



**HAL**  
open science

## **Les sols du massif forestier des Landes de Gascogne : formation, histoire, propriétés et variabilité spatiale**

Claudy Jolivet, Laurent Augusto, Pierre Trichet, Dominique Arrouays

### ► **To cite this version:**

Claudy Jolivet, Laurent Augusto, Pierre Trichet, Dominique Arrouays. Les sols du massif forestier des Landes de Gascogne : formation, histoire, propriétés et variabilité spatiale. *Revue forestière française*, 2007, 59 (1), pp.7-30. <10.4267/2042/8480>. <hal-03449679>

**HAL Id: hal-03449679**

**<https://hal.science/hal-03449679v1>**

Submitted on 25 Nov 2021

**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.



HAL Authorization

## LES SOLS DU MASSIF FORESTIER DES LANDES DE GASCOGNE : FORMATION, HISTOIRE, PROPRIÉTÉS ET VARIABILITÉ SPATIALE

CLAUDY JOLIVET - LAURENT AUGUSTO - PIERRE TRICHET - DOMINIQUE ARROUAYS

« *L'aspect des grandes landes est d'une beauté monotone et triste ; jusqu'à l'extrémité de l'horizon s'étend la plaine de sable blanc ou jaunâtre, couverte çà et là de bruyères, d'ajoncs et de genêts. Au loin, on aperçoit la masse sombre d'une forêt de pins ou bien quelques dunes ondulées comme les vagues de la mer ; de distance en distance, on rencontre soit une mare d'eau stagnante, soit un profond ravin où coule une eau rougeâtre. Tout est solitaire ; nul être humain ne se montre dans l'immense espace, si ce n'est parfois un berger monté sur des échasses et vêtu de peaux de mouton comme un barbare des anciens jours* ». Voici les Landes de Gascogne, décrites par A. Joanne en 1864, dans son *Dictionnaire des communes de France*. Aujourd'hui, l'aspect des Grandes Landes<sup>(1)</sup> a bien changé, même si, au premier regard, la monotonie semble être toujours de rigueur dans le paysage. Pourtant, derrière les vastes étendues de peuplements équiennes de Pin maritime, qui ne s'interrompent que pour laisser la place au maïs, se cache une réelle diversité des paysages et des sols. C'est de cette opposition entre une apparente uniformité et une réelle diversité que cette région tire son originalité et son identité. Après avoir présenté dans une première partie les grands traits et les particularités du milieu naturel, puis dressé dans une seconde partie un historique de l'évolution des paysages landais, nous tâcherons dans une troisième partie de souligner les principales spécificités des paysages et des sols landais, en insistant sur la forte variabilité qui les caractérise.

### LE MILIEU NATUREL

#### Cadre géographique et géologique

Réparti sur les départements de la Gironde, des Landes et du Lot-et-Garonne, le triangle des Landes de Gascogne constitue un vaste territoire s'étendant sur près d'un million trois cent mille hectares. Autrefois caractérisé par ses étendues de landes marécageuses, il représente aujourd'hui le plus grand massif forestier résineux artificialisé d'Europe occidentale. Il couvre un million d'hectares boisés dont huit cent trente mille hectares de Pin maritime. Si actuellement l'unité des Landes de Gascogne tient son identité de ce massif forestier, son originalité lui vient également de la couche superficielle de sable qui recouvre la totalité de son territoire et à partir de laquelle se sont développés les sols : « *Il n'est pas de région naturelle susceptible d'être mieux délimitée*

(1) Grandes Landes : nom usuel pour désigner la partie centrale des Landes de Gascogne, en opposition aux Petites Landes situées en périphérie.

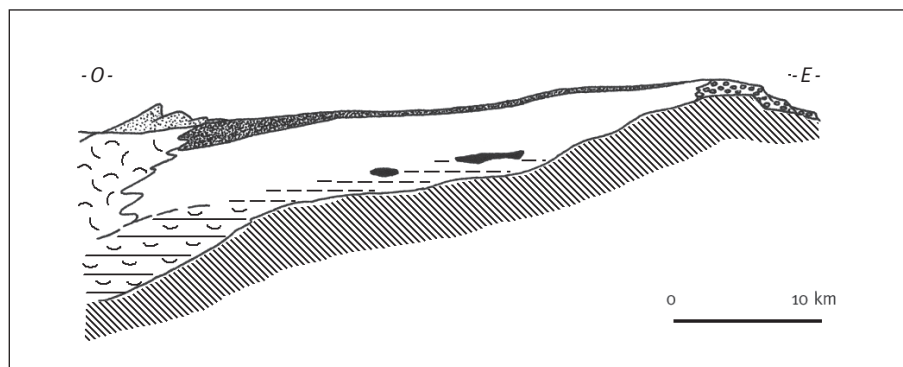
que celle des Landes de Gascogne. Son étendue correspond rigoureusement à celle du vaste manteau de sable qui, à l'Ouest, sur le littoral, se dresse en dunes entre l'embouchure de la Gironde et celle de l'Adour pour s'étaler ensuite entre les deux fleuves et leurs affluents [...] » (Blayac, 1916). Le lien identitaire entre cette région naturelle et cette formation géologique est si étroit que cette dernière a pris la dénomination de "Sable des Landes".









### Origine et mise en place du Sable des Landes

Les dépôts de recouvrement qui se développent à l'ouest de la Garonne ont depuis longtemps retenu l'attention des géologues. Dans une revue bibliographique, Legigan (1979) résume ainsi l'historique des travaux sur l'origine et la mise en place de ce matériau : « Jusqu'au début du siècle, le sable des Landes est associé aux grands épandages détritiques et aux différents niveaux de terrasses de la Garonne et de l'Adour. Ce n'est qu'à partir des travaux de L.A. Fabre (1905) qu'apparaît la distinction d'un horizon superficiel sableux uniforme pour lequel P.E. Dubalen (1911) puis J. Blayac (1916) réservent le terme de Sable des Landes. Parallèlement à l'idée d'une dynamique marine puis fluviale se substitue celle d'une action éolienne directe ou indirecte ». Par la suite, les travaux d'Enjalbert (1960), Legigan (1979), Karnay et Dubreuilh (1991) puis Diot (1999) et Tastet (1999) ont permis d'identifier avec précision les formations géologiques quaternaires qui constituent les termes superficiels de la série de dépôts de comblement du Bassin centre-aquitain et de décrire les modalités de leur mise en place. Schématiquement, ces formations peuvent être séparées en deux unités distinctes, reposant sur un substratum sédimentaire miocène (figure 1, ci-dessous) :

— À la base, une puissante assise plio-pléistocène nommée **Complexe intermédiaire** par Legigan (1979). Cette formation représente un ensemble de dépôts fluviaux d'épaisseur et de nature variables (graviers, sables, argiles, lignites, tourbes), issus du démantèlement du Massif central, des Pyrénées et de la Montagne Noire. Ces dépôts constituaient une vaste plaine d'épandage fluviale, alimentée par un émissaire majeur orienté sud-est – nord-ouest débouchant aux

FIGURE 1 ORGANISATION DES FORMATIONS GÉOLOGIQUES MIO-PLIOCÈNES ET QUATÉNAIRES DANS LA RÉGION DES LANDES DE GASCOGNE (d'après Legigan, 1979)



	Dunes holocènes		Complexe intermédiaire		Pliocène continental (lignite)
	Sable des Landes		Quaternaire marin		Substrat miocène
	Terrasses alluviales quaternaires		Pliocène marin		

environs de Parentis. Leur mise en place s'échelonne depuis la régression marine de la fin du Miocène jusqu'à l'élaboration de la formation du Sable des Landes.

— Au sommet, une formation meuble pléistocène, le **Sable des Landes** au sens large, constituée de sables plus ou moins fins, d'une épaisseur de 5 à 40 m. Cette formation correspond à deux assises superposées passant progressivement de l'une à l'autre et qui représentent la dernière séquence de comblement du Bassin centre-aquitain. Karnay et Dubreuilh (1991) identifient à la base de cette formation des sables fluviatiles moyens, épais, blancs à grisâtres, présentant localement des lentilles d'argiles plus ou moins sableuses, rattachés au Complexe intermédiaire par Legigan (1979). Au sommet, une formation peu épaisse (de quelques décimètres à 3 ou 4 m en moyenne), constituée de sable quartzeux moyen éolisé très pur (médiane de 0,3 mm) à complexe d'altération réduit. Ce sable très homogène est composé essentiellement de grains de quartz hyalins, blancs, blanc-jaunâtres ou rosés, et de quartzite. Une fraction très minoritaire est constituée de feldspaths et d'un cortège de minéraux lourds (andalousite, staurotide, tourmaline, grenat, amphiboles, pyroxènes, zircon). Cette formation constitue le Sable des Landes au sens strict décrit par de nombreux auteurs dont Legigan (1979). Elle représente une unité lithostratigraphique dont la masse principale a été mise en place au Pléistocène supérieur et dont la dernière phase de dépôt et de modelage date du Würm final (IV) ou Tardiglaciaire. Les associations minéralogiques observées confèrent à cette formation une origine locale, résultant du remaniement des matériaux détritiques sous-jacents qui constituent le substratum du Sable des Landes.

Le Sable des Landes est l'exemple le plus typique et le plus vaste des corps sableux éoliens mis en place en Europe occidentale lors des phases arides et froides du Pléistocène supérieur. Sa mise en place résulte essentiellement d'un remaniement éolien des dépôts alluviaux qui recouvrent la surface du Bassin centre-aquitain et s'étalent sur le plateau continental, exondé lors des phases climatiques arides et froides de la glaciation würmienne. Sous l'action de vents dominants de secteur ouest – nord-ouest à nord-ouest, plusieurs phases d'épandage de sable se succèdent, dont les principales correspondent au Würm III et IV. Au cours de cette dernière période, qui correspond au dernier épisode glaciaire du Würm, il y a environ 12 000 ans, les sables nivéo-éoliens s'étalent largement vers l'est sous forme d'ondulations, de rides et de dunes plates. À la fin du Tardiglaciaire, les sables éoliens recouvrent toute la surface du complexe intermédiaire et des vents de nord-ouest édifient les dunes continentales. Les Landes de Gascogne forment alors une vaste étendue sableuse subdésertique où le climat froid et aride s'oppose à l'installation d'un couvert végétal (Legigan, 1979).

### Géomorphologie actuelle : relief et micro-relief

Les Landes de Gascogne constituent une large étendue plane, légèrement inclinée du sud-est au nord-ouest, d'une altitude moyenne de 50 m avec une pente moyenne de l'ordre de 1,25 %. Il est localement d'usage de parler du "plateau landais" pour désigner cette unité géographique parce que tout le pays peuplé du vignoble et de la vallée de la Garonne est en "contrebas" de la lande (Enjalbert, 1960). En réalité, la faiblesse des altitudes et des dénivellations en fait une plaine au sens géographique du terme (Filipuzzi, 1974). La topographie d'ensemble est très plane et ne présente pas de relief saillant, à l'exception des dunes littorales de l'Holocène. Cependant, dans le détail, la surface du sol est parcourue de formes éoliennes d'accumulation qui se rattachent à deux types principaux (Filipuzzi, 1974 ; Legigan, 1979) :

— **Les dunes paraboliques** : dunes de déflation dont la convexité est orientée sous le vent, vers l'est ou l'est – sud-est. Elles peuvent atteindre jusqu'à 10 à 15 m de hauteur (exceptionnellement 25 m) mais ne dépassent pas généralement plus de 2 m et s'étendent sur quelques décimètres à plusieurs kilomètres de longueur. Ces dunes continentales sont principalement localisées

à proximité des cours d'eau et trouvent leur origine dans la reprise et l'accumulation par le vent du sable issu du creusement des vallées landaises. De tels massifs peuvent être observés dans la région de Lugos, de Pissos, ainsi que sur la rive droite de la Petite Leyre, dans la région d'Hostens, Mano et Saint-Symphorien.

— **Les rides transversales** : édifices constitués de petites buttes et dépressions de quelques décimètres de dénivellation, formant des ondulations parallèles généralement orientées suivant un axe nord-sud ou nord-ouest-sud-est, et masquées en grande partie par la végétation. Ces alignements larges de quelques mètres se présentent sous forme d'éléments discontinus, d'une centaine de mètres de longueur, parfois plus ou moins fusionnés entre eux, ne laissant plus alors apparaître d'orientation préférentielle. Ces rides sont à l'origine du micro-relief caractéristique des Landes de Gascogne.

### Hydrogéologie

C'est plus à la jeunesse du réseau hydrographique qu'il faut attribuer le mauvais drainage des Landes qu'à sa faible pente (Cottinet, 1974). L'écoulement général des eaux superficielles se produit d'est en ouest à travers un réseau hydrographique récent et peu ramifié, ménageant de vastes interfluves mal drainés. L'installation et le fonctionnement du réseau hydrographique actuel résultent d'un phénomène d'érosion fluviale, postérieur à la mise en place du Sable des Landes. Cette érosion, strictement localisée aux vallées, se traduit dans la géomorphologie actuelle par des rivières relativement encaissées dans les formations sableuses, aménageant des vallées étroites et profondes avec des cours d'eau autonomes (Filipuzzi, 1974). Les cours d'eau sont directement tributaires de la Garonne, de l'Adour, de l'océan, des étangs littoraux ou du Bassin d'Arcachon (Arouze, 1974).

Le sol et le sous-sol du massif landais sont traversés par une **nappe phréatique** libre et continue, souvent très proche de la surface et d'une épaisseur de 10 à 130 m. Cette nappe est alimentée essentiellement par l'infiltration directe des précipitations. Elle est drainée par les rivières encaissées et, de façon moins intense, par le littoral atlantique. La carte piézométrique de cette nappe, dont la forme suit de près celle de la topographie, met en évidence trois comportements distincts qui correspondent aux trois principales situations géographiques des Landes (Arouze, 1974 ; Cottinet, 1974). Les courbes isopièzes sont divergentes dans les interfluves, indiquant une alimentation par le haut et un drainage déficient. Ces zones étaient autrefois inondées en hiver. Depuis les travaux de drainage, les variations de la nappe sont généralement inférieures à un mètre bien que son toit soit très proche de la surface en hiver. Les courbes isopièzes sont cylindriques dans les zones intermédiaires, indiquant une alimentation homogène par la surface et un drainage rectiligne. Cette situation se rencontre dans les zones où le drainage est moyen et où la nappe présente une amplitude maximale de deux à trois mètres. Enfin, les courbes isopièzes sont convergentes à proximité des vallées, indiquant un drainage par les cours d'eau. Ce comportement correspond aux zones proches des rivières où la nappe, rabattue en profondeur, possède une amplitude de battement supérieure à 3 mètres. Ces trois situations correspondent aux principaux types de landes — humide, mésophile et sèche — décrites ci-après.

Les mouvements latéraux de la nappe sont le plus souvent très lents et l'essentiel du drainage vers les exutoires des bassins versants se fait *via* le réseau hydrographique et les réseaux de drainage anthropiques qui y sont associés (Rimmelin, 1998). Sous influence forestière, la composition de cette nappe est relativement stable dans le temps pour la plupart des éléments (tableau I, p. 11).

Dans les interfluves du plateau landais, la nappe phréatique superficielle alimente de petites dépressions circulaires ou ovales, à fond tourbeux, en relation avec le substratum graveleux ou

**TABEAU I**      **Composition de la partie supérieure de nappe permanente du Sable des Landes**  
(valeurs issues de Righi, 1977 ; Courcoux, 1982 ; Merzeau, 1983 ; Rimmelin, 1998 ; Lefevre, 1999 ; Thomas, communication personnelle)

Variable (en mg/l ; Eh en mV)	Effectif total (n)	Intervalle de confiance (à 0,95)	Effet de la profondeur	Effet de la saison
N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> .....	23	0,02 - 0,07	(b)	(b)
N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> .....	8	0,08 - 0,14	-	-
N <sub>ORG</sub> .....	6	0,51 - 0,95	-	-
N <sub>TOT</sub> .....	6	0,72 - 1,18	-	-
P.....	7	< 0,2 <sup>(a)</sup>	-	-
K.....	54	0,94 - 1,41	-	-
Ca.....	53	2,06 - 3,20	-	-
Mg.....	53	1,62 - 2,38	-	-
Na.....	38	17,1 - 24,6	-	-
Cl.....	5	16,7 - 25,3	-	-
Si.....	5	2,56 - 5,04	-	-
Al.....	8	0,09 - 2,66	-	-
Fe.....	33	2,34 - 3,93	(c)	(d)
pH.....	122	5,29 - 5,55	(c)	-
Eh.....	10	(- 25) - (+ 233)	(d)	(d)
O <sub>2</sub> .....	30	0,00 - 0,93	(d)	(d)

(a) : seuil de quantification pour 6 des 7 valeurs.

(b) : Lefevre (1999) suggère l'existence de phénomènes de dénitrification dans la partie supérieure de la nappe à certaines périodes de l'année.

(c) : le pH de la nappe est plus faible lorsque celle-ci rentre en contact avec le sol. De même, la concentration en Fe augmente lorsque la nappe arrive des horizons illuviaux de type BPh ou BPs. Il est à noter que le pH de la nappe varie assez nettement selon les auteurs.

(d) : en saison de nappe haute, les conditions physico-chimiques au niveau du profil de sol tendent à devenir réductrices (baisse de O<sub>2</sub> et Eh), ce qui favorise la réduction et la solubilisation de Fe.

argileux situé sous le Sable des Landes (Legigan, 1979). Ces mares sont désignées dans les landes sous le terme de lagunes. De dimensions modestes (diamètre inférieur à 100 m, profondeur variant de 0,5 à 2 m), les lagunes se présentent le plus souvent en essais cantonnés dans la lande humide. Plus de 4 000 lagunes ont ainsi été dénombrées, principalement le long d'un axe sud-est – nord-ouest (GEREA, 1985). Boyé (1957) attribue l'origine des lagunes à la formation de lentilles de glace dans le sol à une époque contemporaine à la mise en place du Sable des Landes (durant les derniers épisodes glaciaires de la glaciation du Würm). Le radoucissement ultérieur du climat aurait entraîné la fonte de ces lentilles et la formation de dépressions circulaires de faible dimension. D'un intérêt écologique majeur et reconnu pour leur richesse floristique et faunistique, les lagunes des Landes de Gascogne sont en très nette régression, essentiellement du fait de l'évolution récente des paysages landais sous l'influence des activités humaines.

### Climat actuel

Les Landes de Gascogne bénéficient actuellement d'un climat doux et humide de type atlantique méridional. Les précipitations annuelles sont abondantes mais variables de 800 à 1 200 mm (le Sud étant le plus arrosé), avec deux maxima, au printemps et à l'automne. La température

moyenne annuelle est de 12 °C. Les amplitudes thermiques sont relativement faibles, marquées toutefois par une tendance légèrement plus continentale vers l'est (Choisnel *et al.*, 1987), où l'on trouve les altitudes les plus élevées (195 m).

L'évolution du climat de la région depuis la mise en place du Sable des Landes a progressivement transformé la végétation naturelle et le paysage des Landes de Gascogne. Le paysage landais actuel est relativement récent. Il constitue la dernière étape d'une évolution comportant plusieurs épisodes caractérisés par de profondes transformations et fortement marquée par l'empreinte de l'homme.

## **HISTOIRE DE L'OCCUPATION DES LANDES DE GASCOGNE**

### **Cadre paléoclimatique et paléobotanique du Postglaciaire**

Les études paléopalynologiques de Paquereau (1964) en Gironde ont permis de reconstituer l'évolution postglaciaire de la flore et du climat des Landes de Gascogne puis de mettre en évidence l'origine indigène du Pin maritime. Dès le début du Postglaciaire, au Préboréal (de 10 200 à 8 800 BP<sup>(2)</sup>), le réchauffement du climat et l'accroissement de l'humidité favorisent le développement d'un couvert végétal. Ce dernier limite la propagation des sables vers l'intérieur et crée des conditions favorables à l'installation d'un couvert forestier dont le Pin sylvestre paraît être l'espèce dominante. La strate herbacée est dominée par les Graminées et les Éricacées. Au Boréal (de 8 800 à 7 500 BP), le réchauffement climatique se poursuit et favorise l'apparition d'essences thermophiles de la Chênaie mixte (Chêne pédonculé, Chêne tauzin, Tilleul, Orme, Hêtre) à mesure que recule le Pin sylvestre. Le Pin maritime commence à apparaître surtout dans la zone littorale et l'Aulne glutineux semble déjà localement assez bien développé au voisinage d'importantes zones marécageuses qui entrecoupent ces forêts. Vers la fin du Boréal, un certain nombre d'espèces méditerranéennes se développent également près du littoral (Arbousier, Cistacées, Chêne vert, etc.). L'optimum climatique atteint à l'Atlantique (de 7 500 à 4 500 BP) correspond à des conditions beaucoup plus humides, favorables à l'extension du Chêne pédonculé et au développement de fougères et d'espèces hygrophiles sur de vastes zones ouvertes et mal drainées. Le Pin maritime, encore peu représenté, progresse particulièrement à la fin de l'Atlantique, en même temps que l'Aulne glutineux. Ces deux espèces forment alors, avec le Chêne pédonculé, de vastes forêts mixtes. Au cours d'une nouvelle phase xéothermique au Subboréal (de 4 500 à 2 700 BP), apparaît une recrudescence d'espèces méditerranéennes, accompagnée de la disparition du Hêtre, ainsi que les premiers indices d'activités humaines (pollens de plantes cultivées, faciès de repeuplement après brûlis). Enfin, le rétablissement de conditions climatiques humides au Subatlantique (de 2 700 BP à l'actuel) permet l'installation de la flore actuelle de la région (Chênes, Aulne glutineux, Pin maritime, landes à bruyères et à fougères).

### **De la forêt primitive à la lande**

Les Landes de Gascogne au Subatlantique sont parsemées en leur centre, mal drainé, de grandes étendues de landes rases et de marécages. Des forêts mixtes de Chêne pédonculé et de Pin maritime sont localisées dans les zones les mieux drainées, à proximité des cours d'eau et des hauteurs ("montagnes"<sup>(3)</sup> et dunes continentales). Cette forêt primitive occupait les secteurs bien drainés des têtes de vallons correspondant aux secteurs les plus hospitaliers. Pour cette raison,

(2) L'expression "avant le présent", ou "*Before Present*" en anglais (abrégé en BP), est utilisée en archéologie pour désigner les âges exprimés en nombre d'années comptées vers le passé à partir de l'année 1950 du calendrier grégorien. Cette date a été fixée conventionnellement comme année de référence et correspond aux premiers essais de datation au carbone 14.

(3) Montagne : nom gascon donné aux vieilles dunes boisées du littoral gascon.

elle fut défrichée par les habitants qui aménagèrent leurs champs et leurs quartiers<sup>(4)</sup> au détriment des zones boisées. De même, sur la lande, les incendies pastoraux et le parcours des troupeaux empêchèrent le développement d'une végétation arborée. La lande rase à bruyères s'est ainsi progressivement substituée aux massifs forestiers de l'intérieur et constituera le paysage gascon jusqu'au milieu du XIX<sup>e</sup> siècle, qui fut immortalisé par les photographies de Félix Arnaudin. Avant d'être conquises par les Pins, les landes furent donc en premier lieu déboisées.

### **L'exploitation de la lande au XIX<sup>e</sup> siècle : un système agro-(sylvo)-pastoral de subsistance (d'après Sargos, 1997)**

Le système qui a longtemps perduré dans le triangle landais est un système agro-pastoral. Ceci est surtout vrai dans la "Grande Lande" où les arbres avaient peu leur place. À l'inverse, dans les régions plus périphériques (les "Petites Landes"), la culture du Pin pour sa résine (et parfois son bois) complétait le système économique. Le cœur du système économique reposait sur un transfert permanent de fertilité chimique entre les zones pâturées et les secteurs cultivés. Les landes étaient parcourues par du bétail, essentiellement ovin. Bien que les moutons landais fussent rustiques et de petite taille, la densité de pâturage était faible sur ces terres peu fertiles : environ 1,0 à 2,5 moutons par hectare. Tous les soirs, les bêtes étaient parquées dans des bergeries de manière à pouvoir recueillir du fumier (leur litière était issue de produits du soutrage de la lande). Le fumier était utilisé pour fertiliser les champs. Il fallait énormément de lande pour fertiliser les champs (environ 15 à 30 ha de lande pour 1 hectare de champ). Les produits issus des moutons ne rapportaient pas grand-chose et c'est surtout pour le fumier que l'élevage perdurait. L'agriculture était entièrement dépendante du pastoralisme : sans l'apport incessant de fumier issu du bétail et du soutrage, les rendements auraient rapidement décliné. La majeure partie des terres cultivées était consacrée aux céréales. Les champs étaient labourés en profonds billons. Le seigle, céréale d'hiver, était semé au sommet des billons afin d'échapper aux excès d'eau. Au printemps, du millet ou du panis étaient semés dans les sillons, qui conservaient une relative fraîcheur en été.

De petits massifs de pins existaient (les "pignadars", "pignadas" ou "pinadas"<sup>(5)</sup>) et étaient exploités pour la résine dès le XIII<sup>e</sup> siècle. Excepté dans certaines régions limitrophes du massif landais disposant de moyen de transport par flottage ou à proximité de Bordeaux, ces pignadars n'avaient pas vocation à produire du bois mais de la résine (la "gemme"). Ainsi, pour la majeure partie des habitants, les forêts ne représentaient qu'une source annexe de revenus, voire un simple point d'approvisionnement en combustibles.

### **De la lande à la forêt : une douloureuse reconversion**

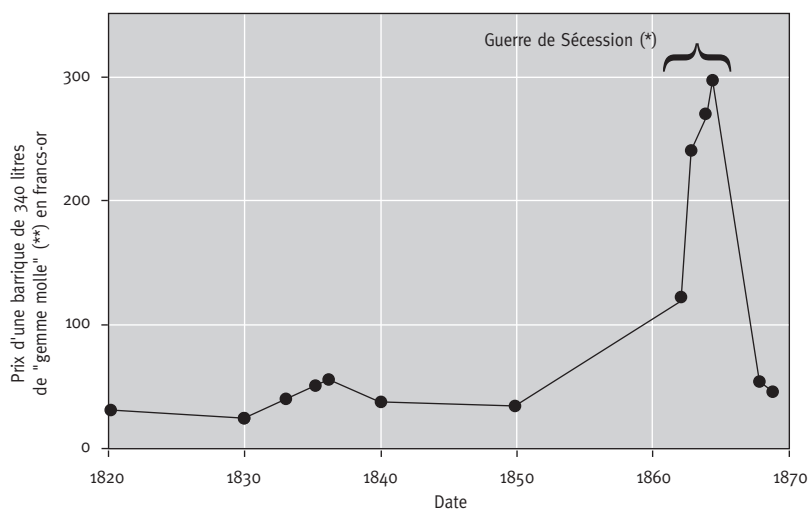
La création de la forêt moderne a longtemps été attribuée au seul mérite de deux ingénieurs, Brémontier et Chambrelent, ayant prouvé l'intérêt du boisement des landes et mis au point, pour le premier, une méthode de fixation des dunes littorales et, pour le second, une technique de drainage des landes marécageuses. R. Sargos (1949) fut l'un des premiers à remettre en question cet historique et à s'engager en faveur d'une réhabilitation des habitants des landes dans la "création" de cette forêt. À l'appui de ses propos, il atteste que les Landais créaient des pignadars à la place des landes depuis le XVII<sup>e</sup> siècle. Récemment, J. Sargos (1997) a confirmé ces observations et montré que l'histoire de la forêt landaise est plus que millénaire. Il met en évidence que, dès l'Antiquité, les Aquitains avaient découvert le moyen de produire de la poix ;

(4) Quartier : terme local désignant un hameau.

(5) Termes d'origine gasconne désignant les bois de Pins maritimes (n.m.).

que, dès le XV<sup>e</sup> siècle, les Landais créaient, exploitaient puis commercialisaient les produits des forêts de pins ; que l'utilité des fossés de drainage n'était à cette époque un mystère pour personne ; et que la conquête des landes par le Pin correspond à un mouvement séculaire, puis vivement accéléré par la loi de 1857<sup>(6)</sup> et les plans Brémontier et Chambrelent. À défaut d'avoir été les inventeurs de ces techniques, on ne peut donc retirer à ces deux figures régionales le mérite d'en avoir fortement favorisé l'application pratique. Les travaux de J. Sargos montrent également que, bien qu'initiée par certains de ses habitants depuis des générations, la métamorphose des landes en massif forestier fut l'objet de violents conflits entre les habitants vivant de l'agro-pastoralisme et des particuliers désireux de développer la production de résine. La progression des forêts est freinée par le poids du pastoralisme omniprésent sur le territoire (540 000 ovins sont recensés en 1852 pour le seul département des Landes). La transformation radicale et douloureuse du paysage landais, aux dépens d'un pastoralisme séculaire, s'est souvent traduite par une destruction systématique des nouvelles plantations de pins. Plus de 30 000 ha de jeunes forêts ont ainsi été incendiés entre 1868 et 1869. Malgré cette résistance, attestant de l'attachement des habitants des Landes à la sauvegarde des communaux et au maintien d'un traditionnel équilibre agro-sylvo-pastoral, le combat entre la lande et la forêt a rapidement tourné en faveur du Pin maritime lorsque le prix de la résine explosa sur les marchés mondiaux durant les années 1862-1865 (figure 2, ci-dessous). En l'espace d'un demi-siècle seulement, la forêt de Pin maritime remplaça la quasi-totalité des landes (figure 3, pp. 17-18).

**FIGURE 2** ÉVOLUTION DU COURS MONDIAL DE LA RÉSINE ENTRE 1820 ET 1870  
(données de Sargos, 1997)



\* : durant la guerre civile américaine (guerre de Sécession : 1861-1865), la Confédération sudiste, autre gros producteur mondial de résine, subit le blocus naval des États du Nord. Il s'en suivit une augmentation vertigineuse du prix de cette matière première.

\*\* : la "gemme molle" est la partie de la résine récoltée qui est exempte d'impuretés solides telles que des fragments d'écorce.

(6) Loi du 18 juin 1857 obligeant les communes des Landes de Gascogne à "assainir" et ensemer en Pin la totalité de leurs territoires communaux et aliénant de fait les droits d'usage et la disposition de ces communaux jusqu'alors dévolus aux activités pastorales.

### De la sylviculture traditionnelle à la ligniculture : la forêt intensive

Bien que récente, la forêt landaise a subi de profondes mutations dans son mode de culture et dans sa production depuis sa création au XIX<sup>e</sup> siècle. Elle a fonctionné pendant plus d'un siècle, jusqu'à la fin des années 1940, selon un mode de gestion sylvicole hérité de traditions ancestrales et basé sur la production de gemme et de bois de sciage (250 pins/ha, rotations de 80 à 90 ans). C'était alors "l'âge d'or" de la pinède landaise. Mais le développement de la pétrochimie et les grands incendies de 1937 à 1949, qui réduisirent en cendres près de la moitié du massif (figure 3, pp. 17-18), sonnèrent le glas de l'exploitation résinière. Les forestiers reboisèrent les landes dévastées alors que simultanément un dispositif de lutte contre l'incendie était mis en place (Billac, 1997). Peu de temps après, les premières tentatives d'amélioration et d'accélération de la production de bois ont vu le jour. La modernisation de la sylviculture entreprise depuis la fin des années 1950 a progressivement introduit puis imposé dès les années 1960-70, sous le terme de ligniculture, des itinéraires sylvicoles plus courts comprenant plusieurs éclaircies et une coupe rase (densité finale de 400 pins/ha, rotation de 35 à 50 ans ; Maugé, 1989). Ces itinéraires font également appel au drainage systématique des landes humides, au travail mécanique du sol, au débroussaillage (le plus souvent mécanique), à l'emploi de variétés de Pin maritime améliorées, et surtout à la fertilisation phosphatée sans laquelle la productivité serait bien moindre. Ce mode d'exploitation de la forêt permet sur des sols très pauvres une production de bois élevée, estimée actuellement à 12 m<sup>3</sup>/ha/an (Loustau *et al.*, 1999). Des scénarios plus intensifs fondés sur de courtes rotations (20 à 25 ans) sont envisagés par les gestionnaires forestiers pour répondre à l'évolution du marché vers la production de bois de trituration. D'autres scénarios, fondés sur l'optimisation du stockage de carbone dans l'écosystème, conduisent *a contrario* à recommander un allongement des rotations.

### De la forêt au maïs : un retour partiel de l'agriculture

Simultanément au développement de la ligniculture, le paysage landais va connaître une nouvelle évolution avec l'introduction de la monoculture intensive de maïs. L'apparition de la maïsiculture dans les Landes de Gascogne résulte en premier lieu d'opportunités liées à des défrichements naturels de la forêt — dont principalement les grands incendies de 1937 à 1949 — appuyées par une dynamique de mise en valeur agricole et de repeuplement de la lande, commandée par les pouvoirs publics. Suite à ces premiers aménagements localisés mais prometteurs, les premières exploitations agricoles sont installées au sein de la lande humide<sup>(7)</sup>, particulièrement touchée par les incendies de l'après-guerre, afin de constituer des couloirs cultivés de taille moyenne (70 ha environ) susceptibles de limiter la propagation des feux de forêt. Une autre raison de ce choix était liée à la proximité de la nappe phréatique dans les sols de lande humide, pouvant favoriser l'alimentation hydrique des cultures, alors non irriguées. Les premières installations agricoles connurent de sérieux obstacles liés aux aléas climatiques, à la méconnaissance des contraintes culturelles imposées par les sols landais et aux difficultés d'attribution de terres cultivables aux nouveaux exploitants. Malgré ces contraintes, l'apparition dès les années 1960 de nouvelles techniques de drainage, d'irrigation et de fertilisation a largement contribué à l'installation d'exploitations agricoles de superficie croissante (Hays, 1981). Ainsi, dans un souci de rentabilité économique d'une exploitation de plus en plus mécanisée, les surfaces défrichées passèrent très rapidement de 60 à 70 ha dans les premières années, à 150 à 200 ha au début des années 1970. En 1981, la surface cultivée en maïs est estimée à 81 500 ha. Par la suite, une politique de préservation de la forêt a mis fin aux grandes campagnes de défrichement des années 1970, mais la surface totale cultivée en maïs dans les Landes de Gascogne représente

(7) Lande humide : unité pédopaysagère des Landes de Gascogne occupant les interfluves mal drainés.

actuellement plus de 100 000 hectares soit entre 10 et 15 % de la surface du massif forestier (figure 3, pp. 17-18).

Ce bref historique de l'évolution des paysages landais permet de constater que, depuis toujours, les aménagements successifs des landes ont finalement consisté à maîtriser, d'une manière ou d'une autre, un élément essentiel à cette région : l'eau. Qu'elle soit en excès ou qu'elle fasse défaut, l'eau représente dans les Landes de Gascogne, le principal élément responsable de la différenciation des sols, de la distribution des associations végétales et de la répartition des pédopaysages landais.

## **PÉDOPAYSAGES FORESTIERS ACTUELS DES LANDES DE GASCogne**

### **Caractéristiques pédogénétiques et physico-chimiques des sols forestiers landais**

Dans les Landes de Gascogne, la présence conjointe d'un matériau parental filtrant, sableux et très pauvre en minéraux altérables (le Sable des Landes), d'un climat tempéré humide et d'une végétation acidifiante à base d'Éricacées a favorisé le déroulement d'un processus pédogénétique particulier : la podzolisation. Contrairement à la podzolisation boréale, climatique et généralisée à tous les matériaux, le facteur essentiel responsable de la podzolisation en climat tempéré est la nature du matériau parental. Les sols de la plaine sableuse des Landes sont essentiellement des Podzosols (Righi et Wilbert, 1984). La podzolisation résulte d'une acidification accentuée de l'humus, produisant des quantités massives de composés organiques solubles ou pseudo-solubles qui migrent en profondeur en entraînant le fer et l'aluminium à l'état complexé (Duchaufour, 1983). La podzolisation implique deux processus :

- Un processus biochimique d'altération (acido-complexolyse) défini comme une attaque des minéraux primaires par des solutions contenant des composés organiques acides et complexants. Cette attaque a pour effet l'élimination de l'aluminium et du fer ainsi que celle des autres cations ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Na}^+$ , etc.). La forte concentration des solutions en composants organiques "agressifs" est liée à la présence d'un humus de type moder ou mor caractéristique de ces sols acides à faible activité biologique.

- Un processus de migration verticale puis d'immobilisation des constituants organiques et des complexes organo-minéraux d'aluminium ou de fer. Des modifications d'ordre physico-chimique (Burman et Jongmans, 2005), biologique (Lundström *et al.*, 1996) et lithologique (Casenave, 1970) conduisent à l'insolubilisation de ces composés et à la formation des horizons d'accumulation.

Ces mouvements verticaux sont à l'origine de la différenciation verticale des horizons. Les Podzosols se caractérisent par la superposition d'un horizon éluvial (E) résiduel, essentiellement quartzueux gris cendré, voire blanc et d'un ou plusieurs horizons illuviaux<sup>(8)</sup> spodiques (BP) au sein duquel l'aluminium, le fer et éventuellement des matières organiques se sont accumulés (AFES, 1995). De plus, lorsque les conditions le permettent, deux horizons spodiques superposés se forment en profondeur par migration sélective plus profonde des petites molécules organiques (acides aliphatiques et aromatiques simples) que des grosses molécules (polymères). De cette manière s'individualisent des horizons BPh de couleur noirâtre, riches en acides humiques, et des horizons BPs de couleur ocre, riches en acides fulviques.

(8) Horizon illuvial spodique : un horizon illuvial est un horizon enrichi suite à un apport de matériaux provenant des horizons sus-jacents. Les matériaux accumulés peuvent être de l'argile, du fer, de l'aluminium, des matières organiques, des sesquioxydes, des carbonates, des sels solubles ou un mélange de ces différents matériaux. Dans le cas des horizons spodiques, l'illuviation concerne des matières organiques et de l'aluminium, avec ou sans fer.

FIGURE 3

**ÉVOLUTION DU BOISEMENT DES LANDES DE GASCOGNE DEPUIS LE XVIII<sup>e</sup> SIÈCLE (modifié à partir de Jolivet, 2000)**

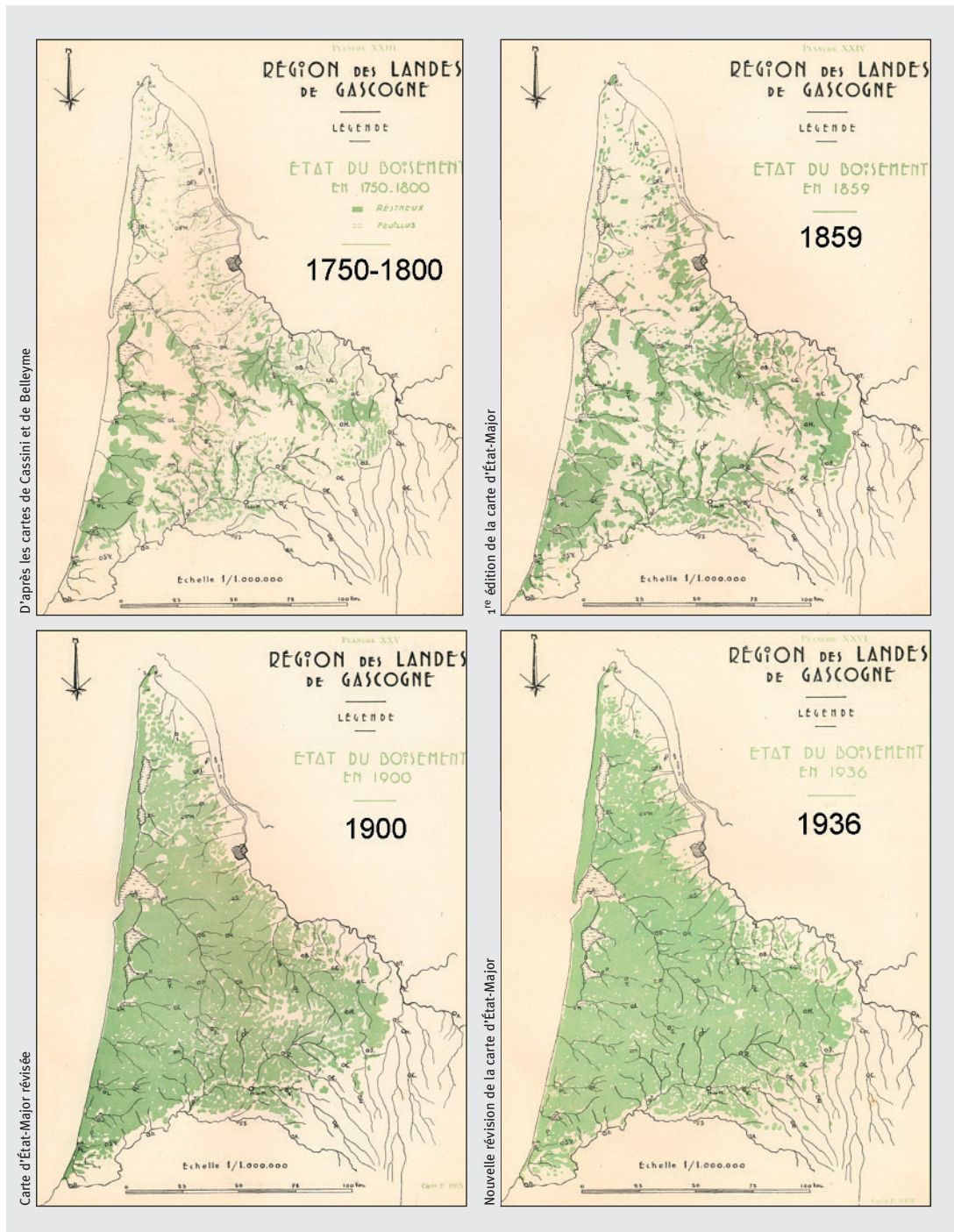
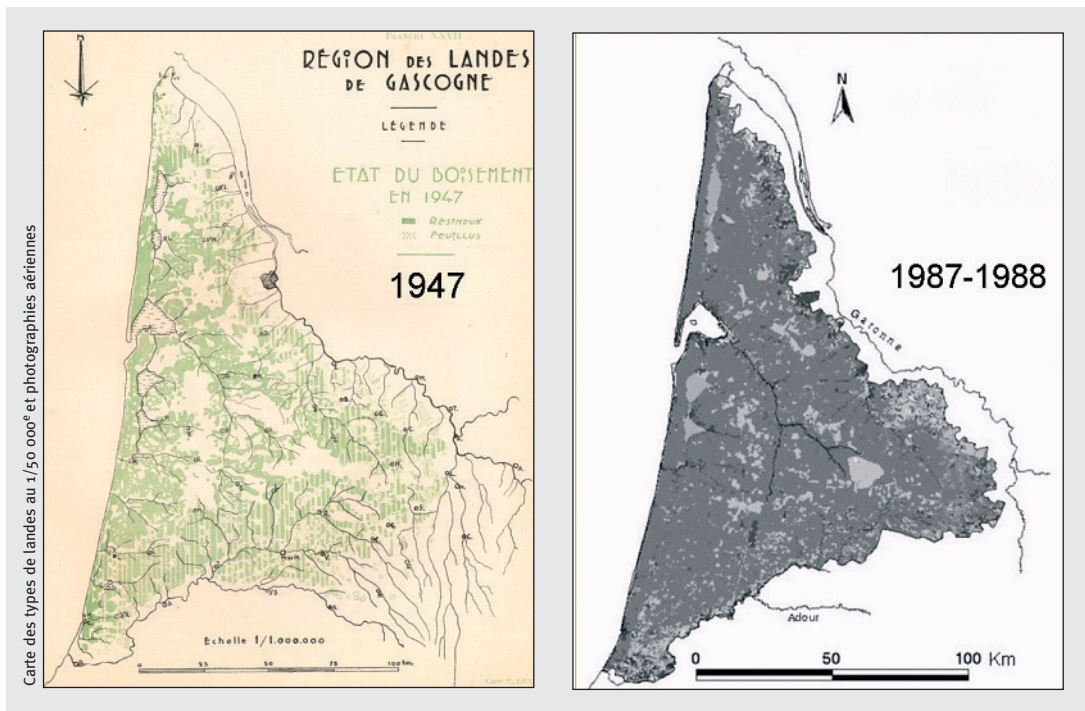


FIGURE 3 (suite)

**ÉVOLUTION DU BOISEMENT DES LANDES DE GASCOGNE  
DEPUIS LE XVIII<sup>e</sup> SIÈCLE** (modifié à partir de Jolivet, 2000)



Une des particularités des Landes de Gascogne est la présence d'une nappe phréatique superficielle dont les battements influencent l'évolution pédogénétique des sols. L'interaction entre cette nappe phréatique superficielle et la géomorphologie régionale ou locale (relief et micro-relief) influence le fonctionnement hydrique des sols, conditionnant leur évolution pédogénétique et le développement des horizons E et BP. Ainsi, selon la situation des sols vis-à-vis du relief ou du micro-relief, les horizons E sont plus ou moins différenciés et les horizons BP sont plus ou moins compacts.

Lorsque les variations du niveau de la nappe sont rapides et fortes ( $> 1$  m) et génèrent des alternances saisonnières de conditions oxydantes (précipitation du fer) ou réductrices (mobilisation du fer) au sein du profil, les constituants amorphes organiques associés à l'aluminium et au fer cimentent les grains de sable et forment des horizons BP indurés, qualifiés "d'aliôs" dans la région. Ces Podzosols sont qualifiés de Durique (lorsque l'horizon E est présent) ou Humo-Durique (lorsque l'horizon E est absent ou peu différencié). Il existe de grandes variations du degré d'induration, de l'épaisseur et de la teneur en fer des aliôs. Contrairement à une croyance ancienne et encore assez répandue (Thore, 1812 *in* : Barry *et al.*, 1952 ; Sargos, 1997), la présence de l'aliôs n'entraîne pas la formation d'une nappe superficielle en hiver. La perméabilité est plus faible dans l'aliôs que dans les autres volumes du sol, mais suffisante pour assurer un drainage vertical (Casenave, 1970). Par ailleurs, l'aliôs est le plus souvent discontinu sous forme de lentilles et donc incapable de former une barrière imperméable efficace. Il convient de différencier l'aliôs, issu de processus pédologiques et hydrochimiques, de la "garluche" qui est un minerai de fer (anciennement exploité par un réseau de petites forges) situé non loin de la

surface du sol et se présentant sous la forme d'une cuirasse ferrugineuse. La garluche résulte d'un phénomène d'oxydation brutale de la nappe très chargée en fer le long des cours d'eau les plus importants (Casenave, 1970).

Au contraire, lorsque le battement de la nappe phréatique est faible (< 1 m) et que son niveau engorge les horizons supérieurs pendant une grande partie de l'année, limitant ainsi les alternances saisonnières de conditions oxydantes et réductrices, les horizons spodiques restent meubles et peu différenciés. Dans ce cas, on observe des Podzosols de type Meuble (lorsque l'horizon E est présent) ou Humique (lorsque l'horizon E est absent ou peu différencié).

Malgré des différences morphologiques, ces différents types de Podzosols partagent un certain nombre de caractéristiques communes. La litière acide générée par la végétation herbacée et de résineux, associée à un contexte pédologique défavorable à la biodégradation induit la formation d'un humus brut généralement de type mor à hémimoder (Jabiol *et al.*, 1995). Leur forme et leur épaisseur sont perturbées par les actions de gestion sylvicole et notamment les passages répétés d'un rouleau à lames (le "rouleau landais") destinés à limiter le développement du sous-bois. Dans les horizons de surface, la structure des sols est particulière. La texture des Podzosols landais varie peu avec la profondeur et se décompose en moyenne de la façon suivante (Augusto *et al.*, 2006) : 2,4 % d'argiles (< 2 µm) ; 2,9 % de limons (2-50 µm) ; 94,8 % de sables (50-2 000 µm). Il s'agit ici de valeurs moyennes, ce qui implique une certaine variabilité des valeurs selon le profil étudié. Ces propriétés confèrent à ce matériau un caractère meuble et très filtrant. Il faut souligner la très faible teneur en argiles des podzols landais, ce qui a des incidences sur leur comportement physico-chimique, d'autant que ces 2,4 % d'argiles granulométriques ne contiennent pas que des argiles minéralogiques, mais aussi une forte proportion de petits quartz, d'oxydes ferro-aluminiques et de feldspaths (Righi et de Coninck, 1977). Ainsi, l'extrême pauvreté de ces sols en éléments fins, particulièrement en colloïdes argileux, est à l'origine d'un complexe argilo-humique presque inexistant. À l'exception des horizons organiques, la capacité d'échange cationique (CEC ; méthode Metson) est faible, inférieure à 20 cmol<sub>c</sub>/kg et souvent à 10 cmol<sub>c</sub>/kg. Elle est essentiellement liée à la matière organique. Le taux de saturation est faible (généralement de 10 à 15 % en deçà de 20 cm de profondeur ; tableau II, ci-dessous), ce qui indique une forte proportion d'ions aluminium et de protons sur le complexe adsorbant. Ces sols présentent un pH<sub>H<sub>2</sub>O</sub> de l'ordre de 4,5 dans les horizons supérieurs. Il augmente légèrement dans les horizons profonds où il atteint des valeurs de l'ordre de 5. Le rapport C/N est toujours élevé (tableau II), même s'il peut varier de manière conséquente selon le profil de sol étudié (Righi, 1977). Comme cela a été évoqué précédemment, les matières organiques contribuent à l'essentiel de la CEC, mais aussi à une part importante des stocks en nutriments (Trichet *et al.*, 1997) et à la réserve hydrique utile du sol (Chossat, 1992).

**TABLEAU II** Caractéristiques physico-chimiques moyennes des Podzosols landais

Volume de sol	Da (kg/L)	C <sub>TOT</sub> (g/kg)	N <sub>TOT</sub> (g/kg)	C/N	P <sub>ass</sub> (g P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /kg)	pH eau	CEC (cmol <sub>c</sub> /kg)	S/T (%)
0-15 cm.....	1,14	29,4	1,0	29	0,040	4,5	5	34
16-45 cm.....	1,38	17,3	0,7	28	0,025	4,7	6	12
45-100 cm.....	1,51	8,5	0,3	24	0,030	5,0	3	16

Da : densité apparente, n > 50 pour chaque horizon.

C<sub>TOT</sub> et N<sub>TOT</sub> : C et N totaux, n > 100 pour chaque horizon.

P<sub>ass</sub> : P assimilable (méthode Duchaufour et Bonneau), n > 25 pour chaque horizon.

pH eau, n > 100 pour chaque horizon.

CEC : capacité d'échange cationique (méthode Metson), n > 50 pour chaque horizon.

S/T : taux de saturation de la CEC en cations non acides, n > 50 pour chaque horizon.

Dans le massif forestier des Landes de Gascogne, l'évolution de la matière organique brute est différente en fonction du régime de la nappe phréatique qui affecte le profil. Ainsi, la **nature des constituants organiques** des horizons de surface et de profondeur sépare nettement les différents types de Podzosols (Righi et Wilbert, 1984).

Dans les Podzosols Duriques et Humo-Duriques, la migration vers les horizons spodiques des substances solubles et pseudo-solubles (acides fulviques notamment) laisse dans les horizons A, biologiquement peu actifs, une fraction organique constituée essentiellement d'acides humiques et de fragments végétaux résiduels plus ou moins transformés en bitumes et humines héritée (Righi, 1977). Cette matière organique très stable présente un rapport C/N compris entre 20 et 30. La présence de lipides en quantité importante, inhibant l'activité microbienne, est susceptible d'entretenir et d'accentuer le processus de podzolisation. La plus grande partie de la matière organique est juxtaposée aux grains de sable, favorisant l'érosion hydrique ou éolienne si le sol est mis à nu (Righi et Wilbert, 1984). Les horizons spodiques indurés sont riches en acides fulviques (AF/AH = 4) liés sous forme colloïdale à de grandes quantités d'aluminium et formant des revêtements monomorphes très résistants (Righi, 1977 ; Andreux *et al.*, 1987 ; Righi, 1987).

Dans les Podzosols Humiques, la minéralisation globale du carbone organique est plus intense (Jambu et Righi, 1973). L'humification conduit à la formation d'acides humiques et fulviques à caractère peu mature, liés à l'aluminium et au fer sous forme de complexes organo-métalliques (Righi, 1977). Les teneurs en matières organiques résiduelles, humines et lipides sont nettement plus faibles, indices d'une meilleure activité biologique et d'un taux de renouvellement plus élevé. La matière organique générée par une litière, où domine la Molinie, possède un rapport C/N plus bas. Elle n'est pas toujours juxtaposée mais peut former un plasma pouvant lier ensemble quelques grains de sable (Righi et Wilbert, 1984), réduisant ainsi les risques d'érosion. Les horizons spodiques meubles possèdent une matière organique relativement labile qui se présente sous forme d'agrégats dans lesquels les proportions d'acides fulviques et humiques sont équivalentes (Righi, 1977 ; Andreux *et al.*, 1987 ; Righi, 1987).

Les Podzosols Meubles sont comparables aux Podzosols Duriques, mais la podzolisation est encore plus accentuée, du fait de l'absence totale d'influence de la nappe phréatique (Wilbert, 1977). La matière organique des horizons superficiels formée essentiellement d'acides humiques présente un rapport C/N très élevé de l'ordre de 40. On observe une réduction de la matière organique non transformée et une augmentation du taux d'humine résiduelle qui semble s'accroître avec le caractère xérique du milieu. Le taux de lipides est également important. Dans ces conditions, la migration différentielle des composés organiques en fonction de leur taille et de leur charge en éléments complexés n'est pas perturbée par les mouvements de la nappe phréatique (Righi et Wilbert, 1984 ; Righi, 1987). Par conséquent, la matière organique des horizons spodiques meubles est essentiellement composée d'acides fulviques.

À côté des Podzosols qui représentent la grande majorité des sols du massif, on rencontre d'autres types de sols, dans des situations particulières.

Sur les dunes côtières holocènes se sont développés des Arénosols très peu évolués. Les Arénosols sont des sols très sableux et pauvres en argiles. Ils se caractérisent par une structure uniformément particulaire et par l'absence totale à la fois d'horizon typique ou d'engorgement significatif (AFES, 1995). Ils ont une réserve maximale utile en eau extrêmement faible et un drainage vertical qui expose la végétation à des stress hydriques estivaux prononcés. Les réserves en minéraux altérables sont extrêmement faibles ainsi que la capacité d'échange, ce qui leur confère une fertilité chimique très faible. Les Arénosols landais se caractérisent par une texture particulièrement grossière (98-99 % de sables) et de très faibles teneurs en C. Il en

résulte une acidité modérée (pH entre 5,0 et 5,5) mais également une capacité d'échange cationique ( $CEC \leq 5 \text{ cmol}_c/\text{kg}$ ) et des stocks en nutriments très faibles ( $0,9\text{-}2,0 \cdot 10^3 \text{ kg/ha}$  d'azote) (Augusto *et al.*, 2006). Ces conditions à la fois très filtrantes et oligotrophes expliquent la faible vitesse de croissance des pins (Loustau *et al.*, 1999) ainsi que la faible abondance de la végétation accompagnatrice (Dobremez *et al.*, 1997). Malgré ces conditions défavorables, la végétation naturelle des dunes côtières peut être particulièrement diversifiée, comme dans le cas de la forêt usagère de la Teste-de-Buch.

Dans les zones les plus mal drainées du massif, notamment à proximité des lagunes ou dans les fonds de vallées encaissées, la podzolisation peut être contrariée et l'on observe alors la présence de sols hydromorphes, Rédoxisols ou Réductisols. Ils sont caractérisés en surface par un horizon A sombre et riche en matières organiques. En fonction de la durée d'engorgement du profil, lié au battement de la nappe phréatique, on observe en profondeur un horizon clair plus ou moins marqué par des taches ocres de réoxydation du fer : horizon rédoxique g tacheté, horizon réductique oxydé Go peu tacheté ou horizon réductique G non tacheté. Le caractère acide et réducteur de la nappe phréatique entraîne une forte mobilisation du fer et son départ des profils : dans ces conditions, les taches d'oxydation sont peu exprimées, souvent difficiles à voir, et le diagnostic du type de sol est rendu d'autant plus difficile que le drainage systématique des Landes de Gascogne a profondément modifié le régime hydrique des sols (durée d'engorgement et amplitude de battement de la nappe). Hormis le rapport C/N et le  $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$  qui sont légèrement plus favorables, les Rédoxisols et Réductisols landais ont des propriétés chimiques très similaires aux Podzols landais (Augusto *et al.*, 2006). Au sein des Rédoxisols, Righi (1977) et Jolivet (2000) distinguent des formes "humifères" (Ah/Cg) et "peu humifères" (A/Cg) selon la teneur en matière organique de l'horizon A.

Les Landes de Gascogne doivent une part de leur originalité à la nappe de sable qui les recouvre entièrement. Malgré l'apparente homogénéité de ce substrat, les sols développés sur ces sables possèdent des caractéristiques et des degrés d'évolution variés dont la distribution géographique n'est pas aléatoire. Le réseau hydrographique et les variations topographiques liées à la géomorphologie régionale et locale font varier la profondeur de la nappe phréatique et l'importance de ses oscillations saisonnières (Demounem, 1979). Ces variations de relief et d'amplitude de battement de la nappe phréatique déterminent l'évolution pédogénétique des sols, les cortèges floristiques du sous-bois et d'une manière générale les caractéristiques et la répartition des pédopaysages du massif landais.

### Caractérisation et répartition des pédopaysages landais

- *Typologies des stations du plateau landais*

En 1857, Crouzet (*in* Sargos, 1997) proposait une typologie simple basée sur la présence et la profondeur de l'aliol. Plus tard, Ducomet (1904) proposa une typologie basée sur la végétation et qui définit trois stations principales : les landes "sèche", "demi-sèche" et "humide". Duchaufour (1949) fut l'un des premiers à étudier la relation entre la végétation et les sols forestiers et à mettre en évidence le rôle des oscillations de la nappe phréatique dans l'évolution des sols (en particulier de la profondeur de l'horizon illuvial). Par la suite, Barry *et al.* (1952) ont montré le rôle déterminant du relief et du réseau hydrographique dans la répartition des associations végétales et leur individualisation en différents types de landes en fonction de nuances de drainage. Enfin, Comps *et al.* (1979) et Demounem (1979) ont, dans des démarches indépendantes, mis en relation les conditions de drainage, les groupements végétaux indicateurs et les évolutions pédologiques. Ces auteurs définissent ainsi une gamme assez large (jusqu'à 9) de situations différenciées. Parallèlement, les travaux de Righi (1977) et Righi et Wilbert (1984) ont

mis en évidence le rôle déterminant de la nappe phréatique sur la pédogenèse et les caractéristiques des sols des Landes du Médoc.

Tous ces travaux ont montré que la couverture pédopaysagère du plateau landais est constituée d'une juxtaposition de terroirs ou de stations présentant des caractéristiques relativement bien individualisées. Actuellement, il est d'usage de distinguer trois grands types de landes, en fonction du relief général et de l'intensité du drainage : la lande sèche, la lande mésophile et la lande humide (tableau III, ci-dessous). Ces trois principaux types de lande sont définis par des associations végétales caractéristiques, un type de sol dominant ou des associations de sols organisés en toposéquences (figure 4, p. 23).

#### La lande sèche (ou xérophile)

Sur les bordures méridionales et occidentales du massif, ainsi qu'en bordure des ruisseaux, l'enfoncement rapide des axes de drainage vers leurs niveaux de base provoque un rabattement important (> 3 m) de la nappe phréatique. On observe alors sur des versants des étendues de lande sèche où s'individualisent des podzols à horizon éluvial très épais et horizons spodiques meubles (Podzosols Meubles). Ces podzols se rencontrent également au sommet des dunes continentales sèches s'élevant à plus de cinq mètres au-dessus du niveau de la nappe phréatique. Dans ces différentes situations, les sols développés en milieu bien drainé ne subissent jamais l'influence de la nappe phréatique. Par conséquent, le processus de podzolisation n'est tributaire que du climat et de la végétation. L'Hélianthème faux-alysson (*Halimium alyssoides*) est l'espèce indicatrice des landes sèches. Bien que non strictement inféodées aux landes sèches, la Callune (*Calluna vulgaris*) et la Bruyère cendrée (*Erica cinerea*) y sont présentes en abondance.

#### La lande mésophile

La lande mésophile occupe les versants drainés des moyennes et basses vallées des cours d'eau. La forte amplitude de battement de la nappe phréatique (jusqu'à 2 mètres) crée des alternances

**TABEAU III** **Typologie simplifiée du massif forestier landais**  
(végétation d'après Barry *et al.*, 1952 ; Comps *et al.*, 1979 ; Dobremez *et al.*, 1997)

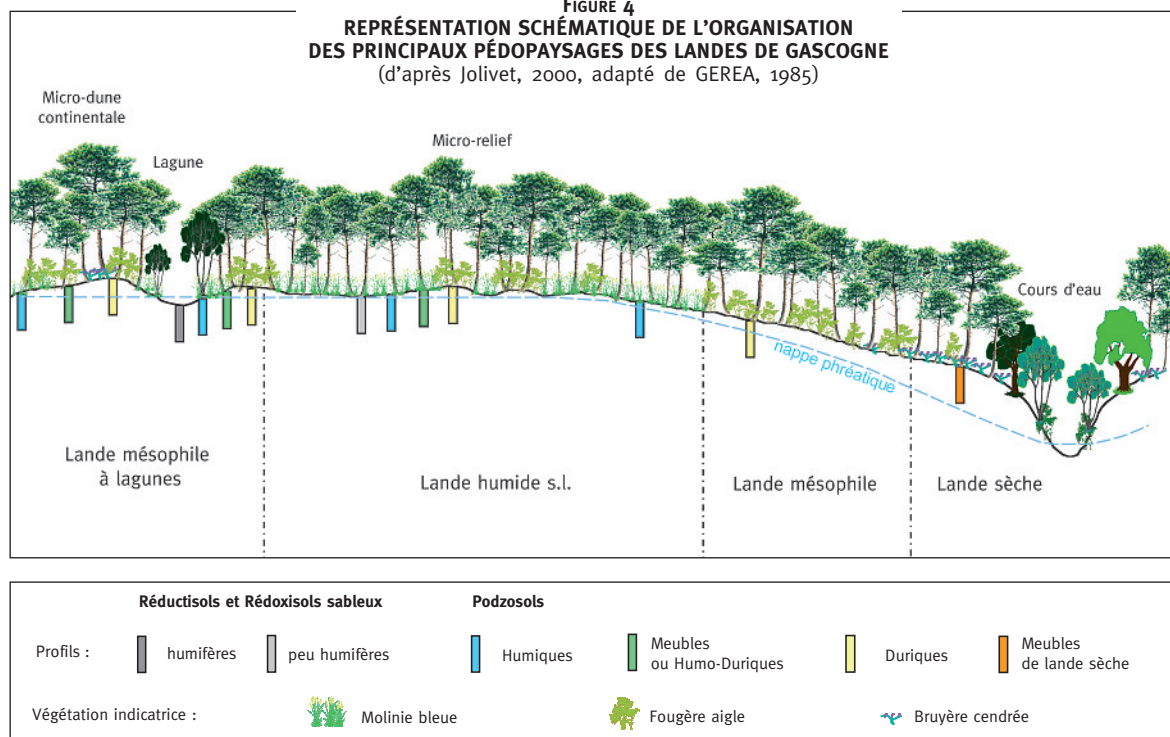
Station	Espèces majoritaires ou indicatrices	Type de sol dominant	Type d'alias dominant	Amplitude de battement de la nappe phréatique
Dune littorale	<i>Scleropodium purum</i> <i>Hypericum cupressiforme</i> <i>Cytisus scoparius</i>	Arénosols	Absent	
Lande sèche	<i>Calluna vulgaris</i> * <i>Erica cinerea</i> * <i>Halimium alyssoides</i> <sup>(i)</sup>	Podzosols Meubles	Meuble	> 3 m (nappe profonde)
Lande mésophile	<i>Pteridium aquilinum</i> **	Podzosols Duriques et Humo-Duriques	Induré	1 à 3 m
Lande humide (au sens large)	<i>Pteridium aquilinum</i> ** <i>Molinia caerulea</i> <i>Erica tetralix</i> <sup>(i)</sup>	Toposéquences de Podzosols (Duriques à Humiques) Rédoxisols et Réductisols	Induré à Meuble  Absent	< 1 m (nappe superficielle)

\* : d'après Comps *et al.* (1979), *Calluna vulgaris* et *Erica cinerea* ne sont pas indicateurs de la lande sèche mais y sont plus abondants que dans les autres stations.

\*\* : *Pteridium aquilinum* peut être codominante avec *Molinia caerulea*.

i : espèce indicatrice d'une station.

FIGURE 4  
REPRÉSENTATION SCHEMATIQUE DE L'ORGANISATION  
DES PRINCIPAUX PÉDOPAYSAGES DES LANDES DE GASCOGNE  
(d'après Jolivet, 2000, adapté de GERA, 1985)



de périodes d'engorgement et de dessiccation permettant l'individualisation d'un horizon éluvial et favorisant la consolidation des horizons spodiques en alios. Les sols développés dans ces conditions sont qualifiés de Podzols Duriques (podzols humiques à alios et hydromorphie de profondeur). La végétation caractéristique de la lande mésophile est dominée par la Fougère aigle (*Pteridium aquilinum*). Au cœur du massif landais, on retrouve également des secteurs de lande mésophile liés à la présence très localisée de lagunes associées à un micro-relief caractéristique, avec des amplitudes topographiques plus importantes qu'en lande humide (> 1 m). Ces situations permettent de définir une variante régionale de la lande mésophile dite "à lagunes".

La lande humide *sensu lato* (ou hygrophile)

La majeure partie du massif landais est occupée par de vastes étendues planes, mal drainées. Dans ces interfluves, le niveau de la nappe fluctue lentement et elle affleure à la surface lors des périodes de forte pluviosité printanière et automnale. Elle atteint son niveau bas assez souvent entre 1 et 2 mètres sous la surface. Cette unité pédopaysagère est caractérisée par une végétation dominée par la Molinie (*Molinia caerulea*) et par des associations de Podzols et de sols hydromorphes organisés en toposéquences.

- *Variabilité spatiale des pédopaysages landais*

Bien que ces associations sol-végétation soient relativement bien caractérisées, et sous une apparente uniformité, liée à la dominance dans le paysage des pinèdes monospécifiques équiennes, les pédopaysages du massif forestier landais présentent une forte variabilité spatiale à l'échelle parcellaire. Cette variabilité, qui s'observe particulièrement au sein des stations de

lande humide *sensu lato*, correspond aux toposéquences de période pluridécamétrique et d'amplitude généralement inframétrique liées au micro-relief, décrites pour la première fois par Righi (1977) puis Righi et Wilbert (1984). En lande humide, le micro-relief crée localement des conditions d'engorgement contrastées, responsables d'une évolution pédogénétique différenciée. Ces conditions d'engorgement variables (liées à la présence plus ou moins longue de la nappe phréatique au sein des profils) sont à l'origine de l'organisation des sols en toposéquences. Cette organisation permet de distinguer au sein de la lande humide *sensu lato* quatre types de stations (lande mésophile, lande mésohygrophile, lande humide *sensu stricto* et lande très humide), depuis le sommet des buttes relativement bien drainées jusqu'aux dépressions très humides. Sur ces toposéquences, les sols évoluent du Podzosol Durique au Podzosol Humique puis aux sols hydromorphes dans les situations les plus humides, où l'omniprésence de la nappe phréatique s'oppose au processus de podzolisation. Les espèces végétales indicatrices sont du pôle le plus au sec au pôle le plus humide : *Pteridium aquilinum*, *Molinia caerulea* et *Erica tetralix*.

Depuis les travaux de Righi (1977) puis Righi et Wilbert (1984), Jolivet (2000) a montré à partir d'une analyse fine de la distribution intra-parcellaire des sols de lande humide que ces toposéquences se traduisaient spatialement par une forte variabilité latérale que l'on pouvait décomposer en deux niveaux de variabilité. Dans cette assertion, le micro-relief peut être divisé en deux composantes dont l'une formerait un "mésorelief", correspondant aux toposéquences pluridécamétriques de lande humide décrites par Righi et Wilbert (1984), et l'autre formerait un "micro-relief" de période infra-décamétrique, à l'origine d'une part importante de la variabilité spatiale des sols à cette échelle. Ce micro-relief infra-décamétrique pourrait trouver son origine dans des formes naturelles de relief, mises en place lors de l'épandage éolien du Sable des Landes.

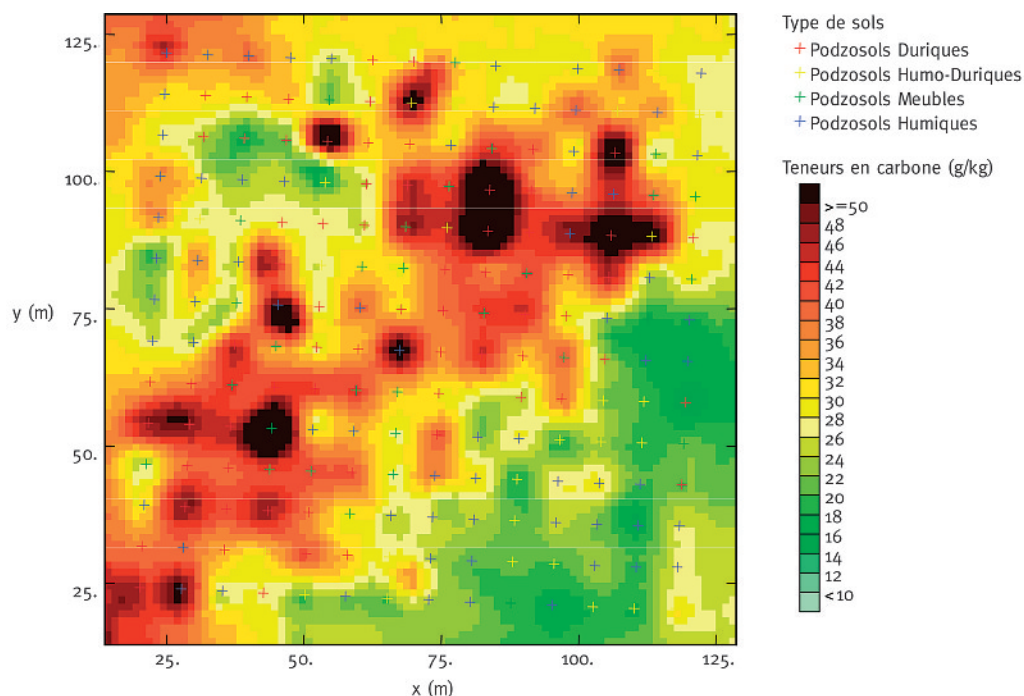
Ces travaux récents ont également confirmé l'existence au sein des toposéquences de nombreux faciès intermédiaires. Un type de sol n'est donc pas exclusif d'un type de lande, mais on observe plutôt des familles de sols et des associations de plantes exprimant une certaine tendance (Comps *et al.*, 1979). De plus, la faiblesse de la relation entre le type de sol et le type de végétation est probablement liée au fait que la végétation est très réactive à un changement de régime hydrique engendré par les pratiques de sylviculture alors que le sol peut conserver un faciès hérité de conditions hydriques anciennes (Gelpe, communication personnelle). De la même manière, la relation entre le type de sol et la topographie est entachée d'une très forte variabilité (Jolivet, 2000). Ceci s'explique par le fait que les pratiques sylvicoles ont largement modifié le modelé du micro-relief du fait du labour ou de la structure rectiligne des plantations. Ainsi, les faibles variations d'altitude qui avaient permis la différenciation des sols sont aujourd'hui invisibles dans la plupart des parcelles forestières.

- *Variabilité spatiale des teneurs en carbone organique des sols forestiers*

La variabilité spatiale des sols se traduit par une forte variabilité spatiale des teneurs en carbone. Cette variabilité des teneurs en carbone s'exprime aux différentes échelles de variabilité des sols. Les sols de lande humide et mésophile sont globalement plus riches en matière organique que les sols de lande sèche (Juste, 1989). Ceci est essentiellement dû à une différence importante de productivité végétale. En effet, les landes sèches sont sujettes à des déficits hydriques sensibles en période estivale, et la végétation xérophile adaptée présente une faible productivité (environ 0,6 t/ha/an de matière sèche aérienne ; Poser, 1983) générant une matière organique peu abondante. À l'inverse, les landes humides et mésophiles bien alimentées en eau possèdent une végétation plus productive (1,5 à 2,5 t/ha/an ; Bergeret, 1980 ; Werno, 1984) à l'origine de plus grandes quantités de résidus organiques. Entre ces deux derniers pôles écologiques, la lande mésophile présente les plus forts taux de matières organiques, du fait de la minéralisation plus intense affectant les sols de lande humide (Righi et Wilbert, 1984).

Au sein de la lande humide, l'interaction entre le micro-relief et la nappe phréatique, qui détermine le régime hydrique des sols, conditionne leur évolution pédogénétique et la dynamique des matières organiques. À l'échelle de la toposéquence, l'organisation de la teneur en carbone des horizons superficiels des sols suit un certain nombre de lois — ni linéaires, ni monotones — qui correspondent à des conditions particulières d'hydromorphie, de productivité végétale ou de minéralisation, en relation avec l'organisation du relief, spécifique à chaque pédopaysage. Cette organisation se retrouve d'un point de vue spatial à l'échelle de la parcelle. La distribution des teneurs en carbone est affectée d'une forte variabilité spatiale aléatoire qui se manifeste sur de faibles distances, pour une même occupation du sol et un même type de sol (Jolivet, 2000). Cette variabilité se traduit par de très fortes variations de teneurs sur de faibles distances, qui peuvent ainsi passer de 10 à 50 g de carbone par kg de sol en l'espace de quelques mètres (figure 5, ci-dessous).

FIGURE 5 **TENEURS EN CARBONE ORGANIQUE ET TYPES DE SOLS  
DANS UNE PARCELLE FORESTIÈRE DE LANDE HUMIDE**



La variabilité des teneurs en carbone peut être accentuée ou modifiée par un changement d'occupation du sol ou par une intensification des pratiques sylvicoles. L'action du gestionnaire forestier contribue à accentuer la variabilité spatiale des sols aux échelles intra et inter-parcellaire. À l'échelle inter-parcellaire, une enquête récente (2005 : Trichet, données en cours de traitement), portant sur les pratiques de gestion d'un échantillon représentatif des entrepreneurs opérant dans le massif forestier landais, a montré que deux parcelles situées dans le même secteur et de même classe stationnelle pouvaient présenter de fortes différences de traitement en termes de fertilisation (0-130 kg/ha de  $P_2O_5$ ) ou de travail du sol. Lors de la mise en place du peuplement, le sol n'est travaillé que sur une partie de la surface du sol (qui correspond aux

futurs alignements d'arbres) dans près de 9 cas sur 10, ce qui crée une hétérogénéité spatiale périodique dans les horizons de surface. L'intensification des pratiques sylvicoles (augmentation de la fréquence des éclaircies et des débroussailllements) se traduit également par une augmentation importante de la variabilité à courte distance des teneurs en carbone organique total. Au cours de la vie du peuplement, le gestionnaire augmente en effet l'hétérogénéité intra-parcellaire en passant le rouleau landais pour limiter le développement du sous-bois, ce qui crée une succession de lignes de creux et de bosses perpendiculaires aux lignes d'arbres. D'une manière générale, il existe donc des différences significatives des propriétés du sol au sein du peuplement. Ces différences concernent, à court terme, la densité apparente et la teneur en phosphore et, à plus long terme, l'humidité, la teneur en matières organiques et la partie supérieure du profil pédologique.

- *Variabilité spatiale de la productivité forestière*

La variabilité des sols et de leurs propriétés a des conséquences significatives sur la productivité des peuplements qui s'étage de 7 à plus de 16 m<sup>3</sup>/ha/an (Loustau *et al.*, 1999). Cette large fourchette de valeurs est partiellement liée aux stations. Dans la conclusion générale de sa thèse, Demounem (1979) précise que les sols de lande mésophile correspondent à l'optimum édaphique du Pin maritime. Dans ces situations, les conditions d'alimentation hydrique satisfaisantes (niveau d'étiage de la nappe phréatique compris entre 100 et 200 cm, potentiel capillaire voisin de 2,5 à la reprise de végétation en mars, vitesse élevée de l'eau de percolation et déficit hydrique inférieur à 40 % à la mi-juillet) associées à une mobilisation biologique des éléments N, P et K précoce et continue, permettent une alimentation optimale du Pin maritime. Ces situations correspondent aux peuplements les plus productifs. Il décrit ensuite comment cet optimum se dégrade lorsqu'on passe à des situations plus humides ou plus sèches, en fonction de conditions défavorables d'alimentation hydrique (déficits ou excès d'eau) et minérale (diminution de la mobilité de P et K). De grandes disparités existent de plus au sein d'une même station. Ainsi, les informations chiffrées du Groupement d'Intérêt scientifique "Coopérative de données croissances" indiquent que, à âge et à sylviculture égales, la productivité peut aller du simple au double pour deux peuplements sur une même station (Céline Meredieu – INRA de Bordeaux, communication personnelle). L'origine de cette variabilité intra-stationnelle n'est pas encore connue, mais plusieurs hypothèses existent, comme celle d'une grande disparité des propriétés des sols pour la rétention et l'échange du phosphore (Laurent Augusto, données non publiées). Des recherches sont en cours afin de tester ces hypothèses, notamment dans le cadre du Pôle de Compétitivité "Industrie et Pin maritime du futur".

## CONCLUSIONS

Les Landes de Gascogne forment une grande plaine sableuse qui tire son originalité et son identité de quatre caractéristiques essentielles. La première caractéristique tient en grande partie à l'uniformité de la nappe de sable qui recouvre la totalité de son territoire et qui impose des contraintes hydriques et nutritionnelles aiguës aux peuplements. La deuxième caractéristique majeure de cette région lui vient de l'eau, omniprésente du fait d'un réseau hydrographique peu développé. L'eau est le principal élément responsable de la répartition des paysages, de la différenciation des sols landais et de la productivité des peuplements. Sous l'influence de la nappe phréatique, les sols des Landes de Gascogne se différencient nettement tant au niveau du développement morphologique des profils qu'à celui des processus d'altération de la roche-mère. En effet, la différenciation morphologique des sols est étroitement liée au degré d'évolution du processus de podzolisation qui est essentiellement contrôlé par le régime hydrique affectant le

massif et qui se traduit par un mode d'humification très différent. La nappe phréatique est à l'origine de pédoclimats différents qui interviennent sur le niveau d'activité biologique des profils et sur les processus de l'humification. Elle est l'agent de transport des substances mobiles et favorise les mouvements verticaux des composés organo-métalliques ainsi que leur départ vers les horizons spodiés, dans les sols des landes mésophiles où le battement saisonnier de la nappe est important ; au contraire, elle s'oppose à cet entraînement dans les sols hydromorphes ne s'asséchant pas en été. En définitive, l'action de la nappe favorise la podzolisation dans les zones les plus sèches où se développent les podzols les plus évolués, et la freine dans les zones humides où l'on trouve les sols les moins différenciés.

Les sols, majoritairement des Podzosols, sont pauvres en minéraux altérables mais riches en matières organiques. Cette richesse des sols en matières organiques constitue la troisième caractéristique importante des Landes de Gascogne, puisqu'elle constitue, pratiquement, le seul constituant capable d'assurer au sol une certaine cohésion, ainsi qu'un support de rétention d'eau et d'éléments minéraux en l'absence quasi complète de fraction argilo-limoneuse. La quatrième caractéristique de la couverture pédologique des Landes de Gascogne, et peut-être la moins connue, a trait à sa forte hétérogénéité spatiale. Celle-ci est visible à toutes les échelles d'observation.

Pour le gestionnaire, il résulte de ce constat que le nombre de facteurs à prendre en considération n'est pas négligeable. Qu'elle soit en manque ou en excès, l'eau est actuellement trop souvent le seul critère d'orientation de l'itinéraire sylvicole dans le massif forestier landais. Compte tenu de l'importance des autres caractéristiques des Landes de Gascogne sur la productivité à court et long termes de la forêt, une approche visant à développer des itinéraires techniques moins standardisés et prenant en compte une analyse plus fine de la situation serait une avancée dans le domaine de la gestion intégrée des peuplements. Outre une adaptation des scénarios de gestion sylvicole aux principaux niveaux écophysologiques qui correspondent  *grosso modo*  aux principaux types de lande, on pourrait imaginer, à l'instar de ce qui est pratiqué en sol agricole, de s'orienter vers une sylviculture de précision qui permettrait notamment d'optimiser les apports d'éléments fertilisants à l'installation des peuplements. Dans ce domaine, le développement de référentiels simplifiés associés à des analyses de sol pourrait représenter une voie d'avenir, pour tendre vers une sylviculture durable du Pin maritime dans le massif des Landes de Gascogne.

Claudy JOLIVET – Dominique ARROUAYS  
 US InfoSol  
 INSTITUT NATIONAL DE LA RECHERCHE AGRONOMIQUE  
 Centre de Recherches d'Orléans  
 BP 20619  
 F-45166 OLIVET CEDEX  
 (claudy.jolivet@orleans.inra.fr)  
 (dominique.arrouays@orleans.inra.fr)

Laurent AUGUSTO \*  
 UMR Transfert sol-plante  
 et cycle des éléments minéraux  
 dans les écosystèmes cultivés  
 INSTITUT NATIONAL DE LA RECHERCHE AGRONOMIQUE  
 BP 81  
 F-33883 VILLENAVE D'ORNON CEDEX  
 (laugusto@bordeaux.inra.fr)

Pierre TRICHET  
 UR Écologie fonctionnelle  
 et physique de l'environnement  
 INSTITUT NATIONAL DE LA RECHERCHE AGRONOMIQUE  
 69, route d'Arcachon  
 F-33612 CESTAS CEDEX  
 (pierre.trichet@bordeaux.inra.fr)

\* auteur correspondant

## BIBLIOGRAPHIE

- AFES, BAIZE (D.), GIRARD (M.-C.), coordinateurs. — Le Référentiel pédologique - Principaux sols d'Europe. — Deuxième édition. — Paris : AFES ; INRA, 1995. — 222 p.
- ANDREUX (F.), FAIVRE (P.), BONNE (M.). — Nature et dynamique des matières organiques impliquées dans les processus de podzolisation. *In* : Podzols et podzolisation / D. Righi et A. Chauvet, Éditeurs. — Paris : AFES ; INRA, 1987. — pp. 119-130.
- AUGUSTO (L.), BADEAU (V.), ARROUAYS (D.), TRICHET (P.), FLOT (J.-L.), JOLIVET (C.), MERZEAU (D.). — Caractérisation physico-chimique des sols à l'échelle d'une région naturelle à partir de compilations de la littérature grise – Exemple des sols du massif forestier landais. — *Étude et Gestion des Sols*, 13, 2006, pp. 7-22.
- AUROUZE (J.). — Carte piézométrique des Landes au 1/100 000<sup>e</sup>. — Centre d'Hydrogéologie - Université de Bordeaux I, 1974.
- BARRY (J.-P.), BERNAUX (P.), BOUCHET (C.), KUHNHOLTZ-LORDAT (G.), RENAUD (P.). — Évolution de la végétation des Landes gasconnes d'après les amplitudes biologiques de quelques espèces à pouvoir dynamique élevé. — *Annales agronomiques*, 5, 1952, pp. 713-754.
- BERGERET (H.). — Évolution floristique et productivité de Landes à Molinie (*Molinia caerulea* M.) en forêt landaise. — Université de Bordeaux III, 1980. — 154 p. (Thèse).
- BILLAC (J.-M.). — Gestion durable de la forêt de Pin maritime. Risques forestiers : les feux de forêt. *In* : Conférence "De la forêt cultivée à l'industrie de demain. De la gestion au développement durable", Bordeaux, 20-21 novembre 1997. — pp. 195-206.
- BLAYAC (J.). — Contribution à l'étude du sol des Landes de Gascogne. — *Annales de Géographie*, XXV, 1916, pp. 23-47.
- BOYE (M.). — Clots, lagües et lagunes de la Lande girondine. — *Comptes rendus de l'Académie des Sciences, Paris*, n° 244, 1957, pp. 1058-1060.
- BUURMAN (P.), JONGMANS (A.G.). — Podzolisation and soil organic matter dynamics. — *Geoderma*, 125, 2005, pp. 71-83.
- CASENAVE (A.). — Contribution à l'étude de l'aliou. — Université de Bordeaux, 1970. — 196 p. (Thèse).
- CHOISNEL (E.), PAYEN (D.), LAMARQUE (P.). — Climatologie de la zone du projet HAPEX-MOBILHY. Direction de la Météorologie nationale. — INRA ; CNRS, 1987.
- CHOSSAT (J.-C.). — Assainissement, drainage et irrigation en maïsiculture dans les landes de Gascogne. — *Bulletin Institut de Géologie du Bassin d'Aquitaine*, n° 51-52, 1992, pp. 57-68.
- COMPS (B.), GELPE (J.), SAINT-DIDIER (J.). — Nouvelle typologie des Landes de la Gascogne : modèle d'étude sur la commune de Pissos (Landes). — *Bulletin d'Écologie*, n° 10, 1979, pp. 43-54.
- COTTINET (D.). — Contribution à l'étude des fluctuations de la nappe du massif forestier landais. — Université Bordeaux I, 1974. — 93 p. (Thèse).
- COURCOUX (P.). — Approche du cycle biologique d'un écosystème à Pin maritime (*Pinus pinaster* Ait.) en lande humide. — Université Bordeaux III, 1982. — 41 p. (Rapport DEA).
- DEMOUNEM (R.). — Essai de définition et de caractérisation de niveaux écophysologiques dans le massif forestier des Landes de Gascogne. — Université Grenoble I, 1979 (Thèse).
- DIOT (M.F.). — Le Pléistocène de la façade atlantique du Nord-Médoc (France) : Synthèse sur la palynologie des "Argiles du Gulp" s.l. et comparaison avec les données de l'Aquitaine. — *Quaternaire*, 10, 1999, pp. 213-225.
- DOBREMEZ (J.-F.), CAMARET (S.), BOURJOT (L.), ERWIN (U.), BRÊTHES (A.), COQUILLARD (P.), DUMÉ (G.), DUPOUEY (J.-L.), FORGEARD (F.), GAUBERVILLE (C.), GUEUGNOT (J.), PICARD (J.-F.), SAVOIE (J.-M.), SCHMITT (A.), TIMBAL (J.), TOUFFET (J.), TREMOLIÈRES (M.). — Inventaire et interprétation de la composition floristique de 101 peuplements du réseau RENECOFOR (Campagne 1994/95). — Paris : Office national des Forêts-DRD, 1997. — 513 p.
- DUBALEN (P.-E.). — Aperçu géologique sur la région du Sable des Landes. — *Bulletin de la Société Borda, Dax*, 1911, pp. 141-157.
- DUCHAUFOR (P.). — L'Évolution pédologique des sols landais. — *Cahier d'Ingénierie Agronomique*, 4, 1949, pp. 41-43.
- DUCHAUFOR (P.). — Pédologie. Tome 1, Pédogenèse et classification. — Paris : Masson, 1983. — 491 p.
- DUCOMET (V.). — Un coin des Landes, étude de géographie botanique. — *Académie de Géographie botanique*, 1904, pp. 369-383.

- ENJALBERT (H.). — Observations morphologiques sur les Landes de Gascogne. — *Revue géographique des Pyrénées et du Sud-Ouest*, Toulouse, 21, 1960, pp. 5-42.
- FABRE (L.). — Le Sol de la Gascogne. — *La Géographie*, 1905, 11.
- FILIPUZZI (G.). — Étude géomorphologique de la plaine landaise entre le Barp et Labouheyre. — Travail d'Étude et de Recherche. — Université Bordeaux III, 1974.
- FUSTEC-MATHON (E.), RIGHI (D.), JAMBU (P.). — Influence des bitumes extraits de podzols humiques hydromorphes des Landes du Médoc sur la microflore tellurique. — *Revue d'Écologie et de Biologie du Sol*, 12, 1975, pp. 393-404.
- GEREA. — Intérêt écologique et fragilité des zones humides des Landes de Gascogne. — Ministère de l'Environnement (ACE), Ministère de l'Agriculture (ENGREF), Conseil régional d'Aquitaine, 1985.
- HAYS (D.). — La haute Lande : vie rurale et aménagement. — Université Bordeaux III, 1981 (Thèse).
- JABIOL (B.), BRÊTHES (A.), PONGE (J.-F.), TOUTAIN (F.), BRUN (J.-J.). — L'Humus sous toutes ses formes. — Nancy : ENGREF, 1995. — 64 p.
- JAMBU (P.), RIGHI (D.). — Contribution à l'étude de l'humus des podzols et des sols hydromorphes des Landes du Médoc. — *Science du Sol*, 3, 1973, pp. 207-219.
- JOLIVET (C.). — Le Carbone organique des sols des Landes de Gascogne. Variabilité spatiale et effets des pratiques sylvicoles et agricoles. — Université Bourgogne, 2000.
- JUSTE (C.). — Caractéristiques et évolution de la matière organique en sols sableux. In : Conférence "Étude et mise en valeur des sols sableux de Pologne et de France". Orléans, Bordeaux, octobre 1989. — pp. 135-142.
- JUSTE (C.). — Contribution à l'étude de la dynamique de l'aluminium dans les sols acides du Sud-Ouest atlantique : application à leur mise en valeur. — Université Nancy I, 1965. — 143 p. (Thèse).
- KARNAY (G.), DUBREUILH (J.). — Notice explicative, Carte géologique France (1/50 000), feuille Soustons (949). — Orléans : BRGM, 1991.
- LEFEVRE (T.). — Variabilité spatiale de la qualité de l'eau de la nappe : comparaison bassin versant sylvicole et mixte dans les Landes de Gascogne. — Université Bordeaux I, 1999. — 53 p. (Rapport DESS).
- LEGIGAN (P.). — L'Élaboration de la formation du sable des Landes, dépôt résiduel de l'environnement sédimentaire pliocène-pléistocène centre aquitain. — Université Bordeaux I, 1979. — 429 p. (Thèse).
- LOUSTAU (D.), BERT (D.), TRICHET (P.). — Fonctionnement primaire et productivité de la forêt landaise : implications pour une gestion durable. — *Revue forestière française*, vol. LI, n° 5, 1999, pp. 571-591.
- LUNDSTRÖM (U.S.), VAN BREEMEN (N.), JONGMANS (A.G.). — Evidence for microbial decomposition of organic acids during podzolisation. — *European Journal of Soil Science*, 46, 1995, pp. 489-496.
- MAITAT (O.), BOUDOT (J.P.), MERLET (D.), ROUILLER (J.). — Aluminium chemistry in two contrasted acid forest soils and headwater streams impacted by acid deposition, Vosges mountains, N.E. France. — *Water Air and Soil Pollution*, 117, 2000, pp. 217-243.
- MAUGÉ (J.-P.). — Gestion des peuplements de la forêt landaise. — *Comptes rendus de l'Académie d'Agriculture de France*, 75, 1989, pp. 63-68.
- MERZEAU (D.). — Approche du cycle de l'eau et des éléments minéraux d'un écosystème landais. — Université Bordeaux III, 1983. — 4 p. (Rapport DEA).
- PAQUEREAU (M.-M.). — Flores et climats post-glaciaires en Gironde. — Actes de la Société linnéenne de Bordeaux, 101, 1964.
- POSER (I.). — Essai d'évaluation de la biomasse de la lande sèche à *Calluna vulgaris* (L.) Hull et *Erica cinerea* L. — Université Bordeaux III, 1983. — 93 p. (Rapport DEA).
- QUENEA (K.). — Étude structurale et dynamique des fractions lipidiques et organiques réfractaires de sols d'une chronoséquence forêt/maïs (Cestas, Sud-Ouest de la France). — Université Paris VI, 2004. — 203 p. (Thèse).
- RIGHI (D.). — Genèse et évolution des podzols et des sols hydromorphes des Landes du Médoc. — Université Poitiers, 1977. — 144 p. (Thèse).
- RIGHI (D.). — Microstructures des horizons B des sols podzolisés : influence de la texture et de la minéralogie de la roche mère. In : Podzols et podzolisation / D. Righi et L. Chauvel, Éditeurs. — Paris : AFES, INRA, 1987. — pp. 107-116.
- RIGHI (D.), CONINCK (F. de). — Mineralogic evolution in hydromorphic sandy soils and podzols in Landes du Médoc, France. — *Geoderma*, 19, 1977, pp. 339-359.
- RIGHI (D.), WILBERT (J.). — Les sols sableux podzolisés des Landes de Gascogne (France) : répartition et caractères principaux. — *Science du Sol*, 4, 1984, pp. 253-264.

- RIMMELIN (P.). — Étude des apports allochtones d'azote inorganique dissous parvenant à un système lagunaire : le bassin d'Arcachon. — Université Bordeaux I, 1998. — 182 p. (Thèse).
- SARGOS (J.). — Histoire de la forêt landaise. — Bordeaux : L'horizon chimérique, 1997. — 559 p.
- SARGOS (R.). — Contribution à l'histoire du boisement des Landes de Gascogne. — Delmas, 1949.
- TASTET (J.-P.). — Le Pléistocène de la façade atlantique du Nord-Médoc (France) : état des connaissances sur la lithologie et la chronostratigraphie des "Argiles du Gurg" s.l. . — *Quaternaire*, 10, 1999, pp. 199-212.
- THORE (J.). — Coup d'œil rapide sur les landes du département de ce nom. — Extrait des 4<sup>e</sup> et 5<sup>e</sup> cahiers du *Bulletin polymathique du Muséum d'instruction publique*, Bordeaux, 1812, 15 p.
- TRICHET (P.), RANGER (J.), BERT (D.), LOUSTAU (D.). — Fonctionnement minéral d'un peuplement de Pin maritime dans les Landes de Gascogne. — Colloque ARBORA, Bordeaux, 20-21/11/1997. — 1997. — pp. 99-114.
- WERNO (J.). — La Lande mésophile à Fougère aigle (*Pteridium aquilinum* L.). — Université Bordeaux III, 1984. — 147 p. (Thèse).
- WILBERT (J.). — Les Sols sableux de la forêt des Landes. — Compte rendu du colloque sur les problèmes de la forêt landaise, Bordeaux, juin 1977, INRA.
- WITTE (I.). — Importance des facteurs environnementaux, compétition pour les ressources et allélopathie dans la forêt des Landes de Gascogne. — Université Bordeaux I, 2006. — 29 p. (Rapport Master-2).

---

**LES SOLS DU MASSIF FORESTIER DES LANDES DE GASCOGNE : FORMATION, HISTOIRE, PROPRIÉTÉS ET VARIABILITÉ SPATIALE [Résumé]**

Le massif forestier landais présente une apparente uniformité tant du point de vue sylvicole, dominé par la pinède équiennne et monospécifique, que du sol, développé sur un dépôt éolien sableux assez homogène et sans relief apparent. Une étude de la répartition des sols à différentes échelles montre que cette entité présente une organisation complexe sous les effets conjugués de la nappe phréatique, du microrelief et des associations végétales qui y sont inféodées. La variabilité des sols landais est visible sur toute une gamme d'échelles et doit donc être prise en compte lors de l'étude ou de l'aménagement de ces terrains.

**FOREST SOILS IN THE GASCONY LANDES REGION: FORMATION, HISTORY, PROPERTIES AND SPATIAL VARIABILITY [Abstract]**

The 'Landes' forest gives an impression of great homogeneity as it is mainly composed of even-aged, single species pine stands. This apparent uniformity is also visible from the geological point of view as the parent material is a flat, sandy and fairly homogeneous eolian deposit. In actual fact, upon closer scrutiny of the distribution of soils on various scales, their organisation turns out to be more complex under the combined effects of the water table, soil microrelief and the plant associations that are specific to them. This soil variability holds true across a range of scales and should be taken into account when studying or managing these soils.

---