



HAL
open science

Un siècle d'enseignement et de recherche en pédologie forestière.

Maurice Bonneau

► **To cite this version:**

Maurice Bonneau. Un siècle d'enseignement et de recherche en pédologie forestière.. Revue forestière française, 2001, 53 (5), pp.585-603. 10.4267/2042/5275 . hal-03442814

HAL Id: hal-03442814

<https://hal.science/hal-03442814>

Submitted on 23 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.

UN SIÈCLE D'ENSEIGNEMENT ET DE RECHERCHE EN PÉDOLOGIE FORESTIÈRE

MAURICE BONNEAU

Avant-propos

Depuis plusieurs années, j'avais l'intention de proposer à la *Revue forestière française* une analyse assez détaillée de l'ouvrage de E. Henry "*Les sols forestiers*" paru en 1908, convaincu qu'il existait déjà à l'époque de solides connaissances, mais aussi certaines lacunes, qu'il serait intéressant d'évoquer. Ce projet fut retardé d'année en année par d'autres tâches plus urgentes. Le récent décès de Philippe Duchaufour oblige à le reconsidérer et à écrire de préférence un article sur les enseignants et chercheurs qui se sont succédé au cours du XX^e siècle, en essayant de faire ressortir l'évolution de la pédologie forestière pendant cette période, et en insistant sur Henry, Oudin et Duchaufour, aujourd'hui disparus, mais dont l'œuvre, énorme, subsiste.

*
**

La Pédologie ne commença à se développer qu'à la fin du XIX^e siècle. Le mot "Pédologie" employé dans le titre doit être compris dans son sens le plus général de "Science du sol". Sous cet aspect, elle comprend deux branches assez différentes : la première est la pédologie proprement dite, c'est-à-dire l'étude de la genèse des sols, de leur caractérisation morphologique, chimique et biologique, et de leur classification. Cette branche trouve sa source dans les travaux des agronomes russes de la fin de ce siècle qui ont observé une zonation des sols, c'est-à-dire une diversité des profils, sur des matériaux identiques, en fonction de la latitude, et donc du climat et de la végétation. La seconde branche résulte plutôt de l'application de la physique et de la chimie à l'agronomie, à la même époque, grâce aux travaux de nombreux savants allemands, britanniques ou français, tels que Liebig, Lawes, Gilbert et Boussingault.

La pédologie forestière a, selon les époques, suivi l'une ou l'autre de ces tendances. L'objet de cet article est de passer en revue cette évolution, de la fin du XIX^e siècle à aujourd'hui. Mais nous n'en retracerons évidemment que les grandes lignes, et seulement pour la France, ne retenant que les noms et les travaux les plus typiques.

LES PREMIERS TRAVAUX DE PHYSICO-CHIMIE DES SOLS FORESTIERS : HENRY (1850-1932)

Lorsqu'il fait publier chez Berger-Levrault, en 1908, son livre "*Les sols forestiers*", Auguste Edmond Henry est enseignant de Sciences naturelles à l'École nationale des Eaux et Forêts depuis 1873. C'est le troisième ouvrage de sa carrière, après "*Atlas d'Entomologie forestière*" (1^{re} édition en 1892, qui n'est qu'une réédition de l'ouvrage de Mathieu de 1891, 2^e édition en 1903) et "*Préservation des Bois contre la pourriture par le sol, recherches sur la valeur comparative de divers antiseptiques*" en 1907, tous les deux édités par Berger-Levrault. Il prendra sa

retraite peu après la parution de son livre sur les sols, en 1913, à 63 ans, après 40 ans d'enseignement. Il continua toutefois à enseigner la pédologie à l'École forestière jusqu'en 1920, et peut-être même au-delà.

L'enseignement concernant les sols était, avant 1894, partagé entre la sylviculture et les sciences naturelles (Guyot, 1898). À partir de cette date, Henry, succédant à Grandeau, professe l'intégralité de la pédologie, en plus de la minéralogie, de la géologie et de la zoologie. Grandeau, créateur de la Station agronomique de l'Est, était lui-même un très bon spécialiste de science du sol et avait publié, dès 1879, le premier tome de "*Chimie et Physiologie appliquées à l'Agriculture et à la Sylviculture*". Le second tome ne sera jamais publié (Boulaine, 1989).

Que contenait le livre de Henry ? C'était un livre de physique et chimie du sol uniquement, car la pédologie n'était alors en France qu'à l'état embryonnaire. Son analyse peut se référer à trois thèmes : l'humus, la physique du sol, la chimie du sol associée au cycle des éléments nutritifs. À ces trois thèmes principaux, Henry avait ajouté une revue des régions forestières françaises et un chapitre sur l'amélioration des sols forestiers.

L'humus

La "couverture morte" comme on appelle alors l'ensemble des couches de litière plus ou moins transformées, et sa décomposition, sont déjà relativement bien connues, qualitativement et quantitativement. On distingue trois mécanismes de transformation de la litière : la lixiviation (entraînement par l'eau) des sels solubles, la décomposition par les bactéries et les champignons, l'enfouissement par les animaux, surtout les lombrics. C'est leur attractivité pour les lombrics qui explique les différences de vitesse de décomposition *in situ* des litières des différentes essences.

Henry distingue trois grands types d'humus :

- **l'humus neutre** (ou terreau neutre), non acide, formé par le processus d'*érémacausis*, oxydation lente. C'est la forme idéale, dont le forestier doit rechercher la formation par une sylviculture appropriée. Elle exige une bonne aération du sol ;
- **l'humus tourbeux**, formé en présence d'eau (le terme d'anaérobiose n'est pas utilisé) ;
- **l'humus brut** (ou imparfait), intermédiaire entre les deux précédents. Henry distingue l'humus brut de bruyère (callune) de l'humus brut de forêt qui caractérise les forêts sur sol sableux et sec avec végétation de résineux, d'airelles et de bruyères. Curieusement, il classe aussi dans les humus bruts celui des tchernozyms et des prairies.

Une affirmation, réitérée, étonne : l'absence complète de nitrification dans les sols de forêt. La technique employée (colorimétrie à la diphénylamine sulfurique) ne semble pas en cause et il est bien invraisemblable que les opérateurs n'aient pas pris soin de laisser quelques jours entre des épisodes pluvieux susceptibles de lessiver les nitrates et la collecte des échantillons. Des agronomes aussi prestigieux que Boussingault et Schløesing en France, Ebermayer en Allemagne affirment aussi ne pas trouver trace de nitrates sous forêt. Ce sont des recherches récentes qui nous éclairent : Jussy *et al.* (2001), travaillant sur plusieurs sites des Vosges dont le passé est connu avec certitude, ont montré que la nitrification n'existait que dans les parcelles succédant à d'anciennes cultures ou à des prairies, mais non dans la "vieille forêt". Ces anciennes terres agricoles ont été reboisées pour l'essentiel dans la seconde moitié du XIX^e siècle. Au moment où travaillaient Henry et Grandeau, ces reboisements devaient être très fermés et peu tentants pour les pédologues ; ils prélevaient vraisemblablement leurs échantillons de préférence dans les "forêts immémoriales" où, aujourd'hui encore, la nitrification est très faible.

Henry a chiffré la quantité de litière apportée au sol chaque année, les masses cumulées à la surface du sol et les quantités de potassium, calcium, magnésium et phosphore correspondantes.

Les propriétés physiques du sol

L'importance de la couverture morte pour la protection du sol contre le tassement par les pluies et l'érosion, de même que le rôle des animaux fouisseurs, notamment les lombrics, sont fortement soulignés. La lame d'eau de pluie retenue par les couches de matière organique accumulées à la surface du sol a pu être chiffrée entre 10 et 12 mm. Mais, par suite d'une erreur d'impression, ce sont 100 et 120 mm qui sont mentionnés dans l'ouvrage. Un erratum a été imprimé à la dernière page, un papillon étant collé en première page pour attirer l'attention, mais tous les lecteurs y ont-ils pris garde, le papillon ne s'est-il pas décollé, et n'est-ce pas là que prend source la surévaluation fréquente du pouvoir des forêts à retarder l'écoulement des fortes pluies ?

Les forêts consomment plus d'eau que les cultures : l'évaporation annuelle d'une hêtraie de 115 ans par exemple est chiffrée entre 360 et 530 mm, et le niveau des nappes permanentes est toujours plus bas sous forêt que sous terre agricole. Henry fait bien la distinction entre nappe circulante et nappe stagnante, mais sans faire clairement la différence entre nappe phréatique et nappe perchée. Il semble que Duchaufour (1949) ait été le premier à distinguer clairement l'une de l'autre.

Inversement, les forêts ont un effet positif sur la pluviosité : les bassins forestiers ont un débit plus abondant et plus régulier que les bassins agricoles.

Chimie des sols et cycle des éléments nutritifs

La chaire de Sciences naturelles est dotée d'un laboratoire qui semble avoir été créé dès l'ouverture de l'École, mais supprimé en 1842, puis rétabli en 1878, donc du temps de Henry. Les analyses de sols et de végétaux sont donc déjà courantes à l'époque. L'appréciation de la fertilité chimique des sols se base sur des extractions à chaud par des acides forts (HCl, HNO₃) et on interprète les résultats d'après les normes suivantes empruntées à l'agriculture.

TABLEAU I Normes d'interprétation de la teneur en cations échangeables et en acide phosphorique biodisponible, en p. mille du poids de terre fine

	Pauvre	Moyen	Riche	Très riche
P ₂ O ₅	0,1 à 0,5	0,5 à 1	1 à 2	>2
K ₂ O	<1	1 à 1,5	>1,5	

La notion d'élément échangeable existe, mais on ne sait pas bien à quel agent d'extraction avoir recours. On définit P₂O₅ assimilable comme la somme de P₂O₅ soluble à l'eau et de P₂O₅ contenu dans les substances humiques précipitées après extraction alcaline et traitement acide. C'est la preuve que le fractionnement de la matière organique commençait déjà à se pratiquer.

La distinction existe entre essences calcifuges et essences calcicoles, et Henry explique que des essences calcifuges peuvent prospérer sur des substrats calcaires si les sols qui s'y développent ne contiennent que des cailloux calcaires grossiers et s'il n'y a pas de "calcaire actif" dans la terre fine, l'extraction à l'oxalate d'ammonium ou la mesure au calcimètre après attaque acide étant réputées équivalentes pour la détermination de ce dernier. Cette notion est donc moins claire que de nos jours. Nous distinguons nettement aujourd'hui le calcaire actif (extrait à l'oxalate) et le calcaire total de la terre fine (mesuré au calcimètre), mais sans toutefois faire un usage rationnel de cette distinction. Henry indique que le Châtaignier ne tolère que moins de

5 % de "calcaire actif", tandis que le Pin maritime peut supporter cette dose, quoique légèrement chlorotique, et ne dépérit qu'à des doses plus fortes.

Dans le chapitre consacré à l'azote, l'auteur estime que les sols forestiers s'enrichissent progressivement en azote, de 5 à 8 kg/ha/an, et essaye d'établir des bilans : les pertes sont essentiellement l'immobilisation dans le bois et le retour à l'atmosphère par dénitrification, et les ressources les apports atmosphériques et la fixation microbienne non symbiotique par les micro-organismes des litières (Henry, 1903). À noter que les pertes par lessivage de nitrates sont tenues pour négligeables, ce qui semble inexact au vu des résultats actuels.

L'appauvrissement des sols forestiers par la production de bois est déjà bien documenté, à partir de recherches effectuées en forêt de Haye et grâce à la connaissance des travaux allemands, car Henry se tient très au courant de ce qui se fait outre-Rhin, notamment à Eberswalde. L'accroissement annuel des quantités d'éléments immobilisées dans le bois (immobilisation nette annuelle) est chiffré à des valeurs voisines de celles que nous adoptons aujourd'hui après des travaux plus récents (tableau II).

TABLEAU II Immobilisations nettes annuelles, en kg/ha, dans le bois de divers peuplements

	N	K ₂ O	CaO	MgO	P ₂ O ₅
Pin sylvestre en sol fertile	8,6	2,5	8,5	1,6	1,10
Pin sylvestre en sol pauvre	5,2	1,6	4,3	0,9	0,80
Épicéa en sol fertile	15,6	6,0	17,6	2,9	2,40
Épicéa en sol pauvre	11,9	4,8	12,1	2,4	2,95
Hêtre en sol fertile	11,7	10,4	21,4	3,5	4,10

Henry attire l'attention sur le fait qu'on appauvrit d'autant plus le sol que l'on exporte des bois plus jeunes et des compartiments de plus faible diamètre, ce qui a été maintes fois vérifié depuis. Les éléments perdus par le ramassage de la litière annuelle sont également chiffrés : par exemple, pour le Pin sylvestre, 25 kg/ha de N, 4,8 kg/ha de K₂O, 19 kg de CaO, 4,8 kg de MgO, et 3,7 kg de P₂O₅.

L'existence des mycorhizes est connue (Henry, 1894) mais l'avantage qu'en tire le peuplement est relié davantage à l'approvisionnement en eau qu'au prélèvement des éléments minéraux.

• Études régionales

L'ouvrage comporte une revue des types de forêt, par région géologique. Se basant sur la nature des roches-mères et sur le potentiel agricole, Henry préconise à juste titre de reboiser activement le Massif central, ce qui sera fait effectivement dans le deuxième tiers du XX^e siècle. Il pense aussi que l'avenir de la Champagne réside dans la création de forêts, ce en quoi, cette fois, il se trompe, ne prévoyant pas que les exploitations agricoles champenoises seront, dès les années 1950, parmi les plus prospères de France. Il recommande aussi de reconstituer le manteau forestier des Pyrénées et des Alpes du Sud pour lutter contre l'érosion, travaux qui, du reste, sont bien entamés lorsqu'il publie son livre. Enfin, il constate les effets très bénéfiques de la création du massif de Pin maritime d'Aquitaine.

Un tableau donne les analyses de 92 échantillons de sols correspondant à différentes régions et roches-mères : teneur en cailloux et en graviers, matière organique, Al₂O₃, Fe₂O₃, CaO, MgO, K₂O, P₂O₅, ces six derniers composés probablement extraits par des acides forts, mais la méthode n'est pas précisée.

- *Amélioration des sols forestiers*

Le drainage est considéré comme bénéfique pour les tourbières à condition qu'il reste modéré, mais n'est que rarement indiqué pour les autres sols. À l'inverse, Henry conseille de dériver les ruisseaux vosgiens pour irriguer les forêts (essais effectués par Chevandier dans la région de Cirey-sur-Vezouze).

Il faut autant que possible prévenir la formation des humus bruts en évitant les coupes trop claires sur les sols sensibles, en maintenant des peuplements plus denses aux lisières pour diminuer l'action desséchante du vent, en donnant la préférence à des peuplements d'essences mélangées, en maintenant un sous-bois dense et en allongeant les révolutions.

En matière de fertilisation, Henry cite les pratiques belges : apport de scories et de kaïnite (sulfate de magnésium), cultures de seigle ou d'avoine avant plantation, il préconise l'emploi des engrais verts et des engrais chimiques en pépinière, rapporte les essais de Chevandier sur les grès vosgiens qui montrent l'effet positif du chlorure et du sulfate d'ammonium, du plâtre, des os calcinés.

Lui-même effectue des essais en forêt de Chinon, sur des semis ou jeunes plantations de Chêne (mais la fertilisation entraîne un développement nuisible des genêts). Sur perchis de Chêne de 40 ans (parcelle 13, 3^e série), l'accroissement relatif de surface terrière sur 7 ans passe de 18 % pour le témoin à 24 % pour les peuplements qui ont reçu 6 000 kg/ha de scories, dose que Henry lui-même reconnaît comme "massive" mais il explique qu'il a voulu ainsi compenser la faible migration du phosphore en profondeur. Par contre, il n'y a pas d'effet sur des perchis de Pin sylvestre (parcelle 24, 3^e série).

- *Conclusion*

Il n'y a donc à cette époque, en ce qui concerne les sols forestiers, comme d'ailleurs pour les sols agricoles, qu'une physico-chimie des sols, correctement connue et enseignée d'ailleurs (le cours photocopié de Henry de 1894 est très conforme à l'ouvrage de 1908), et on se sent admiratif devant tant de connaissances en général exactes, accumulées avec des moyens humains très limités, et tant d'idées valables. Les analyses, déjà effectuées à l'époque selon des techniques parfaitement valables, et avec soin, donnaient manifestement des résultats tout à fait corrects. Mais la pédologie, au sens d'étude et de genèse des types de sols, n'a pas encore vraiment vu le jour, encore que la formation de l'altérite dans les Landes soit à juste titre considérée comme le résultat de la précipitation de matière organique et de fer infiltrés en profondeur à partir des horizons superficiels.

C'est Auguste Oudin qui fera les premiers pas dans ce domaine à partir de 1930.

LE DÉVELOPPEMENT DE LA PÉDOLOGIE, ŒUVRE DE A. OUDIN (1886-1979)

Auguste Oudin (1886-1979), après ses études à l'École polytechnique et à l'École forestière, ainsi qu'après une courageuse Première Guerre mondiale, fut affecté à la Station de Recherches en 1924, à la 1^{re} section (Sylviculture). Ce n'est qu'en 1930, lorsque Guinier fit adopter un nouvel organigramme de cette station, que Oudin, tout en restant chef de la 1^{re} section, prit également en charge la 5^e (Pédologie), nouvellement créée, ainsi que l'enseignement de cette discipline à l'École forestière.

Dans un premier temps, il travailla selon les mêmes axes que Henry, continuant notamment les essais de fertilisation (Oudin, 1939). Il rapporte en particulier (Oudin, 1934) les résultats d'épandages d'engrais sur des semis et plantations en forêt de Rambouillet, sur un sol sableux à humus brut. L'apport de 40 g de CaO avant la plantation, dans chaque potet, puis l'épandage en surface, juste après mise en place des plants, de 5 g d'ammonitrate, permettent d'avoir à 4 ans des pins sylvestres de 1 m à 1,70 m de hauteur, contre 0,40 m à 0,80 m pour les témoins.

Dans une seconde période, approximativement à partir de 1936, il donna aux recherches et à l'enseignement une tournure nouvelle, complétant la physico-chimie des sols par la pédologie proprement dite. Pourquoi ce changement d'orientation ?

Comme il a été indiqué dans l'introduction, la pédologie avait vu le jour en Russie à la fin du XIX^e siècle. Mais la zonation des sols mise en évidence par les pédologues russes s'appliquait mal en France où, dans des régions d'étendue réduite, la diversité des conditions géologiques et celle des peuplements entraînaient une grande variété de types de sols, et donc aussi de leurs propriétés physico-chimiques, même au sein d'un même massif forestier, ce qui explique que, dans un premier temps, la pédologie *stricto sensu* ait été négligée. Cependant les caractéristiques du sol peuvent se déduire approximativement de son profil : succession des horizons, texture et profondeur du sol, roche-mère. Et surtout on peut cartographier assez aisément des types de sol après une prospection suffisamment détaillée d'un massif, tandis que l'acquisition de résultats analytiques ne pourrait être réalisée avec le même degré de détail qu'à un coût extrêmement élevé et la cartographie qui en découlerait ne pourrait être qu'une cartographie caractère par caractère, exigeant plusieurs cartes. Une carte des types de sol offre immédiatement une vision synthétique et une répartition spatiale des principales propriétés.

C'est cette voie qu'Oudin entrevit rapidement et développa. « *La pédologie est le meilleur instrument de synthèse des propriétés physiques, chimiques, biologiques (des sols). À chaque type de sol correspond, dans un climat donné, un type de végétation. Quand je dis "sol podzolique sablonneux", "sol brun forestier argileux", ces quelques mots donnent immédiatement une image nette de l'ensemble du sol et de ses propriétés* » (Oudin, 1938). En 1952, il précise sa pensée et l'étend à la classification. « *La conception moderne de l'évolution (des sols) ajoute (à la texture et à la profondeur) un complément d'information extrêmement utile. Elle permet une description plus précise et apporte un principe rationnel de comparaison et de classification. La désignation correcte du sol devra donc comprendre, désormais, quatre termes : un terme d'évolution, un terme de texture, un terme de profondeur et enfin la nature de la roche-mère. La juxtaposition des quatre termes donne immédiatement... une image... plus parlante et plus précise que les simples dénominations anciennes* ». Par dénominations anciennes, il entendait probablement les noms vernaculaires (boulbènes, aubues, etc.).

Dans sa publication de 1952, Oudin classe l'ensemble des sols français en deux grands groupes où se répartissent sept types principaux :

Sols ayant subi une évolution plus ou moins importante

1- *Sols organiques* : sols d'humus brut acide (profil A/C)⁽¹⁾, dans les landes bretonnes par exemple, sols humo-cendreaux (profil A₁/A₂/C), tourbières hautes.

(1) Rappelons que les horizons A sont les horizons supérieurs du sol, dont la couleur est masquée par des quantités notables de matière organique (A₁, aujourd'hui désigné simplement par A) ou décolorés par appauvrissement en fer et argile (A₂, aujourd'hui plutôt désigné par E), tandis que les horizons B, plus profonds sont de couleur différente, brune en général et souvent des horizons d'accumulation, soit d'argile ou de fer et alors de couleur plus vive que les horizons A, ou de matière organique précipitée, et de couleur noire. C désigne le matériau parental.

2- *Podzols et sols podzoliques*, dans lesquels il distingue les podzols (type P) caractérisés par un fort entraînement de matière organique et de fer (profil $A_0/A_1/A_2/B_1/B_2/C$), correspondant à des landes, à des forêts de Bouleau, de Pin sylvestre ou de Pin maritime, et les sols podzoliques (type V_1) à évolution moins accentuée (profil $A_0/A_1/A_2/B/C$), correspondant à des forêts de Pin, de Sapin ou d'Épicéa ou à des forêts feuillues (Chêne, Châtaignier). Les formations à alios sont un cas particulier des podzols. Le pH de ces sols est de l'ordre de 4 à 4,5.

3- *Sols plus ou moins lessivés*, caractérisés par un entraînement de l'argile en profondeur et l'apparition de deux horizons, A_2 appauvri et B enrichi (profil $A_1/A_2/B/C$). Il distingue des sols fortement lessivés, de type V_2 , avec un fort entraînement d'argile et un A_2 net, des sols moyennement lessivés, de type N_1/V_2 et des sols bruns forestiers lessivés N_1 . Leur pH est généralement compris entre 5 et 5,5. Ils correspondent à des peuplements feuillus ou résineux de toutes essences, à l'exception des Érables et du Frêne pour le type V_2 .

4- *Sols bruns forestiers proprement dits*, non lessivés, dont le sol de type N_2 caractérisé par un léger enrichissement d'argile en profondeur, mais décelable uniquement à l'analyse, et le sol brun totalement uniforme (profil $A_1/B/C$). Le pH est de l'ordre de 6 et l'humus est un humus doux. La formation forestière typique est la hêtraie, si le climat le permet et si le sol n'est pas trop argileux ; dans ce dernier cas, le Chêne remplace le Hêtre.

5- *Sols calcaires* : rendzine, noire en général sous forêt, mais il y a aussi des rendzines rouges qui marquent un début d'évolution vers les sols bruns. Les peuplements correspondants sont variés : taillis-sous-futaie, hêtraies, sapinières, pessières, futaies de Pin noir d'Autriche, de Pin laricio, de Pin sylvestre.

Sols peu ou anormalement évolués

1- *Sols très peu évolués* : alluvions fluviales ou marines, tourbières basses (à Carex, Joncs, Roseaux et à pH voisin de 7), sols squelettiques.

2- *Sols anormalement évolués* : sols érodés, sols jeunes, gley.

En marge de tous ces types, Oudin laisse une place aux faciès particuliers à la région méditerranéenne : sols bruns forestiers méditerranéens, sols rouges méditerranéens, sols rouges sur *terra rossa*, sols rouges sur diluvium, sols rouges sur lœss, sols érodés méditerranéens, sols salés.

C'est sur les bases de cette première classification que Oudin réalise, en 1951, la carte des sols du quart Nord-Ouest de la France au millionième.

La foresterie est-elle à l'époque la seule activité rurale à avoir apprécié l'intérêt de la pédologie ?

Il semble que oui, encore que les agronomes de l'époque, bien que s'occupant surtout de physique et chimie du sol, n'aient évidemment pas ignoré le développement progressif de la pédologie et de la classification des sols. Notamment Albert Demolon fut avec Auguste Oudin cofondateur de l'Association française pour l'Étude du Sol. Dans la deuxième édition de "*Principes d'Agronomie – I La dynamique du sol*", il réserve du reste un chapitre, succinct certes, sur la pédogénèse, les différents systèmes de classification pédologique et les principaux types de sol. Mais il est bien certain que les agronomes, travaillant sur des sols transformés et améliorés de longue date par les agriculteurs, bien connus de ces derniers au moins à l'échelle de leur exploitation, ne peuvent y trouver le même intérêt que les forestiers, gérant de beaucoup plus vastes espaces dont le sol est resté tel que nous l'a fourni la nature.

ENCADRÉ 1

EXTRAITS DE LA NOTICE NÉCROLOGIQUE DE A. OUDIN (1886-1979)
(Revue forestière française, 1980)

« Né à Pontivy (Morbihan) le 22 août 1886, ... sorti de l'École polytechnique en 1908, il fit d'abord son service militaire dans l'infanterie à Rennes. Le temps d'entrer à l'École forestière ensuite, puis d'en sortir major de sa promotion, de faire quelques mois de service forestier, la guerre était là... ; blessé deux fois. Deux citations à l'Ordre de la Division, une à l'Ordre de l'Armée... témoignent de sa valeur militaire. ... Il fut nommé, le 4 juillet 1924, chef de la 1^{re} section de la Station de Recherches à Nancy... Il s'intéressa à la pédologie dès 1927 et l'enseigna dès 1930. Il donna un véritable essor aux places d'expérience de sylviculture, en créant plusieurs centaines entre 1928 et 1932.

Il fut nommé conservateur en 1937 et sous-directeur de l'ensemble École nationale des Eaux et Forêts - Station de Recherches en janvier 1941, directeur presque aussitôt en octobre 1941. Nommé inspecteur général en février 1943, il conserva cette haute fonction jusqu'à sa retraite le 14 août 1957.

Dans la difficile période 1940-1944, il eut... à protéger ses élèves de bien des dangers. Qu'il suffise de savoir aujourd'hui qu'un seul d'entre eux seulement (les autres étant mis à l'abri dans des chantiers forestiers des Landes de Gascogne) fut envoyé en Allemagne au STO... un seulement, que son Directeur sut faire affecter à des travaux forestiers (à l'École forestière d'Eberswalde)...

... Il sut demander et obtenir des moyens accrus pour la recherche forestière française. Nous avons encore à l'esprit les postes nouveaux de recherche créés en 1945 (une quinzaine au total).

... Lorsque la vénérable *Revue des Eaux et Forêts* — créée en 1842 — dut disparaître en 1948, il prit la charge et le risque de créer en 1948 une nouvelle revue, la *Revue forestière française* ; avec l'efficace collaboration de L. Schaeffer, le premier numéro parut en avril 1949 et la RFF n'oublie pas le but que lui avait fixé A. Oudin en tête du premier numéro : « *Notre ambition est de faire de cette revue, grâce à la multiplicité et à la diversité des concours qui nous seront spontanément offerts, l'expression vivante du travail collectif de tous ceux qui, à un titre quelconque, s'intéresseront à la forêt française* ».

... Il fut président de l'Association internationale de la Science du Sol de 1954 (congrès de Léopoldville) à 1956, présida le Congrès international de la Société tenu à Paris en 1956, et fut ensuite élu membre d'honneur de l'association en 1974.

... C'est lui qui représenta la France au premier congrès de l'IUFRO (Union internationale des Instituts de Recherche forestière) suivant la Première Guerre mondiale — Stockholm 1929 —. Il contribua alors beaucoup à renouer les liens internationaux que la guerre avait tranchés, obtint que le congrès suivant se tînt à Paris et Nancy en 1932, congrès dont il fut la cheville ouvrière et qui fut une grande réussite.

Même chose après la Deuxième Guerre mondiale : membre élu du bureau exécutif de l'IUFRO jusqu'en 1961, il sut cette fois encore contribuer puissamment à la remarquable renaissance de l'IUFRO... L'IUFRO le nomma membre d'honneur à l'occasion de son congrès d'Oslo : honneur considérable puisque cette puissante union internationale, qui regroupe plus de 7 000 membres, ne comptait alors que trois membres d'honneur...

... homme efficace et compétent dans tant de domaines variés... mais aussi homme modeste, sensible et humain... ».

J. PARDÉ

Conclusions

Les travaux de Oudin marquent donc un tournant très net des connaissances et de l'utilisation de la pédologie en milieu forestier. La classification est encore imparfaite, mais les grands types de sols forestiers sont bien caractérisés. La liaison entre types de forêt et types de sols est esquissée. Cependant, les sols marqués par la présence d'une nappe d'eau sont tous rangés dans les gleys et, comme du temps de Henry, la différence n'est pas faite entre nappe permanente et nappe temporaire. Oudin note toutefois que l'horizon de gley est fréquent dans les types N_1/V_2 , V_2 , V_1 et P. Sa position est donc celle qui prévaut encore aujourd'hui dans la classification américaine et dans le référentiel WRB FAO-UNESCO (World Reference Base for soil resources). Dans ce référentiel, seuls les sols à nappe permanente forment un groupe particulier. Oudin affirme clairement l'intérêt de la classification des sols sur la base de leur degré d'évolution pédogénétique, sans toutefois que soit oubliée l'importance de leurs propriétés physico-chimiques. Lorsque Auguste Oudin abandonne ses activités pédologiques, vers 1952 (sauf au plan international), le décor est donc planté pour l'entrée en scène de Duchaufour, déjà nommé depuis 1948 chef de la 5^e section. Il donnera un développement remarquable aux idées de Oudin, les précisant et les approfondissant.

ENTRÉE DE LA PÉDOLOGIE DANS LES PRÉOCCUPATIONS DES FORESTIERS DE TERRAIN, MISE EN ÉVIDENCE DES FACTEURS DE LA PÉDOGÉNÈSE ET VULGARISATION DE LA PÉDOLOGIE : L'ŒUVRE DE DUCHAUFOUR (1912-2000)

Nommé en 1939, 4 ans après sa sortie de l'École, adjoint à la 2^e section de la Station de Recherches (Botanique), Philippe Duchaufour exerça d'abord, après l'armistice de 1940, aux Barres, près de Montargis, comme enseignant d'Écologie (Nancy était en zone interdite et l'École forestière s'était déplacée à Paris). Dès cette époque, il commença des travaux qui allaient le conduire en 1947, après son retour à Nancy en 1945, à la soutenance d'une très brillante thèse, "*Recherches écologiques sur la chênaie atlantique française*". La pédologie y avait une grande part et il quitta du reste la 2^e section pour devenir chef de la 5^e dès 1948.

Il faut distinguer trois périodes dans la carrière de Duchaufour : de 1939 à 1962, période pendant laquelle il appartient à l'École forestière et à la Station de recherches, 1962-1975 période où il fut professeur d'Université. En effet, sa thèse, préparée sous la direction du Professeur Emberger à Montpellier, avait attiré sur lui l'attention des universitaires. L'université de Montpellier lui lança, à plusieurs reprises, de pressants appels, mais c'est finalement à celle de Nancy qu'il donna la préférence. Il devint donc, à l'automne 1961, professeur d'Université et créa en même temps le Centre de Pédologie biologique du CNRS, dont il fut évidemment directeur et qui, au début, fonctionna dans des locaux mis à sa disposition par l'École nationale de Géologie. Enfin, de 1975 à sa mort en 2000, un quart de siècle pendant lequel il fut un très actif retraité.

La période forestière

Pendant la première phase de sa carrière, il reprit les travaux de Oudin et les développa. Dans sa thèse, il mettait en évidence, à partir de l'étude de la végétation et des sols de diverses forêts du secteur ligérien, du Massif armoricain et des Landes de Gascogne, les relations d'interdépendance existant entre roche-mère, végétation, peuplement forestier, type d'humus et sol, chacun de ces facteurs réagissant sur les autres pour provoquer une évolution soit dans un sens régressif, des sols bruns aux podzols, soit, à certaines conditions, progressif, du sol podzolique au sol brun lessivé. Le parallélisme entre l'évolution de la végétation et celle des sols était

vigoureusement souligné. Ces premières recherches allaient servir de base à son action future. Par un apostolat incessant et efficace, sous forme d'articles dans la *Revue forestière française* et dans les *Annales de l'École*, par des tournées de terrain où l'appelaient beaucoup de ses camarades ingénieurs désireux de bénéficier, dans l'élaboration de leurs aménagements, de ses connaissances et de son sens de l'écologie, il fit entrer la pédologie dans la gestion forestière courante comme un outil indispensable aux reboisements et aux aménagements. On peut décrire l'action de Duchaufour, pendant cette première période, selon trois axes.

- *L'enseignement*

C'est d'abord la géologie qu'il enseigna, géologie régionale destinée à décrire aux élèves-ingénieurs les grandes structures régionales dans le cadre desquelles se situerait leur action. Son cours polycopié, illustré de schémas lumineux et talentueux, permettait à un gestionnaire, en deux ou trois heures de lecture attentive, de comprendre parfaitement l'organisation de son territoire en régions géologiques caractérisées par leurs affleurements et leur tectonique. C'est dans cette intention qu'il fut distribué aux élèves de l'École jusqu'après 1990, et mériterait de l'être encore aujourd'hui.

Dès 1953 probablement, lorsqu'Oudin changea d'activité, il ajouta à la géologie l'enseignement de la pédologie, qu'il dispensa également à l'École nationale supérieure d'Agronomie de Nancy et à l'École de Géologie. Il réalisa d'abord un cours polycopié, puis fit éditer par l'École, en 1956, un "*Traité de Pédologie*", complété en 1957 par "*Tableaux descriptifs et analytiques des sols*", destiné à illustrer l'ouvrage principal. On sent bien, par l'association de ces deux titres, association qu'il renouvellera avec "*Traité de Pédologie*" et "*Atlas des sols du monde*", le souci du concret et de l'application.

- *L'incitation à l'emploi de la pédologie dans la gestion forestière*

Poursuivant les premières entreprises de Henry et de Oudin, il fit connaître dans le Corps forestier les avantages qu'on pouvait attendre de la fertilisation des plantations (Duchaufour, 1958). Il considérait que l'expérimentation sur ce sujet devait être effectuée par les ingénieurs de terrain eux-mêmes et encourageait de telles tentatives en relatant de manière détaillée dans la *Revue forestière française* les résultats obtenus en Allemagne. Il ne fut guère écouté. Il aurait d'ailleurs fallu encadrer de telles entreprises en imposant des dispositifs rationnels et communs à tous. On peut cependant penser que les nombreux essais effectués par J.-C. Charlon, ingénieur aux Scories Thomas et ancien élève de l'École forestière, dans l'Ouest de la France, puis le célèbre essai de Mimizan sur le Pin maritime des Landes, découlent directement de ces comptes-rendus.

Parallèlement, il développa l'analyse foliaire comme outil de diagnostic de l'alimentation minérale et comme démarche préliminaire à la fertilisation. Il mit également au point une nouvelle méthode de détermination du phosphore assimilable (double extraction acide et basique) plus efficace et rendant mieux compte de la fertilité réelle du sol que la méthode Truog (extraction à l'acide sulfurique dilué) employée jusque-là. Il a d'ailleurs été récemment démontré, par comparaison de la méthode Dyer (extraction à l'acide citrique) avec la méthode Duchaufour, que c'est cette dernière qui est le mieux corrélée avec la concentration du phosphore dans les feuilles des arbres forestiers.

Mais c'est surtout la cartographie des stations qu'il essaya de faire adopter en préliminaire aux aménagements. Pour cela, comme en matière de fertilisation, il rendit compte dans la *Revue forestière française* des réalisations allemandes, belges et néerlandaises, particulièrement actives à cette époque. Il réalisa également, en collaboration avec des forestiers de terrain et ses collègues de botanique et de sylviculture à la Station de Recherches, des études-types dans

plusieurs forêts de l'Est, par exemple celle de la Contrôlerie en Argonne (Duchaufour *et al.*, 1961), montrant le parti que l'on pouvait tirer, pour les aménagements, de l'identification et de la cartographie de types de forêts basés sur les humus, les sols et la végétation.

Il eut quelques adeptes, notamment Georges Plaisance qui fit dresser la carte des sols de la forêt de Chaux, dans le Doubs. Mais l'usage de la cartographie des stations ne passa que lentement dans la pratique. Michel Becker mit plus tard au point une méthode d'étude croisée de la végétation et des sols, permise par le développement de l'informatique. Par ce moyen, il est possible d'établir des catalogues des stations forestières dans un massif ou dans une petite région. Plus de vingt ans après les premiers efforts de Duchaufour, la Direction de l'Espace rural et de la Forêt du ministère de l'Agriculture vit enfin tout l'intérêt de telles réalisations, et dégagea les fonds nécessaires pour que la plupart des régions forestières soient dotées de catalogues des stations. Aujourd'hui, plus de cent ont été réalisés, par des organismes divers, mais forment hélas un ensemble relativement disparate.

Duchaufour ne limitait pas son action à des recommandations ou à des exemples. Il avait développé à la Station de Recherches le laboratoire d'analyses et mis au point des procédures précises, avec imprimés standardisés, pour la description des stations et des profils de sols, ainsi que pour l'expédition des échantillons. Ces derniers, qu'il s'agisse de sols ou de feuilles, étaient analysés et les résultats envoyés aux gestionnaires avec commentaires et conseils pour le reboisement ou l'aménagement. Repris par l'INRA en 1964, ce système a fonctionné jusque vers 1992, y compris pour les forêts privées, mais fut arrêté, faute du renouvellement d'un demi-poste d'agent technique chargé du conditionnement des échantillons et des relations avec les laboratoires d'Arras (analyses de sols) et de Bordeaux (analyses foliaires). Le Département de la Santé des Forêts sert aujourd'hui de relais entre les praticiens et le laboratoire de Bordeaux pour les analyses foliaires, mais l'activité est moindre que dans le passé et il serait grand temps que les moyens soient donnés de restaurer un système d'analyse de sols et de feuilles tel qu'il fonctionnait dans le passé à la satisfaction générale, et de compléter ainsi efficacement l'effort réalisé dans l'établissement des catalogues.

- *Les recherches fondamentales*

Ces activités tournées directement vers la gestion n'empêchaient pas Duchaufour de poursuivre des recherches de base. Des expériences en pépinières éclairèrent certaines particularités de l'alimentation minérale des jeunes plants ou semis, par exemple le problème de la chlorose calcaire (Duchaufour et Bonneau, 1962). De même, il commença les recherches sur l'action des résineux sur le sol. Mais son sujet de prédilection était la genèse et la classification des sols. C'est à cette époque que, sur la base des travaux soviétiques, il mit au point une première méthode simple de fractionnement de la matière organique en acides humiques, stables, et acides fulviques, mobiles et susceptibles de provoquer la podzolisation. Il travailla aussi à expliquer le processus de lessivage de l'argile. Enfin il proposa, en collaboration avec Georges Aubert à l'ORSTOM, une nouvelle classification, améliorée par rapport à celle de Oudin (Aubert et Duchaufour, 1956). Dans cette nouvelle classification, ces deux auteurs réservent une classe spéciale aux sols hydro-morphes, distinguant nettement les gleys, à nappe permanente, des pseudogleys, à nappe perchée et temporaire.

Il est certain que, dans tous ces travaux, qu'il s'agisse d'étude des stations ou de pédologie fondamentale, Duchaufour tira beaucoup d'enseignements et d'exemples des recherches conduites au cours de la préparation de sa thèse, mais en même temps progressa dans la compréhension des processus.

La période universitaire

Devenu professeur de Pédologie à l'Université de Nancy en 1961, puis directeur du Centre de Pédologie biologique qu'il créa à la demande du CNRS, Duchaufour eut alors à sa disposition plusieurs chercheurs de valeur, dont deux forestiers (Bernard Souchier et Yvon Dommergues), et de très bons universitaires ou agronomes (Fernand Jacquin, Sylvain Bruckert, Bernard Guillet, François Toutain, Jacques Berthelin, et d'autres qu'il n'est pas possible de tous nommer), dont il dirigea efficacement les travaux. De cette période, 1961-1975, datent le développement de la microbiologie du sol, la distinction claire de deux types de lessivage, l'un à pH neutre et purement mécanique, l'autre à pH plus acide et lié à l'action de la matière organique, la mise en évidence des facteurs qui favorisent la podzolisation (Guillet, 1972 ; Bruckert, 1970), avec, par rapport à la thèse de Duchaufour, un renforcement du facteur roche-mère : granites leucocrates par rapport aux granites plus ferro-calciques par exemple (Souchier, 1971), des progrès déterminants dans la connaissance de la matière organique (Jacquin, 1963 ; Toutain, 1974), notamment par traitement physique préalable à la mise en œuvre d'extractants chimiques. Sont ainsi mises en évidence plusieurs voies possibles, et souvent simultanées, de l'humification, de même que l'existence de plusieurs types d'humine (fraction de la matière organique humifiée inextractible dans les alcalis) : l'humine héritée, l'humine de précipitation chimique et l'humine de néosynthèse microbienne. Grâce à cette distinction, la nature, le mode d'élaboration et le fonctionnement des grands types d'humus sont considérablement éclairés.

Tous ces travaux nouveaux, bien que fondamentaux, ont bénéficié aux actions forestières, notamment en permettant aux chercheurs restés à l'École, puis recrutés à l'INRA, qui se consacraient davantage à la recherche appliquée, de comprendre de mieux en mieux les processus d'évolution des sols forestiers et leurs relations avec la végétation et, par là, de développer des applications cohérentes avec les phénomènes naturels de base.

Pendant cette période, Duchaufour a évidemment publié de nombreux articles dans les meilleures revues scientifiques, en particulier dans les *Comptes-rendus de l'Académie des Sciences* et ceux de l'*Académie d'Agriculture* et dans le *Bulletin de l'Association française pour l'Étude du Sol* (Duchaufour, 1963, 1972, 1980 ; Duchaufour et Souchier, 1968 ; Védý, Duchaufour et Jacquin, 1973 ; Duchaufour et Jacquin, 1974 ; Jocteur-Monrozier et Duchaufour, 1986).

Outre ces articles de revue, il poursuivit ses publications de synthèse, commencée dès sa période forestière. Ainsi virent le jour "*Précis de Pédologie*" (1^{re} édition dès 1960, alors qu'il exerçait encore à l'École forestière, réédité en 1965 et en 1970), complété par "*Atlas écologique des sols du monde*" (1976), qui présentait des exemples des types de sols étudiés dans le Précis, avec description, photographies en couleur, données analytiques essentielles et commentaires.

Une retraite active et studieuse

Ayant pris sa retraite en 1975 dans la région parisienne, Duchaufour ne reste pas inactif. Il se tient parfaitement au courant de l'évolution des connaissances en pédologie, fréquentant assidûment la bibliothèque du Centre INRA de Versailles. Il participe à de nombreux colloques, et intervient encore dans la direction de plusieurs thèses ou DEA. Mais cette période est par excellence celle des ouvrages de synthèse. La publication de "*Pédologie*" date de cette époque. Il s'agit d'un ouvrage codirigé par Duchaufour et Souchier, et qui comporte deux tomes : le premier, "*Pédogénèse et Classification*", intégralement écrit par Duchaufour, le second, "*Constituants et Propriétés du Sol*", dû à de nombreux auteurs du CNRS, de l'Université et de l'INRA, mais à la rédaction duquel Duchaufour fut très attentif. Puis vint un ouvrage qui s'adressait à un public moins spécialisé et qui faisait une plus grande part à l'écologie végétale : "*Abrégé de Pédologie, Sol, végétation, environnement*", qui connut un énorme succès, puisque cinq éditions se succé-

dèrent. C'est dans la troisième de ces éditions, en 1991, qu'il se rallie au système des référentiels, déjà utilisés par la FAO et l'UNESCO et par certains pédologues français. Les référentiels se distinguent nettement des classifications et sont moins rigides qu'elles. Dans ces dernières, un sol donné doit obligatoirement se trouver dans une case ou dans une autre, et c'est bien gênant car beaucoup de sols procèdent à la fois de plusieurs groupes ou même de plusieurs classes. Dans les référentiels au contraire, seuls des profils-types (références) sont bien fixés et le pédologue situe le sol qu'il étudie, en fonction de ses observations, dans l'espace des référentiels, sans aucune contrainte de rangement dans des tiroirs fermés et non communiquants. L'espace

ENCADRÉ 2

**EXTRAITS DE L'ÉLOGE DE PHILIPPE DUCHAUFOUR (1912-2000)
PRONONCÉ À L'ACADÉMIE D'AGRICULTURE DE FRANCE LE 28 FÉVRIER 2001**

« Après de brillantes études à l'Institut national agronomique, dont il sortit major, Philippe Duchaufour entra à l'École nationale des Eaux et Forêts. Dès sa sortie de cette école, peu avant la guerre, il fut nommé au "service ordinaire" à Nancy. Il profita de cette affectation pour préparer une licence de Sciences naturelles, ce qui déjà témoignait de son désir de carrière dans l'enseignement et la recherche, désir sans nul doute suscité par l'intérêt qu'il avait pris à suivre les cours du Professeur Philibert Guinier, Directeur de l'École nationale des Eaux et Forêts, et qui fut Président de l'Académie d'Agriculture. N'écrivait-il pas, dans l'introduction au cours d'Écologie de Guinier, que l'École nationale du Génie rural, des Eaux et des Forêts a publié récemment, en 1995, soixante ans après qu'il eut été enseigné : « Certes il y avait un cours de botanique à l'Agro, mais il s'agissait de systématique, beaucoup trop livresque ; aucune notion n'était développée concernant les causes et les modalités de la distribution des plantes ; l'enseignement du Professeur Guinier était pour les élèves de l'École forestière une véritable révélation ». Placer Philippe Duchaufour dans la filiation intellectuelle de Guinier est donc légitime, mais ne doit pas pour autant faire oublier que son œuvre a été tout aussi brillante et novatrice que celle de son maître.

...

... Il créa à Nancy, outre le certificat de Pédologie au niveau maîtrise, deux DEA, l'un de Pédologie générale, l'autre d'Agro-Éco-Pédologie. L'un et l'autre connurent un grand succès. Ses remarquables qualités pédagogiques furent unanimement reconnues, comme elles l'avaient été à l'École forestière. Ses travaux sur la pédogénèse, la publication de plusieurs versions successives de la classification française des sols, améliorées par rapport à celle de Oudin de 1952 et, pour plusieurs d'entre elles, mises au point en collaboration avec notre confrère Georges Aubert, le firent connaître dans le monde entier.

...

Sur le plan humain, ses qualités dominantes étaient la modestie et la fidélité à ses amis. Il n'hésitait jamais à faire évoluer ses positions scientifiques si l'un de ses collaborateurs, fût-il tout jeune et simple thésard, lui apportait des arguments solides. Aucune de ses démarches n'eut jamais pour objet d'obtenir pour lui-même avantages, honneurs ou pouvoir...

Travailleur infatigable et passionné, élu à notre Académie en 1979, il s'est, jusqu'à son décès à 88 ans, tenu parfaitement au courant de l'évolution de la science à laquelle il avait consacré son existence, apportant encore à maintes reprises sa compétence à des colloques ou à la direction de thèses.

Il était titulaire de la Croix de Guerre 1939-45, Chevalier de la Légion d'Honneur, Officier du Mérite agricole et Commandeur des Palmes académiques. Avec Philippe Duchaufour disparaît un des représentants majeurs de la Science du Sol, en France et au niveau mondial. Aussi l'Académie d'Agriculture de France a-t-elle tenu à lui rendre un hommage particulier ».

M. BONNEAU

des classifications est un espace cloisonné, tandis que celui des référentiels est un espace ouvert. Dans cette troisième édition de l'*Abrégé de Pédologie*, Duchaufour propose un référentiel, distinct de celui proposé par Baize et Girard quelques années auparavant (1972). Ce "Référentiel Duchaufour" est inspiré de la classification CPCS (Commission de Pédologie et de Cartographie des Sols), élaborée en 1967 par un groupe de pédologues français.

On ne soulignera jamais assez l'originalité de cet *Abrégé de Pédologie*, rassemblant l'étude des constituants du sol, les processus fondamentaux de la pédogénèse, la classification des sols qui en découle, et les relations entre sol, physiologie végétale, activités agronomiques et forestières, et environnement. C'est à la fois cette originalité, la clarté d'expression, la richesse et l'exactitude du contenu qui expliquent le très grand succès de cet ouvrage.

Malheureusement, Duchaufour ne verra pas la sortie en librairie de la 6^e édition de l'*Abrégé de Pédologie* qui ne sort des presses des éditions Dunod que deux mois après son décès. Il avait voulu lui donner un tour encore plus écologique et plus appliqué, sans pour autant négliger l'aspect scientifique. C'est pour marquer cette évolution et la prise en considération des deux aspects de la Science du sol que cette 6^e édition, qui porte toujours la mention "*Abrégé de Pédologie*", prend le titre principal de "*Introduction à la Science du sol*" avec un sous-titre "*Sol, végétation, environnement*" identique à celui des cinq précédentes. Le style en est d'une remarquable clarté.

Si, comme il a été fait plus haut à propos d'Oudin, nous nous demandons l'intérêt que les agronomes portaient à la pédologie au moment où Duchaufour la développait, nous devons cette fois répondre tout différemment. À cette époque, les milieux agronomiques (INRA et les écoles agronomiques) ont réalisé l'intérêt de la pédologie pour l'agronomie et contribué fortement à l'accroissement des connaissances. Citons en premier lieu Georges Aubert, élève de Demolon, qui acquit pour les sols tropicaux une renommée égale à celle de Duchaufour pour les sols tempérés et qui fut d'ailleurs au début l'initiateur de Duchaufour (ils appartenaient à la même promotion de l'INA). Mais il faut aussi retenir les noms de Bétrémieux qui, à l'INRA, souhaitant échapper à la "sainte trinité NPK", fit sa thèse sur la dynamique du fer dans les sols, tandis que Georges Pedro reproduisait en laboratoire les grands types de pédogénèse ; Jean Boulaine qui fit un remarquable travail de cartographie des sols en Algérie avant de devenir un pédologue internationalement connu et professeur à l'INA Paris-Grignon ; Jacques Dupuis, enseignant à l'INA, qui fit sa thèse sur les sols du Gatinais avant de devenir professeur de Pédologie à l'Université de Poitiers où se formèrent de nombreux pédologues de valeur, par exemple Dominique Righi connu pour ses travaux sur les Landes de Gascogne ; Christian Juste au centre INRA de Bordeaux, l'un des premiers à s'intéresser à la dynamique de l'aluminium ; Jean Servat, à l'École nationale d'Agronomie de Montpellier et Marcel Jamagne à la Chambre d'Agriculture de l'Aisne qui mirent sur pied des équipes performantes de cartographie des sols ; et beaucoup d'autres qu'il est impossible de tous citer. C'est d'ailleurs l'INRA qui, sous l'impulsion de Gustave Drouineau, prit la tête en 1965 de la mise en chantier de la carte des sols de France au 1/100 000^e, tâche hélas inachevée et même abandonnée, et qui créa le Service de l'Étude des Sols et de la Carte pédologique, dont Marcel Jamagne prit la tête et qui existe encore aujourd'hui.

Conclusion

Duchaufour nous offre un exemple parfait d'une carrière de chercheur et d'enseignant longue, fructueuse et désintéressée, tout au long de laquelle il a attaché autant d'intérêt et de rigueur à la science proprement dite, qu'il fit largement progresser, qu'à ses applications, notamment forestières, marquant de son empreinte des évolutions très positives des méthodes de gestion de la forêt. Il s'est montré le digne continuateur de Henry et de Oudin, dépassant largement en

renommée le premier et atteignant celle du second, qui était grande mais tenait en partie à d'autres activités que la pédologie : recherches sylvicoles, relance de l'IUFRO (International Union of Forest Research Organizations). Il a unanimement suscité l'admiration et l'estime de ses élèves et de ses collègues forestiers et pédologues et il a sans nul doute été, directement ou indirectement, l'inspirateur et le conseiller de presque tous les pédologues non forestiers qui ont été cités plus haut.

RAPIDE APERÇU DES TENDANCES DE LA PÉDOLOGIE FORESTIÈRE DE 1961 À 2000

Après le départ de Duchaufour à l'Université, à la fin de 1961, un partage des tâches s'instaura sans difficulté, et dans un climat d'amitié et de complémentarité, entre le Centre de Pédologie biologique qui s'orienta vers des recherches fondamentales en pédogénèse et en microbiologie et l'École forestière où Maurice Bonneau succéda à Duchaufour dans l'enseignement de la pédologie. Lorsque le Ministre de l'Agriculture Edgard Pisani décida de transférer la recherche forestière à l'INRA, la même fructueuse collaboration continua entre le Centre de Pédologie et la Station "Sols forestiers et fertilisation" du Centre INRA de Nancy, dirigée par Bonneau, qui se consacra à des recherches appliquées. Nous nous limiterons à une brève évocation des grands axes qui ont été suivis.

Les études de relations sol-production. Il s'agissait, dans une région limitée, de mettre en évidence les facteurs physiques ou chimiques susceptibles de limiter la production des essences majoritaires de cette région (Garbaye *et al.*, 1970). Citons les travaux concernant l'Épicéa sur les Plateaux calcaires du Nord-Est, l'Épicéa en Haute-Ardèche, le Chêne dans le secteur ligérien et en Lorraine, les Peupliers dans la moitié Nord du Bassin parisien, l'Épicéa et le Douglas en Limousin, le Frêne dans le Nord et l'Est. Il faut citer aussi les travaux effectués sur l'hypoxie et la mise en valeur des pseudogleys (Lévy et Lefèvre, 2001).

Les pédologues collaborèrent avec leurs collègues botanistes pour mettre au point une méthode simple d'établissement des catalogues de stations basés sur la flore et le sol. Le premier concerne le Plateau lorrain, suivi du catalogue des Plateaux calcaires de l'Est. Pour les nombreux autres qui suivirent, le Département des Recherches forestières de l'INRA passa la main à d'autres organismes.

Un réseau assez étoffé d'essais de fertilisation fut constitué, aboutissant, en 1995, à la parution d'un ouvrage de synthèse (Bonneau, 1995).

Les pédologues prirent une part active d'abord aux recherches sur l'influence des résineux sur le sol réalisées dans le cadre du programme PIREN de 1972 à 1982 (Bonneau, 1983), puis aux travaux qui avaient pour but d'élucider les causes du dépérissement des forêts, de 1983 à 1992. Grâce à ces travaux, le rôle d'épisodes passés de sécheresse fut mis en évidence dans certains cas, tandis que, dans d'autres, les mécanismes de l'acidification des sols furent tenus pour responsables, et approfondis. On montra que cette acidification débouchait sur des carences magnésiennes et calciques, d'ailleurs en relation avec le dessèchement du sol, et faciles à corriger par l'épandage d'amendements convenables (Bonneau, 1989 ; Bonneau et Landmann, 1995 ; Bonneau, 2000).

Le cycle des éléments nutritifs dans les écosystèmes forestiers a fait de grands progrès depuis la fin des années soixante-dix (Ranger *et al.*, 1992). Les exportations des peuplements à différents âges sont connues avec une bonne exactitude, les apports par l'atmosphère et les pertes par drainage sont évalués assez correctement et on commence à savoir estimer les flux d'élé-

ments biogènes libérés par l'altération des minéraux du sol (Turpault *et al.*, 1999). Ainsi peut-on approcher assez valablement les bilans de fertilité des sols forestiers et donc amorcer des réflexions sur les mesures à prendre pour assurer une production durable.

Les travaux de l'équipe "microbiologie" ont permis de mieux comprendre le rôle des mycorhizes, de sélectionner les symbiotes les plus efficaces et d'améliorer grandement la qualité des plants, notamment ceux de Douglas dans les pépinières de l'Ouest du Massif Central. En outre, ces recherches microbiologiques ont apporté un éclairage nouveau sur l'alimentation minérale des arbres et sur leur physiologie (Le Tacon, 1997).

Au centre de l'ENGREF à Nancy, l'enseignement de la pédologie continue avec Bernard Jabiol, orienté vers une reconnaissance de plus en plus fine des types de sols et d'humus (Jabiol *et al.*, 1995) et sur les types de forêt correspondants. Enfin, il serait injuste de ne pas citer Alain Brêthes, pédologue au département Recherche et Développement de l'ONF, qui a présidé et préside encore à l'établissement de nombreux et très précis catalogues des types de stations forestières dans de nombreuses régions de France. Les deux derniers cités sont à l'heure actuelle nos meilleurs spécialistes en pédologie forestière de terrain.

Conclusion

Dans les dernières quarante années du siècle passé, les recherches forestières, à caractère surtout appliqué, sont en partie revenues, notamment avec les recherches sur les cycles biogéochimiques en forêt, aux préoccupations qui étaient celles de Henry à la fin du XIX^e siècle, mais, grâce aux nouveaux outils de recherche et aux connaissances accumulées par les grands prédécesseurs, Duchaufour notamment, avec une efficacité, une intensité et une exactitude bien supérieures. De tels mouvements de balancier ne sont pas rares. Les résultats obtenus permettent de répondre de mieux en mieux à la demande des praticiens, des instances dirigeantes et du public.

CONCLUSION GÉNÉRALE

Schématiquement, pendant ces cent dernières années, les recherches forestières en matière de science du sol ont oscillé entre deux pôles : un pôle physico-chimique, d'essence agronomique, et un pôle pédologique, plus naturaliste. Les recherches correspondant à ces deux pôles ont été bien initiées, dans la première moitié du siècle, les unes par Henry, les autres par Oudin. Dans les cinquante dernières années, ces deux pôles se sont développés avec des techniques de recherche bien plus performantes, dans une relative indépendance l'un de l'autre, mais sans se concurrencer, en s'appuyant au contraire mutuellement. Le pôle "naturaliste" a fourni un bon cadre et des bases solides à la fois à la gestion et aux recherches physico-chimiques, grâce surtout aux recherches menées par Duchaufour et ses collaborateurs, et à son souci des applications pratiques. Il est souhaitable que les deux voies continuent à être suivies de pair et dans le même esprit au cours du XXI^e siècle. Il faut d'ailleurs insister sur le fait que la connaissance détaillée des types de sol et de pédogénèse explique de mieux en mieux les caractéristiques physico-chimiques des sols. Il y a, de ce point de vue, une "unification" comparable, toutes proportions gardées, à celle qui s'opère entre les différentes branches de la Physique moderne.

La couverture complète des terroirs forestiers par des catalogues de stations est en vue, mais ces catalogues devraient être complétés par des "cartes d'identité" des stations donnant la production potentielle des essences les mieux adaptées et les caractéristiques de composition des feuillages. Dans ce cadre, les recherches physico-chimiques doivent faire émerger des méthodes d'analyse plus performantes et en améliorer l'interprétation tant du point de vue quali-

tatif que, pour les sols notamment, du point de vue quantitatif. Les conduites sylvicoles à conseiller pour une gestion durable devraient en découler naturellement (Bonneau et Ranger, 1999).

Maurice BONNEAU
4, rue de Bastogne
F-54500 VANDŒUVRE-LÈS-NANCY

BIBLIOGRAPHIE

- AUBERT (G.), DUCHAUFOR (Ph.). — Projet de classification des sols. *In* : VI^e Congrès international de Science du Sol, Paris, 1956, V, 97, vol. E, pp. 597-604.
- BAIZE (D.), GIRARD (M.-C.) Éditeurs. — Référentiel pédologique. Principaux sols d'Europe. — Paris : INRA-Éditions, 1992. — 222 p. (Document déjà présenté au Congrès de l'Association internationale de la Science du Sol, à Kyoto (Japon) en 1990, par D. Baize, M.-C. Girard, J. Boulaine, Cl. Cheverry et A. Ruellan).
- BONNEAU (M.). — Conséquences des enrésinements massifs sur les écosystèmes. — *Le Courier du CNRS, "Images de l'Environnement"*, 1983, pp. 85-91.
- BONNEAU (M.). — Évolution sur dix ans de la fertilité minérale d'un sol acide des Vosges. — *Revue forestière française*, vol. LII, n° 6, 2000, pp. 519-529.
- BONNEAU (M.). — Fertilisation des forêts dans les pays tempérés. — Nancy : École nationale du Génie rural, des Eaux et des Forêts, 1995. — 367 p.
- BONNEAU (M.). — Que sait-on maintenant des causes du "dépérissement" des forêts ? — *Revue forestière française*, vol. XLI, n° 5, 1989, pp. 367-385.
- BONNEAU (M.), LANDMANN (G.) Éditeurs. — Pollution atmosphérique et dépérissement des forêts dans les montagnes françaises. I- Synthèse des recherches ; II- Contributions individuelles de recherche. Rapport DEFORPA 1992. — Paris : Ministère de l'Environnement, 1993. — 365 p.
- BONNEAU (M.), RANGER (J.). — Les Sols forestiers - Évolution de la fertilité chimique des sols forestiers. Recommandations pour une gestion durable. — *La Forêt privée*, 42^e année, n° 247, juin-juillet 1999, pp. 51-64.
- BOULAIN (J.). — Histoire des pédologues et de la science des sols. — Paris : INRA, 1989. — 285 p.
- BRUCKERT (S.). — Influence des composés organiques solubles sur la pédogénèse en milieu acide. — Nancy : Université de Nancy I, 1970. — 63 p. (Thèse de Doctorat d'État).
- DEMOLON (A.). — Principes d'Agronomie. I- La dynamique du sol. — 2^e édition. — Paris : Éd. Dunod, 1938. — 495 p.
- DUCHAUFOR (Ph.). — Abrégé de Pédologie, sol, végétation, environnement. — Paris : Masson, 1984. (réédité en 1988, 1991, 1995, 1997).
- DUCHAUFOR (Ph.). — Action des cations sur le processus d'humification. — *Science du Sol*, n° 3, 1972, pp. 151-161.
- DUCHAUFOR (Ph.). — Atlas écologique des sols du monde. — Paris : Masson, 1976. — 178 p.
- DUCHAUFOR (Ph.). — Cours de Géologie régionale appliquée. — Nancy : École nationale des Eaux et Forêts. — 65 p. (Nombreuses éditions de 1948 à 1990).
- DUCHAUFOR (Ph.). — Écologie de l'humification et pédogénèse des sols forestiers. *In* : Actualités de l'écologie forestière : sol, flore, faune / P. Pesson Éd. — Paris : Gauthiers-Villars, 1980. — pp. 177-202.
- DUCHAUFOR (Ph.). — Essai de fractionnement de différents complexes humiques dans les sols. — *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences de Paris*, n° 238, 1954, pp. 836-838.

- DUCHAUFOR (Ph.). — Initiation à la science du sol. Sol, végétation, environnement. 6^e édition de l'Abrégé de pédologie. — Paris : Dunod, 2001. — 324 p.
- DUCHAUFOR (Ph.). — Note sur le rôle du fer dans les complexes argilo-humiques. — *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences de Paris*, n° 256, 1963, pp. 2657-2660.
- DUCHAUFOR (Ph.). — Précis de Pédologie. — Paris : Masson, 1960. — 377 p. (réédité en 1965 et 1970).
- DUCHAUFOR (Ph.). — Recherches écologiques sur la chênaie atlantique française. — Université de Montpellier, 1947 (Thèse de Doctorat d'État) et *Annales de l'École nationale des Eaux et Forêts*, vol. XI, 1948, pp. 1-331.
- DUCHAUFOR (Ph.). — Les Sols à gley. — *Revue forestière française*, vol. I, n° 8, 1949, pp. 357-361.
- DUCHAUFOR (Ph.). — Tableaux descriptifs et analytiques des sols. — Nancy : École nationale des Eaux et Forêts, 1957. — 87 p.
- DUCHAUFOR (Ph.). — Traité de Pédologie. — Nancy : École nationale des Eaux et Forêts, 1956.
- DUCHAUFOR (Ph.), BONNEAU (M.). — Étude expérimentale de l'influence du calcaire sur la nutrition et la croissance d'un résineux acidiphile. — *Annales de l'École nationale des Eaux et Forêts*, vol. 19, n° 3, 1962, pp. 389-413.
- DUCHAUFOR (Ph.), BONNEAU (M.), DEBAZAC (E.F.), PARDÉ (J.). — Types de forêt et aménagement : la Forêt de la Contrôlerie en Argonne. — *Annales de l'École nationale des Eaux et Forêts*, vol. 18, n° 1, 1961, pp. 33-44.
- DUCHAUFOR (Ph.), JACQUIN (F.). — Évolution des complexes organo-minéraux solubles dans les sols des hêtraies acidiphiles. In : Proc. X^e Congrès international Science du Sol, Moscou, VI, 1974. — pp. 84-90.
- DUCHAUFOR (Ph.), SOUCHIER (B.). — Note sur la migration sélective de l'aluminium dans les sols crypto-podzoliques. — *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences de Paris*, 266 D, 1968, pp. 202-206.
- DUCHAUFOR (Ph.), SOUCHIER (B.). — Pédologie. Tome 1, Pédogénèse et Classification / Ph. Ducaufour — Tome 2, Constituants et Propriétés du Sol / B. Souchier et M. Bonneau eds (nombreux auteurs). Première édition : 1977 (tome 1), 1979 (tome 2). Deuxième édition : 1983 (tome 1), 1994 (tome 2). — Paris : Masson.
- GARBAYE (J.), LEROY (Ph.), LE TACON (F.), LÉVY (G.). — Réflexions sur une méthode d'études des relations entre facteurs écologiques et caractéristiques des peuplements. — *Annales des Sciences forestières*, vol. 27, n° 3, 1970, pp. 303-321.
- GUILLET (B.). — Relations entre l'histoire de la végétation et la podzolisation dans les Vosges. — Nancy : Université de Nancy I, 1962. — 112 p. (Thèse de Doctorat d'État).
- GUYOT (Ch.). — L'Enseignement forestier en France. L'École de Nancy. — Nancy : Éd. Crépín-Leblond, 1898. — 398 p.
- HENRY (E.). — Atlas d'entomologie forestière. — Paris, Nancy : Éd. Berger-Levrault, 1903.
- HENRY (E.). — Fixation de l'azote atmosphérique par les feuilles mortes en forêt. — *Annales de la Science agronomique française et étrangère*, 2^e série, tome 2, 1903. — 24 p.
- HENRY (E.). — Importance des mycorhizes dans la nutrition des plantes humicoles. — *Bulletin de la Société royale forestière de Belgique*, 1893/1894, pp. 904-912.
- HENRY (E.). — Les Sols forestiers. — Nancy : Éd. Berger-Levrault et C^{ie}, 1908. — 392 p.
- JABIOL (B.), BRÉTHES (A.), PONGE (J.-F.), TOUTAIN (F.), BRUN (J.-J.). — L'Humus sous toutes ses formes. — Nancy : École nationale du Génie rural, des Eaux et des Forêts, 1995. — 63 p.
- JACQUIN (F.). — Contribution à l'étude des processus de formation et d'évolution de divers composés humiques. — Nancy : Université de Nancy I, 1963. — 156 p. (Thèse de Doctorat d'État).
- JOCTEUR-MONROZIER (L.), DUCHAUFOR (Ph.). — Données récentes sur l'humification. — *Science du Sol*, vol. 24, n° 4, 1986, pp. 377-388.
- JUSSY (J.-H.), KOERNER (W.), MOARÈS (C.), DAMBRINE (E.), DUPOUEY (J.-L.), ZELLER (B.), BENOÎT (M.). — Influence de l'usage ancien des sols sur le cycle de l'azote dans les forêts vosgiennes. — *Étude et Gestion des Sols*, vol. 8, n° 2, 2001, pp. 91-102.
- LE TACON (F.) coordonateur. — Champignons et mycorhizes en forêt. — *Revue forestière française*, vol. XLIX, n° spécial, 1997, 355 p.
- LÉVY (G.), LEFÈVRE (Y.). — La Forêt et sa culture sur sol à nappe temporaire. Contraintes subies, choix des essences, interventions et gestion durable. — Nancy : École nationale du Génie rural, des Eaux et des Forêts, 2001. — 223 p.
- LOUDIN (A.). — Les Amendements et les engrais dans les reboisements. — *Revue des Eaux et Forêts*, vol. 76, n° 4, 1939, pp. 335-341.

- LOUDIN (A.). — La Pédologie - Son intérêt du point de vue forestier. — *Revue des Eaux et Forêts*, vol. 75, n° 8, 1938, pp. 703-714.
- LOUDIN (A.). — Semis et plantations accompagnés d'épandage d'engrais. Essais effectués en forêt domaniale de Rambouillet. — *Revue des Eaux et Forêts*, vol. 72, n° 8, 1934, pp. 602-608.
- LOUDIN (A.). — Le Sol. Classification, caractères des principaux types de sols. — Nancy : École nationale des Eaux et Forêts, 1952. — 22 p.
- RANGER (J.), CUIRIN (G.), BOUCHON (J.), COLIN (M.), GELHAYE (D.), MOHAMED AHMED (D.). — Biomasse et minéralomasse d'une plantation d'Épicéa commun (*Picea abies* Karst.) de forte production dans les Vosges (France). — *Annales des Sciences forestières*, vol. 49, 1992, pp. 651-658.
- SOUCHIER (B.). — Évolution des sols sur roches cristallines à l'étage montagnard. — Nancy : Université de Nancy I, 1971. — 134 p. (Thèse de Doctorat d'État).
- TOUTAIN (F.). — Écologie de l'humification dans les hêtraies acidiphiles. — Nancy : Université de Nancy I, 1974. — 180 p. (Thèse de Doctorat d'État).
- TURPAULT (M.-P.), RANGER (J.), MARQUES (R.), EZZAÏM (A.). — Les Bilans entrées-sorties indicateurs de gestion durable des écosystèmes forestiers à forte production : le cas des plantations de Douglas (*Pseudotsuga menziesii* Mirb. Franco) des monts du Beaujolais. — *Revue forestière française*, vol. LI, n° 2 spécial "Fonctionnement des arbres et écosystèmes forestiers", 1999, pp. 184-196.
- VÉDY (J.-C.), DUCHAUFOUR (Ph.), JACQUIN (F.). — Relations entre le cycle du calcium et l'humification. — *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences de Paris*, 276 D, 1973, pp. 1665-1668.

UN SIÈCLE D'ENSEIGNEMENT ET DE RECHERCHE EN PÉDOLOGIE FORESTIÈRE (Résumé)

La pédologie forestière, représentée au début du siècle par E. Henry, était alors une sorte d'agronomie forestière, essentiellement physico-chimique, avec un aspect spécifiquement forestier concernant les humus. La pédologie *stricto sensu*, au sens de pédogénèse et classification des sols, verra le jour avec A. Oudin vers 1936 et jusqu'en 1952, pour être ensuite fortement développée par Ph. Duchaufour, tant à l'École forestière de Nancy qu'à l'université et au CNRS. Ph. Duchaufour eut, en outre, une influence considérable sur le développement des applications de la pédologie dans la gestion et l'aménagement des forêts. Les tendances actuelles sont plus équilibrées et marquées par un retour aux préoccupations de Henry et notamment le cycle quantitatif des éléments nutritifs en forêt, ainsi que par le développement de la microbiologie des sols.

A CENTURY OF EDUCATION AND RESEARCH IN FOREST PEDOLOGY (Abstract)

Forest pedology, represented by E. Henry at the beginning of the century, was at the time a sort of forest agronomy, dealing with essentially physical and chemical features together with a specifically forest-related aspect. Pedology in the strict sense, i.e. soil formation and classification, emerged with A. Oudin towards 1936 until 1952, and was thereafter strongly developed by Ph. Duchaufour, at the Nancy School of Forestry, universities and the CNRS (French National Scientific Research Council). Ph. Duchaufour also had a considerable influence on pedology applications to forest management and planning. Current trends are more balanced with a greater focus on Henry's concerns, e.g., the quantitative cycle of forest nutrients, and on the development of soil microbiology.
