à l'observation de la flore avec toutes les précautions requises (cf. fiche végétation).

Il est souvent nécessaire, dans un deuxième temps, de réaliser un pré-échantillonnage : celui-ci est destiné à recueillir un premier jeu de données pour vérifier les hypothèses de base que l'on a formulées à partir de la première phase d'approche, ou pour compléter l'analyse de caractéristiques du milieu que les autres moyens d'investigation ne permettent pas de comprendre.

La pré-étude permet :

- de comprendre globalement le fonctionnement du système écologique ;
- d'appréhender sa variabilité et de définir ses principaux gradients ;
- de structurer le milieu par échelles emboîtées en délimitant des sous-ensembles (unités paysagères ou géomorphologiques) présentant un ensemble de caractéristiques climatiques, physiques et biologiques homogènes ;
- de capitaliser de l'information utile pour les observations de terrain ou l'objectif de l'étude ;
- d'établir le plan d'échantillonnage, le protocole d'observation, et la fiche de relevé.



Il est plus facile de structurer le milieu dans un paysage contrasté

Structuration de la zone d'étude

La contrainte principale de l'écologie en région méditerranéenne (et en montagne) résulte des variations spatiales rapides du climat, du relief et de la géologie qui font que les variations de potentialités forestières peuvent être fortes sur des petites distances. Ces variations suivent l'organisation des principales composantes du paysage, celui-ci constituant une trame riche de renseignements pour qui sait le lire. La méthode de travail est basée sur quatre étapes :

1 - la structuration de la zone d'étude (fig.32) grâce à une approche par échelles emboîtées. Cette démarche suppose de partir de la petite région naturelle concernée et de la découper en unités paysagères de plus en plus fines jusqu'à arriver à des compartiments caractérisés par un climat, une topographie et un substrat donnés. La définition des compartiments se fait en grande partie par interprétation des cartes et du paysage. Les variations résiduelles au sein des compartiments, notamment au niveau du substrat, permettent de distinguer des stations forestières.

2 - l'analyse écologique de compartiments représentatifs. Dans un paysage structuré, les unités paysagères, les compartiments, et au sein de ceux-ci, les stations, s'organisent de façon logique et parfois répétitive. Il est donc inutile de parcourir l'ensemble du territoire pour faire l'inventaire complet des stations ; un échantillon représentatif des compartiments est suffisant. L'analyse permet de comprendre le fonctionnement physique et écologique de chaque compartiment et les liens entre compartiments voisins, d'où découlent les caractéristiques et la potentialité forestière des stations.

3 - l'extrapolation à l'ensemble de la surface étudiée des résultats obtenus sur les compartiments représentatifs. On peut ainsi spatialiser les potentialités à partir d'un petit nombre d'observations ponctuelles.

4 - la vérification des hypothèses d'extrapolation. Il est nécessaire de vérifier, sur des points non étudiés et choisis au hasard dans les différents types de compartiments, que les hypothèses d'extrapolation étaient bonnes.

Cette méthode a de nombreux avantages :

- elle permet d'appréhender les stations forestières dans leur contexte ;
- elle permet de spatialiser les potentialités forestières en maîtrisant la finesse de définition et la précision cartographique du résultat ;
- elle peut et doit être adaptée au cas traité (surface, complexité, précision recherchée) au niveau des échelles comme au niveau du nombre d'étapes dans la structuration de la zone d'étude. La précision requise ne justifie pas toujours d'aller jusqu'à la station forestière. Il faut simplement avoir au départ une vision suffisamment large pour appréhender le contexte. On peut aussi travailler à des échelles de précision différentes sans changer de cadre : certains compartiments de la zone d'étude ne présentant pas d'enjeux forestiers ou écologiques, il est inutile de les étudier finement, alors que d'autres méritent une investigation approfondie ;
- elle est économique et performante en zone accidentée et quand la végétation est perturbée car elle ne nécessite généralement pas une phase de terrain trop lourde.

Cartes (origine)	Tableau 8. Documents cartographiques de base			
	Échelle	Renseignements	Limites d'utilisation	Recommandations
Topographiques Physiques (IGN)	1/25 000 1/100 000	Localisation, relief, dénivelé, topographie générale Exposition grands versants	Faible précision de la localisation. Micro-topographie illisible	Préciser les localisations : croquis d'accès, GPS
Géologiques (BRGM)	1/200 000 1/50 000	Grands ensembles géologiques Âge des couches géologiques Lithologie	Imprécision globale des limites, limites lithologiques absentes ou incomplètes	Reconnaissance et vérification sur le terrain
Végétation (CNRS) université	1/200 000 et autres	Groupements végétaux Formations végétales Contexte écologique (bioclimat, substrat, valeurs écologiques...)	Imprécision des limites et des échelles, ancienneté des cartes, mauvaises correspondances entre certaines cartes	Bibliographie complémentaire Reconnaissance sur le terrain
Climatiques (CNRS) Météorologie	1/200 000 Diverses	Fonds thermiques, mois sec, mois froid... Isohyètes, isothermes	Cartes CNRS PACA seulement Chiffres extrapolés, imprécision des limites (petite échelle)	Confronter avec la végétation
Écologiques diverses	Diverses	Petites régions naturelles ZNIEFF, réserves, zonages	Couverture incomplète Hétérogénéité des informations	Recoupement des informations
Pédologiques, pédo-paysagères		Nature et spatialisation des sols	Couverture localisée, plutôt en zone agricole	Reconnaissance sur le terrain
Forestières	1/10 000 1/5000	aménagements, zonages, parcelles, travaux, incendies...	Échelles variées, information partielle	Recoupement des informations
Historiques	Diverses	Occupation et activités humaines	Imprécision, fiabilité à tester	Recoupement avec données écologiques
Cadastre (mairie)	1/5000 à 1/2000	Parcellaire, infrastructure, activité, propriété	Rarement à jour	Vérifier, interviewer

Cartes (origine)	Documents cartographiques spécifiques			
	Échelle	Renseignements	limites	recommandations
Synthèses régionales	1/500 000	Limites des petites régions naturelles : types climatiques ensembles géographiques et lithologiques	Imprécision des limites ; disponible sur le CRIGE via Internet au 1/100 000	Reconnaissance sur le terrain
Carte d'indices climatiques de potentialités forestières (1)	1/500 000 à 1/10 000	Limite précise de classes de potentialités forestières sur la Provence calcaire (dépt 13, sud du 04, ouest du 83)	Donne une information d'ordre climatique à compléter sur le terrain par l'utilisation d'une clef d'évaluation topo-édaphique	Nécessite un SIG type ArcView ou Mapinfo
Cartes de stations forestières	1/10 000	Types de stations	Les cartes sont rares. Il manque souvent des guides d'utilisation des catalogues des stations	Apprendre à se servir du catalogue

(1) Étude des potentialités forestières de la Provence calcaire ouest, Cemagref 2001

Le plan d'échantillonnage

Le plan d'échantillonnage a pour but d'organiser la répartition et la localisation des observations pour minimiser et optimiser le travail de terrain. Sa conception est fonction de la précision recherchée dans l'étude et du type de milieu.

Le plan d'échantillonnage s'appuie principalement sur la structuration par échelles emboîtées réalisée dans la phase précédente, en cherchant à représenter les unités écologiques les plus précises qui ont été définies en croisant les structurations climatique et géomorphologique (fig.33). Ces unités peuvent être très précises (types de stations) ou beaucoup plus larges.

Le plan d'échantillonnage doit permettre le recueil de données :

- en nombre suffisant pour couvrir la variabilité de chaque unité écologique intéressante. Le nombre de relevés à réaliser par unité dépend surtout de son hétérogénéité. Une grande unité homogène demande moins de relevés qu'une petite unité hétérogène. Un minimum de trois relevés est requis dans les unités très homogènes, et de cinq à vingt dans les unités plus hétérogènes ;

- en quantité équilibrée pour les unités d'importance égale au regard des enjeux écologiques ou forestiers. Cet équilibre est important si une exploitation statistique est prévue ;

Figure 33. Exemple de plan d'échantillonnage

Ce plan est basé sur trois facteurs principaux (altitude, topographie, roche) définissant dix-huit unités écologiques. On réalise huit à dix placettes par unité écologique, en les répartissant de façon équilibrée en fonction d'un facteur secondaire, l'exposition.

3 tranches d'altitude	3 classes de topographie	2 types de roches	3 classes d'exposition		
			chaud	neutre	frais
0-200	concave	1			
		2			
	plan	1			
		2			
	convexe	1			
		2			
201-500	concave	1			
		2			
	plan	1			
		2			
	convexe	1			
		2			
501-800	concave	1			
		2			
	plan	1			
		2			
	convexe	1			
		2			

- en petit nombre pour les unités sans enjeu majeur et peu représentées.

Dans le cas d'études sur des grandes surfaces et dans des milieux hétérogènes, il faut parfois combiner différents niveaux d'approche pour optimiser l'échantillonnage : par exemple si des compartiments géomorphologiques se répètent à deux étages bioclimatiques, il n'est pas forcément nécessaire d'étudier en détail chaque compartiment dans les deux étages : les types de sols et de substrats se répétant et seules les conditions climatiques changeant, on pourra extrapoler les résultats d'un étage à l'autre après une vérification sur quelques relevés de contrôle.

Si le contexte géomorphologique ne permet pas une structuration fine de la zone d'étude, ce qui arrive sur des zones au relief et climat peu contrastés, l'échantillonnage peut se concevoir sur d'autres bases :

- lorsque les variations de milieu sont progressives et qu'il est difficile de définir des limites d'unités écologiques *a priori*, on peut faire des observations par transects. Le tracé des transects est choisi suivant le gradient de variabilité maximum des principaux facteurs du milieu, ou à défaut suivant des gradients faciles à matérialiser : altitude, direction perpendiculaire aux couches géologiques, gradient de densité de végétation, etc. L'analyse des résultats permet de tracer les limites *a posteriori*. Les relevés sont effectués le long de ces transects chaque fois qu'une modification significative de la flore ou du milieu est détectée, ou à intervalles réguliers. Cette méthode des transects est très utile lors des pré-études ;
- dans les milieux apparemment très homogènes, on fait un échantillonnage systématique sur les points d'une grille dont la maille dépend de la surface et de la précision souhaitée. Cette méthode a l'avantage de permettre la cartographie des variations observées *a posteriori* en extrapolant spatialement chaque point sur une surface égale à la maille de la grille ;



Dans ce versant rectiligne, un transect longitudinal permettra d'analyser la variabilité écologique

- lorsqu'une exploitation des données est possible par un statisticien spécialiste, on peut aussi réaliser un échantillonnage à partir d'un plan fournissant les coordonnées aléatoires de N points de relevé. Cette méthode permet non seulement la cartographie des résultats mais aussi des analyses caractérisant la variabilité spatiale du milieu.

Adapter le relevé aux besoins de l'étude (fig.34)

Le nombre de descripteurs à observer et la précision avec laquelle on va les transcrire doivent être adaptés à l'objectif poursuivi.

S'il s'agit d'utiliser un outil existant (clef autécologique ou de reconnaissance de stations) pour évaluer un milieu, seul un petit nombre de facteurs sera à noter. Si on doit réaliser une nouvelle étude de milieu, il faudra d'autant plus d'informations que les connaissances sur la zone à étudier sont faibles.

Protocole d'observation et fiche de relevé

Pour pouvoir comparer entre eux des relevés et exploiter statistiquement les données, il faut une grande homogénéité tout au long d'une étude dans les méthodes d'observation et la notation des variables observées.

Chaque étude doit donc s'appuyer sur un protocole qui décrit, facteur par facteur, la méthode d'observation ou de mesure à employer et le mode de notation : unité de mesure, définition des classes pour les variables qualitatives, codes à utiliser quand la notation est codée. Ce protocole précise aussi les pièges ou les difficultés inhérentes à chaque observation, et les appareils ou outils nécessaires. Il précise quand c'est utile la taille des placettes, fixe ou variable, et les précautions pour le choix de leur implantation.


La fiche de relevé présente de façon claire et organisée l'ensemble des rubriques à remplir, ainsi que des espaces réservés pour des croquis (plan d'accès, forme de la placette, observations particulières) et des notes spontanées. La fiche doit être standardisée pour l'ensemble d'une étude. Lorsque la place le permet, une partie du protocole comme les codes et la définition des classes des principales variables doivent se retrouver sur la fiche de relevé.

Lorsque des relevés floristiques sont prévus, la fiche de relevé peut comporter un tableau des espèces les plus courantes et les plus importantes pour gagner du temps, faciliter la mémorisation des noms botaniques et éviter les erreurs dues à des confusions ou une mauvaise orthographe.

Protocole et fiche de relevé sont établis à l'issue de la pré-étude et servent de memento et de guide à l'enquêteur.


Figure 34. Qu'observer, que noter ?

Si la question posée est :
« Ce terrain convient-il au cyprès vert ? »



On ne relève que les descripteurs figurant dans la clef autécologique de cette essence, c'est-à-dire affleurement rocheux, test tarière, présence ou absence des espèces figurant au test botanique, quantité de cailloux en affleurement et dans le sol, topographie locale.

Si la question est :
« Quelle est la potentialité de ce terrain et quelle essence est la mieux adaptée ? »



Le nombre de facteurs à observer est important, et non limitatif, car la fertilité d'une station dépend de nombreux facteurs et on devra tenir compte des exigences particulières à chaque espèce envisagée pour donner une réponse.

Figure 32. Exemple d'approche par échelles emboîtées

Petite région naturelle n°138 « Baronnies orientales et Rosannais », située aux confins des Alpes de Haute-Provence, des Hautes-Alpes et de la Drôme (cf. premier volume du chapitre 2).

L'analyse doit être menée en parallèle :

- sur le climat (page de gauche) ;
- sur les facteurs topographiques et édaphiques (page de droite).

A) Climat

1. Climat régional

Le principal facteur de la production forestière à petite échelle est le climat. La dimension caractéristique adaptée à l'appréhension du climat régional est de l'ordre de 10 à 50 km. Le climat régional est connu grâce aux données des postes météorologiques. Le premier volume de ce chapitre en fait une synthèse par petite région naturelle.

2. Variations du climat régional et identification de topoclimats

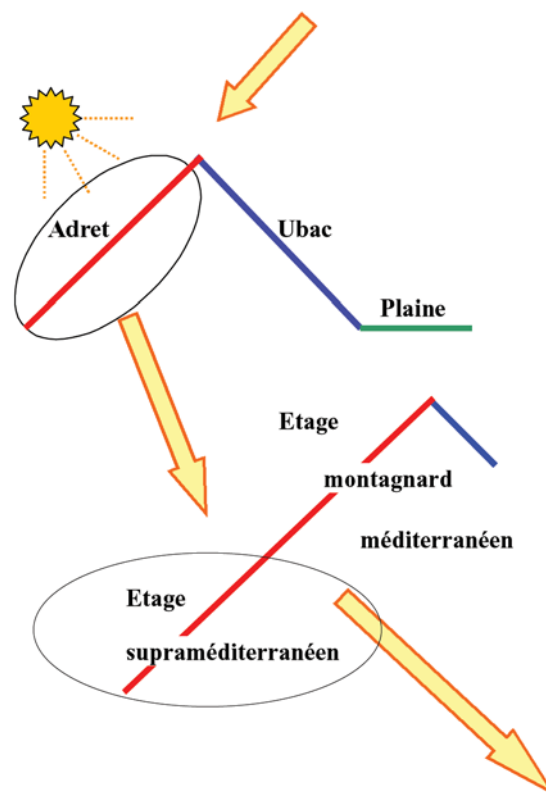
À l'échelle du versant, les variations sont liées au bilan radiatif et à l'écoulement des masses d'air ; le rayonnement est plus fort dans la journée sur les adrets que sur les ubacs, engendrant des ascendances d'air chaud, et pendant la nuit l'air froid s'accumule dans les vallées. Ainsi, on distingue à échelle moyenne (c'est-à-dire à l'échelle du km) les adrets, les d'ubacs, et les plateaux, plaines et vallées.

3. Distinction d'étages bio-climatiques

Par ailleurs, sur un versant donné, la température diminue et les précipitations augmentent généralement avec l'altitude. Ainsi, dès que l'on se trouve sur des reliefs importants, on observe un étagement altitudinal de la végétation et des potentialités forestières (cf. fiche végétation). On considère séparément les versants d'adret, les versants d'ubac et les plaines et plateaux, pour leur appliquer cet étagement altitudinal.

Pour simplifier, n'est détaillé ici que le cas des versants d'adret (page de droite). L'altitude sur ces versants varie grosso modo de 700 à 1600 m. La partie basse se trouve donc en climat supraméditerranéen, jusque vers 1 200 m, et la partie haute en climat montagnard.

précipitations	températures
assez abondantes	fraîches
type pluviométrique 5	type thermique 3
P annuelle \cong 1000 mm	moyenne \cong 10 °C
P été \cong 190 mm	m \cong -2 °C
	M \cong 26 °C



C) Stations

Tout point de la zone étudiée peut être placé dans un compartiment climatique (topoclimat et étage bioclimatique) et dans un compartiment géomorphologique. C'est dans ce cadre que sont définies les stations forestières. Dans quelques cas, le croisement climat x géomorphologie suffit à définir des types de stations, qui peuvent être cartographiés simplement à partir des cartes existantes ; dans la plupart des cas, il reste des variations suffisamment importantes pour justifier plusieurs types de stations, que la suite de l'étude doit définir. La cartographie de ces types de stations, si elle est nécessaire, ne pourra se faire qu'en parcourant le terrain.

Prenons dans cet exemple le cas des replats colluvionnés sur versants d'adret dans l'étage supraméditerranéen. Le substrat prospectable et la faible pente confèrent à ces compartiments de bonnes potentialités forestières. On y distingue deux types de situations ayant des fertilités différentes et donc deux types de stations :

- **colluvion assez épaisse sur topographie favorable.** Ce type peut porter de beaux peuplements de pin noir ou de cèdre. Les plantations de feuillus précieux (noyer, érables...) sont envisageables ;
- **colluvion mince ou altérite sur topographie défavorable.** La fertilité reste correcte pour des résineux, mais insuffisante pour des feuillus.

B) Géomorphologie et paysage

1. Géologie régionale et formes du relief

Une petite région naturelle est caractérisée par un nombre limité de formation géologiques. Le relief actuel est le résultat des déformations et de l'érosion qu'ont subies les roches au cours des temps géologiques.

La lithologie des Baronnies orientales et du Rosannais est dominée par des marnes et marno-calcaires, roches plastiques et sensibles à l'érosion. Cette région a subi une compression nord-sud qui a plissé une alternance de synclinaux et d'anticlinaux d'axe est-ouest. Les parties initialement dominantes (anticlinaux) ont été érodées, ce qui explique la structure actuelle d'**anticlinaux évidés** et de **synclinaux perchés**. Le relief est rythmé par les affleurements du niveau le plus dur (calcaire tithonique) qui a mieux que les autres résisté à l'érosion, a protégé les synclinaux et forme des crêtes rocheuses.

2. Définition d'unités paysagères

Ce relief est composé de quelques motifs répétitifs, qualifiés d'unités paysagères. À l'échelle qui nous intéresse, les unités paysagères fonctionnent de façon indépendante. Leur analyse permet de comprendre la répartition des stations forestières sur l'ensemble de la région étudiée.

Ici, on ne rencontre que quatre types d'unités paysagères :

- des **versants sur calcaire en pendage conforme** : les formations superficielles y sont peu développées et les affleurements rocheux fréquents ;
- des **versants à corniche** : la majeure partie de la pente est couverte par des formations superficielles épaisses engendrées par la barre calcaire qui la domine ;
- des **plaines alluviales** : les alluvions sont réparties en plusieurs niveaux de terrasses, anthropisées ou inondables ;
- des **collines marno-calcaires** : reliefs secondaires aux flancs abrupts et érodés répartis dans les plaines alluviales et au fond des synclinaux.

3. Distinction de compartiments géomorphologiques

Chaque unité paysagère doit ensuite être étudiée, dans son fonctionnement et sa structuration. Chacune est composée de compartiments caractérisés par un matériau et une topographie, et agencés selon la logique de fonctionnement de l'unité paysagère. Ainsi, certains compartiments correspondent à des zones de départ de matériau, d'autres à des zones d'accumulation, et leur position respective n'est pas indifférente.

Nous ne détaillons ici que les versants sur calcaire en pendage conforme. Ce type de versant est constitué de haut en bas des compartiments géomorphologiques suivants :

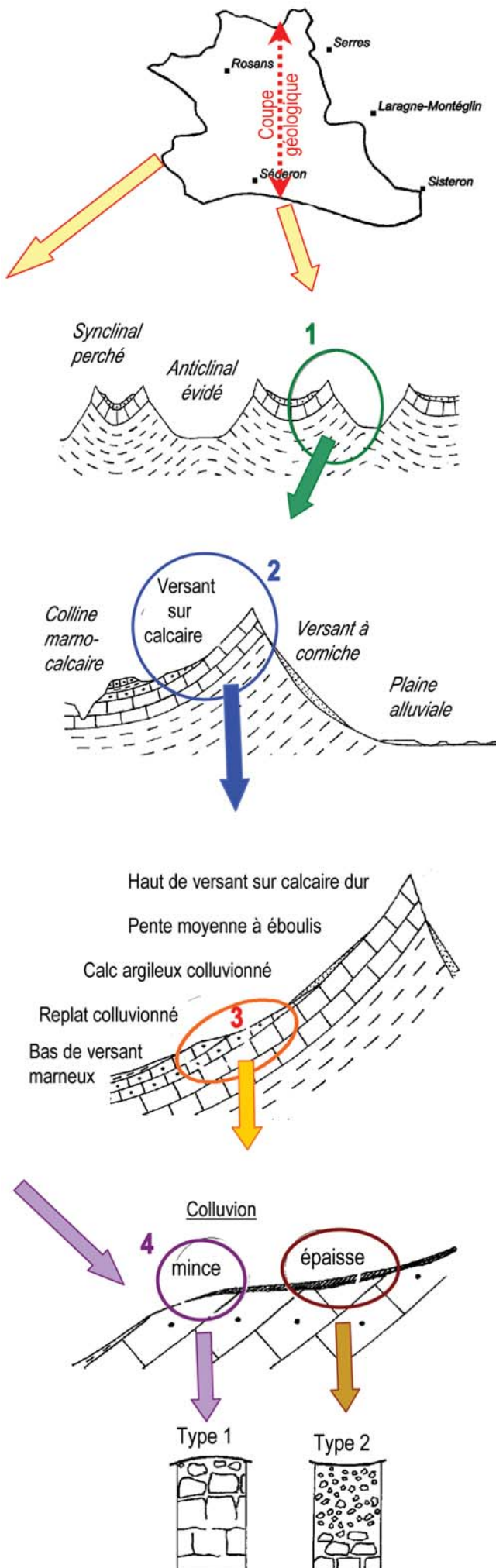
- haut de versant sur calcaire dur affleurant en pendage conforme ;
- versant moyen à éboulis sur pente forte ;
- calcaire argileux colluvionné en pente moyenne ;
- replat colluvionné de mi-versant ;
- bas de versant marneux raviné en pente moyenne.

4. Stations

Les variations observées au sein d'un compartiment géomorphologique peuvent être soit aléatoires, soit liées à des facteurs locaux : microtopographie, action anthropique... Ces variations définissent autant de types de stations. Le croisement de ces types avec la structuration climatique permet de préciser leur potentialité forestière.

Une *station forestière* est toujours localisée précisément dans un et un seul site.

Un *type de stations* représente l'ensemble des stations ressemblantes dans les différents compartiments et unités paysagères.





Réalisation des relevés de terrain

Placettes d'observation

Emplacement

Quel que soit le mode d'échantillonnage, la placette d'observation doit être installée sur une zone sans grande hétérogénéité apparente sur le plan topographique, substrat, et végétation. **L'homogénéité stationnelle est le principal critère de qualité d'une observation** (fig.35). Il vaut mieux parfois déplacer ou même éliminer certains sites du plan d'échantillonnage si le critère d'homogénéité n'est pas satisfait, car les données issues de ces sites brouilleront les analyses statistiques.

Taille

Une placette pour les études de potentialité mesure généralement entre 400 et 600 m². Pour une même étude, on doit garder une surface à peu près constante. Ce critère n'est pas absolu si on ne s'intéresse qu'à la potentialité, pour laquelle l'homogénéité prime. Si on relève la flore en vue d'études phytosociologiques ou pour des mesures de biodiversité, la taille doit être rigoureusement constante.

Forme

À part pour les études nécessitant un protocole de mesure spécial (mesures dendrométriques par exemple), la forme de la placette a peu d'importance. Elle est classiquement circulaire (12,5 m de rayon pour une placette d'environ 500 m²), mais peut être déformée pour s'adapter à la forme de la station (cas des fonds de vallons et des hauts de pente). Le plus souvent, une simple estimation au pas des dimensions de la placette constitue une approximation suffisante.

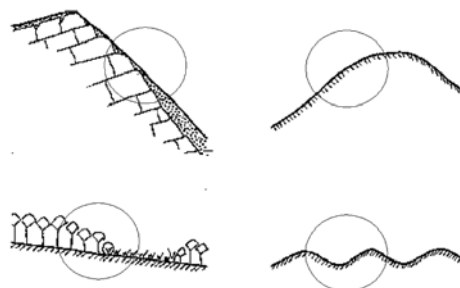
Époque

Elle peut varier selon les zones climatiques, la précision des mesures, et les observations à réaliser sur la flore.

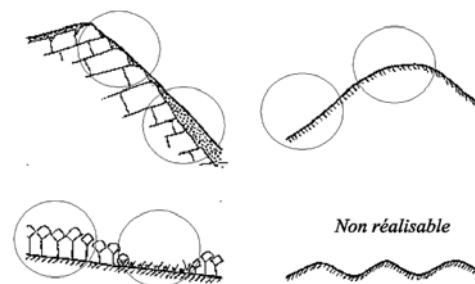
Lorsqu'on n'a pas de flore à noter ou qu'on peut se contenter de l'observation des espèces végétales reconnaissables en toute saison, ce qui est fréquent en région méditerranéenne, les relevés peuvent être réalisés toute l'année, dans la limite des contraintes de sécurité liées aux incendies. Le travail en milieu ouvert peut être très pénible en été : il est déconseillé. Durant l'hiver, les relevés portant sur des critères édaphiques peuvent être difficiles dans l'étage montagnard à cause du sol gelé ou du manteau neigeux.

Figure 35. Localisation des relevés

Situation à éviter



Situation à préférer



Non réalisable

Ne pas oublier que la flore peut être un critère d'appréciation de l'homogénéité d'une placette.

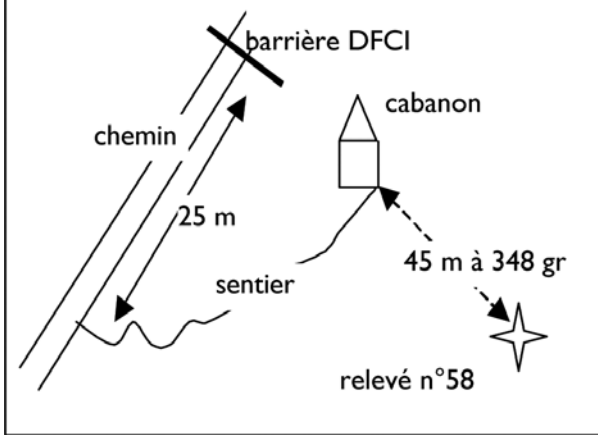
Pour l'observation complète de la flore, la période la plus favorable va du 15 mai au 15 septembre en climat supra-méditerranéen et montagnard. En zone méso-méditerranéenne, la période favorable est plus courte, du 15 mars au 30 juin, car de nombreuses espèces végétales disparaissent durant l'été.

Le relevé proprement dit

C'est la phase de récolte des informations. Elle se fait à l'aide d'une fiche de relevé et s'appuie sur un protocole. Le relevé comporte quelques grandes rubriques :

- renseignements généraux ;
- localisation ;
- description des facteurs abiotiques et anthropiques (ils sont présentés dans les fiches précédentes de ce chapitre, et ne sont pas repris en détail ici) ;
- description et inventaire de la flore ;
- relevé dendrométrique pour certaines études (autécologie, relations station-production, évaluation des potentialités).

Figure 36. Croquis sommaire d'accès



Renseignements généraux

Ils concernent principalement le numéro de relevé, la date et le nom des auteurs du relevé. Le nom des auteurs est important si plusieurs personnes participent séparément à l'étude. Seule une personne ayant participé au relevé pourra en effet apporter des précisions ultérieures ou des interprétations sur une placette qui pose problème, corriger correctement des erreurs de frappe ou de recopiage à partir de ses souvenirs, et retrouver facilement la placette s'il faut y retourner.

Le repérage

Il est primordial si on veut pouvoir revenir ultérieurement sur la placette pour un contrôle ou des travaux futurs. Elle peut être matérialisée sur place par des marques temporaires (peinture, rubans) ou plus durables (griffage des arbres, plaques clouées, piquets PVC). La fosse pédologique peut servir de repère durant quelques années mais finit souvent par être comblée par la terre et les feuilles en forêt. Il peut être dangereux de la laisser ouverte dans les lieux fréquentés par le public.

La rubrique localisation comporte plusieurs informations qui ne sont pas toujours toutes indispensables. Le minimum requis est de noter la localisation administrative lorsque l'étude porte sur une vaste surface (département, commune), et à toute échelle les coordonnées géographiques et une position sur une carte topographique. On peut noter aussi la référence de carte IGN, le numéro de parcelle forestière ou de parcelle cadastrale.

Pour les coordonnées, on utilise dans le Sud de la France le quadrillage kilométrique en coordonnées Lambert III ou Lambert II étendu qui figure sur les cartes au 1/25 000 de l'IGN (se reporter aux légendes de ces cartes). L'imprécision des coordonnées mesurées sur ces cartes est, au mieux, de l'ordre de 25 m lorsqu'on se trouve à proximité de repères précis, souvent de 50 à 200 m ou plus si on se trouve au milieu d'une zone homogène sans repère.

L'utilisation du GPS permet une mesure beaucoup plus précise et fiable des coordonnées, de l'ordre de 1 à 20 m suivant l'appareil, le temps et les conditions de mesure. Mais le bon fonctionnement du GPS dépend du nombre de satellites repérables par l'appareil : le couvert forestier masquant les satellites, le GPS ne peut fonctionner de manière fiable depuis le sol qu'en milieu ouvert ou semi-ouvert. Sous couvert fermé mais pas trop haut, on peut utiliser une antenne additionnelle reliée par fil au GPS et montée en

haut d'une perche. On peut aussi prendre la mesure au GPS dans une clairière ou sur une piste pas trop éloignées de la placette et mesurer avec la précision souhaitée (boussole + topofil ou avec des instruments plus précis) la position de la placette par rapport au point de mesure.

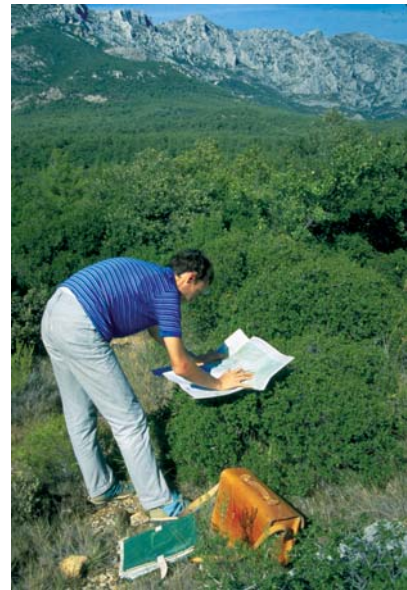
Quel que soit le mode de repérage sur carte et de mesure des coordonnées, il est utile de réaliser un *croquis commenté* qui donne les éléments de reconnaissance de la placette et décrit le cheminement d'accès (fig.36).

La description du substrat

La description du substrat est toujours nécessaire pour une étude de potentialités forestières. Elle peut en général se limiter aux critères facilement observables du ou des matériaux superficiels et du proche sous-sol. Les analyses chimiques, lourdes et coûteuses, ne se justifient que dans de rares cas particuliers.

Ouverture de la fosse

Bien que dans quelques cas (test de certaines clés autécologiques) l'observation puisse se limiter aux trois premiers décimètres de sol, l'observation concerne généralement l'ensemble du profil, et l'analyse est d'autant plus pertinente que la fosse ou le profil sont profonds. Il faut cependant chercher, pour des raisons d'économie, un compromis entre le profil idéal (de la surface à la roche en place) et ce qu'il est possible de faire dans les limites de temps et de moyens imposées à l'étude.



Reconnaissance du terrain

Le plus souvent, les fosses pédologiques ou les profils existants étant creusés ou rafraîchis à la main (pioche, pelle), on doit se contenter de dégager le sol :

- jusqu'à l'horizon C (matériau parental) autant que possible ;
- sinon jusqu'à 50 à 60 cm au moins quand le substrat est épais : colluvions, alluvions.

La face du profil à décrire doit être proche de la verticale. Rappelons que les informations concernant le sous-sol sont plutôt obtenues par des observations de l'environnement des placettes ou pendant la pré-étude, et rarement observables à partir de la fosse.

Comment décrire un profil pédologique ?

La démarche classique du pédologue est de commencer par distinguer les horizons, puis de relever un certain nombre de descripteurs, horizon par horizon (couleur, structure, texture, porosité, compacité, pierrosité, carbonatation, etc.). Cette démarche est indispensable si l'on souhaite nommer le sol, le classer dans une nomenclature, comprendre son évolution.

Mais dans une optique d'évaluation des potentialités forestières, il est suffisant de faire une description portant sur l'ensemble du profil et orientée vers l'analyse des matériaux en termes de bilan hydrique et de pénétrabilité par les racines.

Se reporter à la fiche « facteurs édaphiques » pour plus de détails sur l'observation du substrat.

Le relevé de végétation

Quelles espèces noter ?

Certaines clefs autécologiques et des catalogues de stations ne demandent que la reconnaissance de quelques espèces typiques.

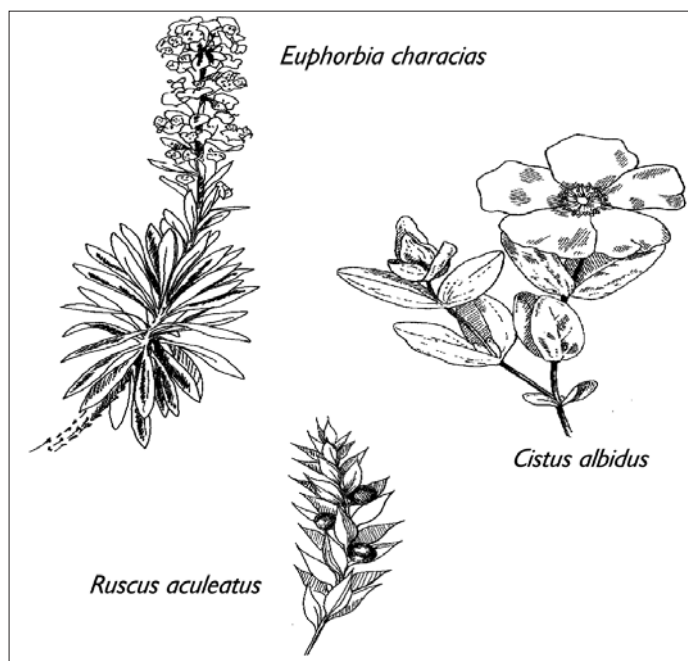
Pour l'analyse détaillée d'un milieu, le relevé doit prendre en compte un maximum d'espèces tout en adaptant le travail aux conditions de l'étude :

- relevé des seules espèces arborescentes et arbustives si on souhaite un travail rapide et réalisable par toute personne même non-spécialiste, ou si on ne souhaite pas ou ne peut pas faire d'analyses statistiques sur la flore, ou si le milieu est très perturbé et que la flore herbacée et semi-ligneuse n'est pas représentative des potentialités ;
- relevé des espèces reconnaissables en toutes saisons, si on doit faire des relevés sur plusieurs saisons ou aux saisons les moins favorables (du milieu de l'été à la fin de l'hiver). Ces espèces sont souvent suffisantes pour le besoin des études dans les étages méso-méditerranéen et thermo-méditerranéen, où elles représentent l'essentiel de la biomasse et une large majorité du nombre total d'espèces ;
- relevé exhaustif de la végétation (sauf en général bryophytes), généralement nécessaire pour les étages supraméditerranéen et montagnard, et pour toute analyse poussée du milieu.

Comment noter ?

Le relevé des espèces peut se faire :

- en notant simplement en deux classes leur présence ou absence ;
- à l'aide des coefficients de Braun-Blanquet (tab.9) qui traduisent l'abondance et la dominance de chaque espèce.



Informations complémentaires

On peut noter la vigueur des espèces dominantes ou caractéristiques du tapis végétal. Cela est parfois utile lorsque la végétation a été perturbée par un incendie ou une activité humaine, faisant disparaître la plupart des espèces indicatrices, au profit d'espèces rudérales ou d'une espèce à fort pouvoir expansionniste. On notera ainsi la hauteur des rejets de chêne kermès (garrigue), du calycotome (maquis), du genêt cendré (lande), de certaines plantes rudérales dans les zones agricoles, etc.

Bien sûr, cette information n'est utilisable que dans un contexte écologique précis et si l'on dispose d'une échelle de référence, que l'on se crée généralement pour la circonstance.

D'autres informations complètent le relevé des espèces et sont souvent utiles lors des analyses. On peut noter en particulier :

- la nature de la formation végétale (taillis de chêne vert, maquis à bruyère arborescente et chêne-liège, garrigue basse à ciste cotonneux et romarin, ancienne châtaigneraie, etc.) ;
- le recouvrement en 1/10^e de chaque strate végétale (en trois à six strates), qui renseigne sur la structure du peuplement ;
- la proportion de vides, ou taux d'ouverture, correspondant à l'absence de toute strate arborée ou arborescente sur une partie de la placette.

Tableau 9 : codage des plantes en abondance-dominance, d'après Braun-Blanquet.

Pour les analyses statistiques, on peut remplacer le code ci-dessous incluant le signe « + » par un codage allant de 1 à 6.

code	abondance	recouvrement	critères empiriques d'évaluation
+	<i>individus très peu abondants</i>	< 5%	<i>plante très rare, il faut la chercher</i>
1	<i>individus peu abondants à abondants</i>	< 5%	<i>plante peu couvrante mais visible</i>
2	<i>individus abondants à très abondants</i>	5 – 25%	<i>plante évidente</i>
3	<i>individus en nombre variable</i>	25 – 50%	<i>plante abondante ou couvrante</i>
4	<i>individus en nombre variable</i>	50 - 75%	<i>recouvrement majoritaire</i>
5	<i>individus en nombre variable</i>	> 75%	<i>domine totalement une ou plusieurs strates</i>

Le relevé dendrométrique

Les mesures dendrométriques sont nécessaires chaque fois que la productivité forestière doit être mesurée ou évaluée : études d'évaluation des potentialités forestières, relations station-production ou études autécologiques. Elles servent à construire ou à utiliser des modèles de croissance.

Choix des arbres

Les arbres peuvent être choisis suivant plusieurs critères :

- soit en suivant la notion traditionnelle de peuplement dominant (théoriquement les cent plus gros arbres à l'hectare). Cette règle établie pour des peuplements réguliers équiennes est difficile à respecter dans les peuplements naturels plus ou moins irréguliers des régions méditerranéennes ;
- soit parmi les arbres dominants de différentes classes d'âge ou de hauteur au sein des peuplements irréguliers. Dans les peuplements irréguliers apparus sur des terres agricoles abandonnées, il vaut mieux ne pas tenir compte des plus vieux arbres de première génération, gros mais tordus et très branchus car ils ont souvent poussé initialement à l'état isolé, et sont moins hauts au même âge que les arbres des générations suivantes, plus représentatifs de la fertilité des stations.

La mesure des hauteurs

Elle peut s'effectuer avec différents appareils classiques pour les forestiers :

- des perches emboîtables ou télescopiques, moyen le plus précis à condition d'éviter les erreurs de parallaxe (imprécision des mesures = 25 cm) ;
- des dendromètres : il en existe de nombreux modèles (Blum-Leiss, Suunto, etc.) mais tous nécessitent une mise à distance à l'aide d'une mire optique (difficilement utilisable dans les forêts embroussaillées) ou au décimètre. L'imprécision dépend de la hauteur des arbres et de l'expérience de l'utilisateur, mais est rarement inférieure à 1 m pour les arbres de plus de 10 m.

La mesure des diamètres ou circonférences

Elle est rarement utile pour l'évaluation des potentialités forestières car ces valeurs dépendent trop de la densité des peuplements. Mais elle peut être réalisée pour favoriser le repérage des arbres ou pour d'autres usages.

La mesure de l'âge

Cernes de croissance

L'âge s'estime couramment sur des carottes prélevées avec une tarière de Pressler, à 1,3 m du sol ou le plus près possible du collet. La carotte doit aller jusqu'au cœur de l'arbre si on veut connaître l'âge au niveau du sondage. La lecture des cernes se fait sur des carottes brutes, rabotées ou poncées, soit sur le terrain à l'œil nu et avec une loupe à fort grossissement ($\times 10$), soit au bureau avec un instrument plus précis (loupe binoculaire). Il existe des colorants favorisant la lecture des cernes : leur usage doit faire l'objet de tests préalables sur les espèces concernées.



Côté cœur

écorce

Figure 37. Carotte de pin d'Alep

La lecture des cernes sur les carottes est facile sur la plupart des résineux, beaucoup plus dure sur certains feuillus à pores diffus (aulnes, peupliers) ou sur les espèces à cernes irréguliers (génévriers). La bonne qualité et l'entretien des tarières sont importants car les tarières usagées ou ébréchées détériorent les carottes et produisent des stries qui gênent la lecture ces cernes.

L'âge lu sur la carotte doit être corrigé d'un certain nombre d'années, proportionnellement à la hauteur à laquelle s'effectue le carottage (soit à hauteur d'homme soit au pied de l'arbre). Cette correction dépend beaucoup de la fertilité des sites. S'il existe des semis de l'essence diagnostiquée, on peut en couper quelques-uns et compter le nombre d'années qu'ils ont mis à atteindre la hauteur de carottage, mais ce n'est pas une méthode très fiable car les conditions de croissance des semis ne sont pas forcément identiques à celles qu'ont connues longtemps auparavant les arbres mesurés.

Par ailleurs, certains cernes correspondant à des années exceptionnelles sont souvent manquants et doivent être ajoutés s'ils n'ont pas été repérés (1956 et 1929 sur le pin d'Alep par exemple). Dans certains cas, il faut rajouter jusqu'à 10% à l'âge des arbres par rapport aux cernes lus sur les carottes. À l'inverse, certaines espèces produisent couramment des faux cernes, correspondant à une reprise de la croissance en automne lorsque les pluies sont précoces et abondantes.



Prélèvement d'une carotte de bois à la tarière de Pressler

Toutes ces corrections doivent être si possibles évaluées par des moyens précis, comme la vérification de l'âge d'arbres sondés préalablement à la tarière sur un nombre suffisant de souches coupées au ras du sol.

Verticilles

Sur un petit nombre de résineux à verticilles bien marqués (pin noir, pin maritime) et pour des arbres ne dépassant pas cinquante ans, l'âge peut être estimé correctement par comptage des verticilles. Dans les milieux peu fertiles, le comptage est très imprécis à la base, l'arbre ayant pu stagner dix à vingt ans avant de dépasser deux mètres de haut. Dès que les peuplements présentent des signes de bris de cimes récurrents (fourches, baillonnettes), l'estimation devient trop aléatoire.



Bibliographie

Méthodes

- Rameau J.-C. (1986). *Les études stationnelles forestières en France*. ENGREF.
- Buffet M., Giraud D., coord. (1989). *Stations forestières, production et qualité des bois : éléments méthodologiques*. Cemagref.
- Vennetier M., Ripert C., Maillé E. (2001). *Étude des potentialités forestières de la Provence calcaire. Évaluation à petite échelle sur de grandes surfaces*. Cemagref.

Climat

- Ascensio E. (1983). *Aspects climatologiques des départements de la région Provence-Alpes-Côte d'Azur*. Ministère des Transports, Direction de la Météorologie.
- Ascensio E. (1984). *Aspects climatologiques des départements de la région Languedoc-Roussillon*. Ministère des Transports, Direction de la Météorologie.
- Boisseau B., Nouals D., Ripert C. (1992). *Guide technique du forestier méditerranéen français ; chapitre II, 1^{re} partie, Stations forestières*. Cemagref.
- Cnrs, Section Géographie (1971-1978). *Cartes climatiques détaillées de la France : feuilles de Marseille, Nice, Gap, Valence*. Éd. Ophrys. Gap.
- IGN (1988). *Précipitations en France, carte*. Direction de la Météorologie Nationale.
- Panini T (1999). *Étude des potentialités forestières des terres agricoles délaissées en région Paca*. Crpf Paca Marseille.

Substrat

- Duchaufour P. (1977). *Pédogenèse et classification*. Éd. Masson.
- Ouvrage collectif (1992 et 1995). *Référentiel Pédologique*. Éd. Inra.
- Jabiol B., Brethes A., Ponge J.-F., Toutain F., Brun J.-J. (1995). *L'humus sous toutes ses formes*. Engref Nancy.
- Lozet J., Mathieu C. (1990). *Dictionnaire de Science du Sol*. Éd. Lavoisier, Technique et Documentation, Paris.
- Bourcart J. (1966). *Guide pratique pour la reconnaissance des roches*. Éd. Eyrolles.
- Derruau M. (1990). *Les formes du relief terrestre*. Éd. Masson.
- Campy M., Macaire J.-J. (1989). *Géologie des formations superficielles*. Éd. Masson.

Végétation

- Ozenda P. (1985). *La végétation de la chaîne alpine dans l'espace montagnard européen*. Éd. Masson.
- Ozenda P. (1964). *Biogéographie végétale*. Éd. Masson.
- Molinier R. (1934). *Études phytosociologiques et écologiques en Provence occidentale*. Annales du Musée d'histoire naturelle de Marseille.
- Braun-Blanquet J. (1952). *Les groupements végétaux de la France méditerranéenne*.
- Godron M. (1988). *Carte des étages de végétation du Languedoc-Roussillon*. Serfob LR.
- Cnrs : Cartes de la végétation de la France, feuilles de Nice 1961 et Digne 1970 (P. Ozenda) ; Marseille 1976 (R. Molinier) ; Carcassonne 1964 et Perpignan 1972 (H. Gausson) ; Montpellier 1968 (G. Dupias, R. Molinier, J.J. Corre, L. Trabaud).
- Quézel P. (1979). *La région méditerranéenne française et ses essences forestières*. Forêt Méditerranéenne t 1, n° 1.

Facteurs Anthropiques

- Le Houérou H.-N. (1980). *L'impact de l'homme et de ses animaux sur la forêt méditerranéenne*. Forêt Méditerranéenne t 2, n° 1 § 2.
- Triat-Laval H. (1979). *Histoire de la forêt provençale depuis 15 000 ans d'après l'analyse pollinique*. Forêt Méditerranéenne t 1, n° 1.
- Ambroise R., Frapa P., Giorgis S. (1989). *Paysages de terrasses*. Éd. Édisud.
- Ouvrage collectif (1979). *Pratiques anciennes et traditionnelles de la forêt méditerranéenne*. Forêt Méditerranéenne t 6, n° 2.

Phase préparatoire

On pourra se référer aux typologies de stations forestières réalisées par le Cemagref et qui utilisent l'approche préconisée dans ce guide : *massif de Sainte-Victoire, Plateaux et monts de Vaucluse, Provence cristalline, Grands Causses, Massif Central, hautes Cévennes*, ainsi qu'à de nombreux autres catalogues de stations réalisés par divers organismes et qui tous comportent en introduction une présentation structurée du milieu naturel.