

LA MATIERE ORGANIQUE DU SOL. SA DYNAMIQUE LIEE AUX FACTEURS DE L'ENVIRONNEMENT. SON ROLE DE REGULATION DANS LES ECOSYSTEMES.

Cas particulier des sols calcimorphes et des sols halomorphes sous climat de type méditerranéen.

par ROGER SCHAEFER

Maître de recherche, C.N.R.S. Laboratoire d'Ecologie végétale Université de Paris XI, Orsay.

Les débris végétaux et animaux provenant du soussystème épigé ou hypogé sont soumis, en tant que matière organique biodégradable, à la *minéralisation* par voie microbienne. Mais une part, très variable selon l'incidence de nombreux facteurs, est détournée du turnover normal, après remaniement, et représente une fraction stabilisée, un pool organique qui est essentiellement un réservoir qui régularise les cycles biogéochimiques. Ce processus d'*humification* est d'une importance capitale.

En effet, les substances humiques sont le produit naturel organique le plus largement répandu à la surface du globe (sols, sédiments lacustres, mers, rivières); 1 m² contient en moyenne 5 Kg d'humus (extrêmes: 0 à 100), 1 ha en renferme 50 T (extrêmes 0 à 1000). La production photosynthétique de matière organique (5.10¹⁰T/an) contribue, dans la proportion de 20% environ, à la production de substances cellulaires microbiennes directement liée à celle de l'humus.

La matière organique du sol comprend donc une fraction *non humique*, à éléments « figurés » ou à caractères chimiques encore reconnaissables: cellulose, lignine, oligosides, protéines, peptides, lipides, cires, résines, pigments etc.. Elle est soumise à une minéralisation active, directe, si les conditions d'oxygénation, en particulier sont adéquates. La fraction *humique*, amorphe, brun-noir, hydrophile, acidoïde, à caractère colloïdal et polydispersé, est stabilisée et sa minéralisation freinée. C'est un mélange complexe de résidus végétaux et animaux à divers degrés de décomposition, de produits de synthèse biologique ou de réactions chimiques à partir des produits de dégradation.

En particulier, participent à la formation de composés humifiés:

— l'altération de résidus végétaux résistant à l'attaque microbienne (lignine)

— la polymérisation et la condensation chimique des petites molécules issues de l'attaque microbienne des débris organiques.

— l'autolyse des cellules microbiennes qui fournit un produit hétérogène par suite de condensations au hasard et de polymérisations de radicaux libres.

— la synthèse microbienne intracellulaire de hauts polymères; après lyse des cellules ces derniers peuvent être dégradés en molécules plus simples et plus réactives.

L'apport périodique ou épisodique, ou même continu, de matière organique au sol impose des modalités spécifiques, une dynamique aux processus de formation et à ceux de dégradation de l'humus dont la vitesse est par ailleurs réglée directement par les facteurs de l'environnement et par l'effet de leur interaction.

On observe donc plusieurs processus simultanés:

— minéralisation de la matière organique fraîche (litière) non encore incorporée au sol.

— minéralisation de la matière organique fraîche incorporée au sol.

— synthèse d'humus.

— minéralisation des composés humifiés.

On conçoit que la complexité chimique soit extrême. Pendant longtemps on a cherché exclusivement à élucider la structure chimique de l'humus, et bien qu'avec les moyens actuels mis en œuvre on ait progressé considérablement dans cette voie, elle ne représente qu'un volant, descriptif toute, d'un problème extrêmement vaste.

Le rôle clé de l'humus dans la genèse des sols a été amplement démontré: la pédologie biologique a su faire le point entre les activités microbiennes, les cycles d'éléments et les processus d'altération, en faisant de l'humus *le carrefour des interactions complexes* dans le sol. Par ailleurs, l'étude structurale des écosystèmes, de leur fonctionnement et de leur régulation a mis l'accent sur le rôle fondamental joué par l'humus du sol.

Dans les écosystèmes, tant climatiques que modifiés par l'homme, l'humification est un processus régulateur: le contenu en énergie tend à être maintenu, le degré de complexité est élevé, l'accessibilité des substrats et sources d'énergie est réduite par le fait des complexes colloïdaux argilo-humiques, l'homéostasie du système est assurée, son organisation accrue et son *entropie réduite*. La rotation des cultures, les peuplements mixtes, les formations végétales climax en équilibre avec le milieu naturel sont des exemples où l'humus, par des voies de rétro-alimentation ou directes, intervient dans la régulation du système par une diversification biologique et chimique. Par contre toute simplification tend à induire un changement, une évolution accélérée dans le sens d'une instabilité, d'une minéralisation des réserves énergétiques qui *accroît l'entropie* du système en diminuant la quantité et

en altérant la qualité de l'humus. Les monocultures, agricoles et forestières, illustrent cette orientation.

La complexité chimique de l'humus est en quelque sorte une mémoire et il est possible que ce *stockage d'information* confère au système des mécanismes de stabilisation non encore décrits.

Ce qui est certain, c'est qu'à chaque formation végétale, naturelle ou d'origine anthropique correspond un *niveau* humique, tant qualitatif, que quantitatif, en équilibre optimum avec l'ensemble des facteurs de l'environnement. Ce niveau, dynamique car résultant de réajustements, de réarrangements qui assurent sa cohésion, est le résultat de l'intégration de toutes les interactions stationnelles.

Dans l'équilibre de flux auquel sont soumis les écosystèmes, et tributaire du bilan « input - out put », l'évolution, progressive ou régressive, est le fait de déplacements, temporaires ou permanents, de déviation d'un élément constitutif. De telles incidences qui portent sur le « pool humique » peuvent être comprises dans la limite de la capacité de tolérance du système ou alors elles lui impriment une orientation, un status modifiés.

Les exemples sont nombreux:

— remaniement du profil (labour, tassement): redistribution texturale, modification de structure, élimination de la stratification humique.

— la qualité de l'humus est liée à la fois à la nature du couvert végétal et caractères de l'environnement, surtout microclimatiques.

— l'apport d'éléments minéraux (fertilisants) de structurants ou d'amendements organiques modifie le spectre microbien et l'activité des groupes métaboliques, donc déplace le bilan humique.

— l'irrigation, selon son régime (débit, fréquence) réactive les fonctions métaboliques microbiennes à un moment de latence du cycle saisonnier. Le lessivage, l'apport de sels, la distribution d'éléments minéraux fins, de microorganismes, la qualité chimique et physique de l'eau s'ajoutent à cette influence.

— à part les sols salés anciens on ne sait que très peu de chose sur l'impact d'une salinisation récente, progressive, sur l'économie de l'humus (remontée de nappe salée/effet de barrages, irrigation avec de l'eau salée).

— le drainage peut par le fait de l'assèchement et de l'aération, induire dans certains niveaux humifères, une oxydation rapide de la matière organique.

— la submersion, selon le type de sol, la durée de l'inondation, la saison, peut établir des conditions d'anaérobiose et abaisser le potentiel redox au niveau de réduction du fer, du manganèse, du soufre. La réduction

désassimilative des nitrates, la production d'acides gras volatils vont de pair avec une deshumification relative.

— un apport massif de composés humifiés, ou non humifiés se répercute sur le métabolisme de l'humus s'il se situe au delà d'un seuil donné.

En ce qui concerne l'écologie de l'humification on dispose maintenant de nombreuses données sur les sols sous climat tempéré, mais de sérieuses lacunes subsistent pour de vastes aires tropicales, sèches et humides, et équatoriales.

La localisation de la matière organique fraîche, le degré de son homogénéité et de sa distribution spatiale dans le profil du sol impliquent l'existence de zones de plus fort peuplement microbien, de *foyers d'activité biologique*: la rhizosphère et le rhizoplan (excrétions racinaires, synthèses microbiennes hypogées) et la litière de feuilles (activité épigée). Des foyers secondaires sont constitués au niveau des apports exogènes (fumier, compost, engrais vert) enfouis, des translocations de matière organique par la faune du sol, par l'eau (de gravitation ou phréatique), au niveau des galeries de fousseurs ou de fentes de retrait. Les composés énergétiques et les complexes hydrosolubles sont dilués, avec une distribution très large, en présence de suffisamment d'eau pour les faire circuler. Au voisinage de l'humidité équivalente ils restent localisés et peuvent être soumis à une intense activité microbienne minéralisatrice. La distribution de matière organique dans le profil sous forêt diffère notablement de celle qu'on observe sous pré: d'importantes conséquences en découlent pour le bilan humique. Le facteur climat intervient: sous climat tempéré peu contrasté il se forme en hiver des acides humiques labiles qui sont dégradés en été. Sous climat très contrasté, à sécheresse estivale, il y a passage d'acides fulviques à des acides humiques stables, polymérisés et à de l'humine.

Les stabilisateurs minéraux favorisent la conservation et la maturation climatique des composés humiques:

— le Ca actif bloque l'humus des rendzines et conduit à une accumulation d'humine.

— les allophanes (charge nette +) absorbent très fortement les composés humiques et les protègent contre la biodégradation.

— les argiles (montmorillonites) accroissent la stabilité des acides humiques polymérisés. Elles renforcent donc d'action du climat tropical ou du climat continental à saisons contrastées.

Dans la régulation: humification/deshumification, la prééminence de l'une ou de l'autre voie et le bilan global dépendent de modulations périodiques du milieu, de l'effet physique, chimique et ultimement biologique d'*alternances* telles que gel-dégel, aérobiose-anoxybiose, dessiccation-rehumidification, degré

de salure. Une expérimentation de type factoriel permet donc d'explorer l'effet de la nature de la matière organique en jeu (compost, engrais vert, litière), au laboratoire et au champ, de fractions organiques définies extraites du sol et rajoutées dans une gamme de doses, de suivre la dynamique saisonnière et de préciser l'évolution probable par l'étude de chaînes (topographiques, d'adsorption, traitements etc...). Le test respirométrique s'est avéré très utile dans ces recherches pour mettre en évidence les relations avec les fonctions métaboliques microbiennes (hétérotrophes). On a là un moyen d'estimer la quantité et la qualité de la matière organique humifiée présente: par exemple par l'activité globale (dégagement de CO_2), l'immobilisation d'N minéral (synthèses protéiques microbiennes), la réduction desassimilative des nitrates, la production d'acides gras volatils, fonctions liées au taux de C assimilable disponible. Il est utile de faire ressortir ici l'intérêt de l'étude des activités métaboliques microbiennes, dans le cadre de bilans énergétique, de dynamique de fonctionnement et de régulation biochimique de systèmes écologiques. Des numérations ou l'aspect taxinomique, ne peuvent servir que de complément.

Dans la formation d'un type d'humus il intervient des facteurs externes (climat, station) et internes (matière première). Parmi ces derniers la teneur en N et en matières hydrosolubles est essentielle. Les tanins hydrolysables (ac. gallique) ou condensés (catéchols, leuco-anthocyanes) par exemple peuvent être toxiques pour les microorganismes ou avoir un effet protecteur vis à vis des protéines; ils peuvent par conséquent intervenir dans le bilan humique.

Les interactions au niveau de l'humus sont nombreuses et commandent dans une large mesure le dynamisme et l'évolution du sol:

— interaction avec *les ions métalliques*: elle a lieu sous forme de complexes (chélation) susceptibles de migrer, d'échange d'ions, d'adsorption par les surfaces, de coagulation, de peptisation. Il s'agit là d'un phénomène fondamental en pédogénèse. Il a son importance dans d'autres domaines: déplétion d'eaux polluées par des métaux lourds, fixés par des acides humiques solubles, adsorption de radionucléides et accumulation des complexes: humus-produits de fission nucléaire sous une forme peu soluble.

— interaction avec *les colloïdes minéraux*. Cette association, fondamentale en ce qui concerne la stabilité structurale, assure la protection de l'humus contre la biodégradation, diminue la capacité sorptive du sol, catalyse des réactions entre les composés organiques adsorbés. Ces phénomènes sont importants pour toutes les argiles, mais particulièrement marqués pour celles à charge nette comme les allophanes.

— interaction avec *les composés organiques antochtones et allochtones*.

Citons les réactions de l'humus avec les pesticides herbicides, les engrais N: leur solubilité est accrue et ils sont concentrés au niveau des colloïdes

organiques qui fonctionnent comme des transporteurs (carriers) de composés insolubles à l'eau. L'activité physiologique, directe et indirecte, de l'humus vis à vis des plantes s'explique en partie ainsi. Cette fixation revêt un caractère important dans divers problèmes concernant la dynamique de l'environnement.

Les tribulations historiques du concept « humus » sont intéressantes, car elles marquent les étapes de l'attitude de l'homme vis à vis de la nature.

Vers 1760 LOMONOSOV considérait que l'humus est formé par la décomposition de résidus végétaux et animaux, tandis que pour WALLERIUS, l'humus absorbait l'eau et les éléments nutritifs. En 1830, BEREDLIUS distinguait les acides créniques et apocréniques, leurs sels et leurs complexes avec les éléments et ainsi que les acides humiques solubles dans les alcalis, précipitables par les acides et l'humine, inerte, insoluble dans les alcalis. Avant 1870 on considérait que les plantes tirent leur aliment de l'humus (puis LIEBIG imposait le dogme de la nutrition exclusivement minérale qui jusqu'à un passé très récent, allait reléguer l'humus à un rôle subalterne. Cependant les études chimiques progressaient: ODEN en 1915 établissait la nature colloïdale de l'humus et rassemblait dans la notion d'acides fulviques, les acides créniques et apocréniques, solubles dans les acides et les bases.

Le rôle fondamental de l'humus, héritage du passé et miroir du futur, était établi dans la pédogénèse, et accepté, bien qu'avec hésitation dans certains secteurs, dans la fertilité du sol prise dans son sens large, c'est à dire vis à vis de la production végétale *et* des activités microbiennes. La complexité d'un agroécosystème, assurée par la qualité de son humus, maintenue par des façons culturales adéquates, est un facteur de sa stabilité et la diversification biologique (microflore et faune) qu'induit cette complexité a de nombreux prolongements (contrôle des populations). Il est établi maintenant que les plantes ont la faculté d'absorber des molécules organiques par leur racines intactes. Le rôle oligodynamique des substances humiques est par conséquent certain (rhizogénèse, nutrition minérale).

Puisque la matière organique du sol est un mélange hétérogène de matière fraîche partiellement transformée, en contact ou non avec la fraction minérale, de composés humiques néoformés d'origine végétale ou microbienne, son étude se base sur une extraction, un fractionnement non altérant, sur une séparation sélective au moyen de solvants alcalins ou organiques. L'humine, résidu non extractible, résistant à la dégradation microbienne, est liée aux argiles. Mais elle possède la capacité de former des sels, hydrosolubles ou insolubles avec des ions métalliques et des oxydes hydratés, et de plus montre une interaction avec des composés organiques (insecticides, engrais, etc...). Elle n'est donc pas une fraction inerte peu étudiée jusqu'ici, de l'humus. Si elle s'apparente par sa structure et ses propriétés à l'acide humique, elle en diffère par son poids moléculaire très élevé, ses groupes fonctionnels,

son caractère insoluble communiqué par une combinaison avec des éléments minéraux.

Bilan humique sous climat méditerranéen.

Le climat méditerranéen doit son originalité à la localisation des précipitations en saison froide, quand l'évapotranspiration potentielle est au minimum. Il en résulte un drainage climatique et l'efficacité des pluies est en général remarquable. L'existence de phases saisonnières de solubilisation et d'insolubilisation des colloïdes du sol joue un rôle de premier plan dans la dynamique de l'humus: à la fin de l'hiver et au printemps, l'engorgement par l'eau des horizons humifères conduit à un état d'anoxibiose. Il y a apparition de précurseurs solubles des acides humiques, le fer est réduit, solubilisé, et migre. En saison sèche, les complexes sont détruits par l'oxydation en milieu aérobie, le fer précipite, les précurseurs solubles se polymérisent et deviennent insolubles. Comme la gamme des climats méditerranéens est large: de perhumide à semi-aride, ce schéma est donc approximatif. Mais il faut noter que la période humide est aussi la période froide et de moindre activité biologique et que par conséquent le déficit en oxygène du sol ne sera en général que relatif et le métabolisme des substrats énergétiques ne sera pas soumis à une activation très prononcée.

La diversité des climats méditerranéen, géographique et interannuelle, est considérable. Ce n'est que la confrontation des observations (Chili, Californie, Bassin Méditerranéen, Territoire du Cap, Australie du Sud Ouest) concernant l'activité microbienne et le statut de l'humus qui permettront d'établir des normes et d'élucider la dynamique et le bilan de composés humiques.

DOMMARGUES a mis en évidence l'existence de groupes microbiens dont l'exigence en eau est différente:

— hyperxérophiles, actifs à un $pF > 4,9$. Il s'agit des ammonifiants de la tyrosine, de la caséine, de réducteurs du soufre minéral, et des microorganismes qui minéralisent le glucose, le glycérophosphate, l'amidon, des substances végétales complexes.

— xérophiles, actifs entre pF 4,9 et 4,2: bactéries/cellulolytiques, oxydants du soufre, nitrificateurs.

— hydrophiles, actifs au dessous de pF 4,2: fixateurs d'azote.

La disparité des seuils conduit à une accumulation de certains substrats durant la phase de dessèchement du sol. Ainsi a lieu une accumulation d'azote ammoniacal. Les microbiocoenoses des sols soumis aux termes du climat méditerranéen à aridité marquée sont caractérisées par leur caractère

xérophile, thermophile, halophile et ont développé des formes de résistance qui leur permettent de passer la saison sèche et chaude un cryptobiose.

KILLIAN a montré que lorsque les sels accumulés en période estivale sèche étaient dissous et dilués par les premières pluies aux abords de l'hiver, on notait un regain d'activité de la microflore.

Si l'effet d'un été humide et modérément chaud consiste en une accélération de la dégradation des acides humiques labiles formés durant l'hiver, un été sec et chaud favorise la formation d'acides humiques stables qui résistent à la dégradation microbienne.

C'est là un mécanisme de régulation du bilan humique qui tend à ajuster le catabolisme de l'humus à la production relativement faible de résidus végétaux.

Des expériences d'incubation de sols, telles que KHA et DUCHAUFOR les ont conduites au laboratoire en reproduisant diverses modalités climatiques devraient fournir des informations fort utiles pour la compréhension de l'économie de l'humus sous climat méditerranéen.

En ce qui concerne la minéralisation de l'azote organique, l'accumulation d'azote minéral est favorisée par un dessèchement progressif du sol, qui, lorsque la concentration de la solution du sol en éléments métabolisables s'accroît, conduit d'abord — et dans la mesure des substrats carbonés énergétiques accessibles — à une forte immobilisation biologique de l'azote minéral qui s'exprime aussi par une poussée respiratoire.

Les résultats de BOTNER et de CALLEJA apportent des éléments concernant les principaux groupements végétaux de la série du chêne vert.

Notons encore l'effet de l'irrigation estivale sur l'activité microbienne sous climat méditerranéen: la phase de latence naturelle est interrompue, la deshumification l'emporte sur la synthèse et les sols soumis à ce régime voient leur teneur en humus diminuer considérablement.

Si l'activité microbienne sous climat méditerranéen est réglée essentiellement par le régime d'un été sec, l'influence de divers facteurs pourra être comprise par des comparaisons avec des climats sub-méditerranéens: trop secs, trop humides, précipitations réparties trop uniformément sur le cycle annuel, hiver trop froid ou des combinaisons de ces variantes.

Egalement le passage à la zone aride où le déficit hydrique devient limitant pour la couverture végétale, et celui au domaine atlantique peu contrasté ou au climat continental contrasté pourra compléter nos connaissances sur le bilan humique.

La nature chimique, la distribution et le métabolisme des pluviolésivats des premières précipitations serait utile à connaître dans ses répercussions sur l'effet rhizosphère et les activités microbiennes en général.

L'effet de la rosée sur les microbiocénoses méditerranéennes, en tant que facteur d'une modulation journalière des activités est probable. Le contenu

élevé en lipides: cires, huiles essentielles, terpènes, tanins solubles, phénols de la végétation méditerranéenne contrôle dans une certaine mesure la dynamique des activités métaboliques dans le soussysteme litière.

Cas des sols calcaires méditerranéens.

La dynamique de la matière organique dans les sols à complexe saturé est relativement bien connue: profil organique rapport C/N, degré de polymérisation des composés humiques.

— *sols isohumiques*: L'humus est floculé, même si Ca est lessivé. La matière organique fraîche minéralise vite, il y a synthèse d'acides humiques gris très polymérisés à forte affinité pour les alcalino-terreux (complexes). Il y a peu d'acides fulviques. L'humus est protégé par les argiles. L'alternance saisonnière accroît le degré de polymérisation, et conduit à des complexes stables à minéralisation lente.

Dans les sols rouges méditerranéens, le matière organique est du type *mull calcaique* dans le cas des sols fersiallitiques à réserve calcique, non lessivés. Sous pelouse, elle est peu abondante, mais répartie profondément dans le profil. Très bien minéralisée, elle consiste surtout en acides humiques très polymérisés. Sous forêt et garrigue, le profil organique est enrichi, le C/N plus élevé, les acides humiques plus abondants. La fraction humine est importante. La présence d'un complexe absorbant sursaturé en Ca conduit à une liaison faible d'une partie des composés humiques avec les argiles.

Dans les milieux secs et appauvris des horizons lessivés des sols fersiallitiques sans réserve calcique, la matière organique se décompose lentement, une importante fraction légère ($d < 1,75$) est accumulée. L'horizon humifère est superficiel. Il s'agit de *xéromoder* ou de *cryptomull* à minéralisation peu poussée, à faible proportion de composés humiques extractibles (de type acides fulviques). Dans les milieux neutres et en partie désaturés des cryptomulls, l'humine reste importante dans la fraction lourde, les composés extractibles sont fortement liés au fer et moins polymérisés qu'en mull calcaique.

Dans les milieux plus désaturés et plus acides des *xéromoders* la matière organique des fractions lourdes est encore fortement liée aux argiles, mais le degré de polymérisation des composés extractibles est très réduit.

La matière organique des sols fersiallitiques à réserve calcique brunifiés est un mull qui se rapproche de celui des sols calcimorphes (rendzines).

La matière organique des sols fersiallitiques à réserve calcique non brunifiés n'a pas été étudiée jusqu'ici.

Sous les pelouses de dégradation le profil est du type isohumique; ce serait le résultat de l'appauvrissement superficiel du profil organique d'anciens sols de forêts remplacés par des steppes. La matière organique humifiée est

moins polymérisée puisque les phases humides de la saison froide ne conduisent pas à des conditions d'anérobiose temporaire prononcée.

— *vertisols*: L'humification très poussée est due à la présence de montmorillonite et à l'alternance saisonnière. L'humus, très polymérisé, est stabilisé, les phases d'anaérobiose sont dues à un engorgement de surface.

— *Sols calcimagnésiques*. Ces sols intrazonaux sur roche mère calcaire sont caractérisés par un mull calcique. En présence de calcaire actif la minéralisation de la matière organique fraîche est rapide (accumulation de N nitrique). Il y a formation précoce d'un complexe argilo-humique floclé, stabilisé. La lignine évolue vite, elle est oxydée liée à l'argile (agrégats stables). Les humates calciques des rendzines minéralisent lentement; la nutrition azotée des plantes dépend donc de l'abondance *et* de la régularité de l'apport de matière organique fraîche.

Une fumure organique ne peut être envisagée qu'à faibles doses répétées, sinon les réserves azotées sont gaspillées par la décomposition accélérée des amendements. Il y a effet de « priming »: l'apport de matière organique labile mobilise les réserves humiques. Si l'excès de Ca conduit à la chlorose et à l'insolubilisation de P, l'humus agit comme un antidote: le pH est abaissé, la structure améliorée, le pouvoir absorbant accru et la nutrition minérale des végétaux plus efficace.

Dans le cas des sols bruns calcaires, sans calcaire actif; une forte immobilisation biologique de l'azote a lieu dans les composés humiques néoformés.

Cas des sols sodiques méditerranéens.

Très peu de résultats concernant la nature et l'évolution de la matière organique sont disponibles.

— *Solonchak, sol à complexe saturé par Ca*. Le calcium, absorbé préférentiellement (p. r. à Na) sature les colloïdes argilo-humiques. L'humus calcique est stabilisé, la structure grumeleuse assure une bonne aération.

— *sols à complexe saturé par le sodium*. En période sèche a lieu un retrait important, lors de chaque pluie un peu d'argile est dispersée et d'humate de sodium dissous et mobilisé.

Selon l'importance des précipitations on a soit une remontée de cet humate (sol à alcali, efflorescences ou croûtes noires), soit un entraînement dans les fissures (*solonetz*, alcali lessivé) ou encore, dans le cas de *soloths* à acidification superficielle, on assiste au développement d'un moder acide.

Dans l'ensemble on a des profils peu stables, défavorables à une évolution normale de la matière organique. Le gonflement, la dispersion et l'hydrolyse des argiles, le pH élevé qui en résulte et la destruction de la structure conduisent à un milieu asphyxiant (réduction du fer et du soufre).

Le dessalage des sols à alcali salé, où le complexe est floculé, aboutit à la dispersion et l'hydrolyse des argiles, le pH s'élève et l'on passe au Solonetz. De même, un apport de matière organique aggrave souvent la situation si un apport de gypse ne contribue pas simultanément à saturer le complexe par Ca. La réduction des sulfates en conditions d'engorgement de sols mal drainés, enrichis en matière organique (végétation halophile, algues, excréments racinaires) conduit en présence de fer à la formation de sulfure (FeS), inoffensif pour la végétation. En absence de fer, H₂S peut provoquer une mortalité élevée de plantes, même si sa présence est relativement fugace.

En résumé, les caractères suivants exercent un impact direct fondamental sur le bilan humique sous climat méditerranéen:

— l'alternance d'une saison humide fraîche avec un été sec et chaud conduit à une polymérisation marquée et à la stabilisation d'une fraction humique.

— la présence d'éléments bivalents contribue à la stabilisation par une floculation des colloïdes argilo-humiques.

— l'héritage du passé (influence anthropique), l'utilisation actuelle des sols.

Dans une optique de conservation des ressources, toute mesure contribuant au maintien d'un taux de colloïdes organiques en équilibre avec l'environnement climatique est à recommander (réserve énergétique, immobilisation biologique de l'azote, résistance à la dessiccation).

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- AHRENS, E., 1966 - *Untersuchung über biologische und chemische Veränderungen in Böden unter dem Einfluss verschiedener Standortbedingungen (Klimaversuch)*. Coll. Dynamik d. Böden lebens gemeinschaft. Viehweg, Ed., Braunschewelig.
- BEADLE, N. C. W., TCHAN, Y. T., 1955 - *N-économie in semi-arid plant communities*. Proc. Lin. Soc. N.S.W., 80 (368): 97-104; (377): 62-70.
- BIRCH, H. F., 1958 - *The effect of soil drying on humus decomposition and N-availability*. Plant and Soil, 10 (1): 9-31.
- BIRCH, H. F., 1959 - *Further observations on humus decomposition and nitrification*. Plant and Soil, 11, (3): 262-286.
- BIRCH, H. F., 1960 - *Nitrification in soils after different periods of dryness*. Plant and Soil, 12 (1): 81-96.

- BOQUEL, G., KAUFFMANN, J., 1963 - *Influence du thermopériodisme et de l'hygro-périodisme sur la formation de l'humus et l'activité des fixateurs d'azote aérobies libres dans la terre.* Cah. ORSTOM Pédol., Fr. 2: 5-7.
- BOTTNER, P., 1970 - *La matière organique des principaux types de sols sous l'étage bioclimatique du chêne vert dans le Midi de la France.* Science du Sol, 1: 3-18.
- BRYSSINE, I., 1968 - *Cellulolytic organisms in moroccan soils in relation to ecological conditions.* Ann. Inst. Pasteur, 115: 542-548.
- CALLEJA, M., 1969 - *Etude des activités biologiques du sol de trois groupements végétaux de la série du chêne vert: le Quercetum Ilicis, le Cocciferetum, le Brachypodium ramosi.* - a) *Dynamique des nitrates au cours de l'épreuve d'incubation.* Rev. Ecol. Biol. Sol, 5 (3): 427-443, 1968. - b) *Dynamique de l'activité globale et de la minéralisation du carbone.* Rev. Ecol. Biol. Sol, 6 (2): 195-207, 1969.
- DOMMERMUES, Y., 1962 - *Contribution à l'étude de la dynamique microbienne des sols en zone semi-aride et en zone tropicale sèche.* Ann. Agro., 13 (4): 265-324; 13 (9): 379-469.
- DOMMERMUES, Y., 1964 - *Etude de quelques facteurs influant sur le comportement de la microflore du sol au cours de la dessiccation.* Sci. Sol., 141-155.
- DOMMERMUES, U., 1964 - *Influence létale de la dessiccation sur la microflore.* 8. Congr. Intern. Sci. Sol, Bucarest III, (10): 627-635.
- DROBNIK, J., 1961 - *Primary oxidation of some organic compounds in remoistened air-dried soil.* Can. J. Microb., 7: 769-775.
- DROUINEAU, G., LEFEVRE, G., 1951 - *Economie de l'azote dans les sols calcaires sous climat méditerranéen.* II. Congr. mond. engrais chim., Rome.
- DROUINEAU, G., LEFEVRE, G., BLANC-AICARD, D., 1952 - *Estimation de la richesse des sols et N et aspects particuliers de ce problème dans la région méditerranéenne.* Sci. Sol., 1: 13-21.
- DROUINEAU, G., LEFEVRE, G., BLANC-AICARD, D., 1953 - *Minéralisation de l'N-organique du sol durant la saison sèche sous climat méditerranéen.* C.R. Acad. Sci., 236: 526.
- GOMEZ, M. R., MARQUES, 1967 - *The microflora of a red Mediterranean lime soil and the influence of the plant cover; effect of some gramineae.* Agro. Lusitana, 29 (3): 203-219.
- JANZEN, D. H., 1973 - *Tropical agroecosystems.* Science, 182: 1212-1219.
- KILLIAN CH., 1936 - *Etude sur la biologie des sols des Hauts-Plateaux algériens.* Ann. Agro., 6 (4): 595-614; (5): 702-722.
- KILLIAN CH., FEHER, D. - *Recherches sur la microbiologie des sols désertiques.* Encyclop. Biol., Lechevalier éd., Paris 21; 121 p.
- KILLIAN, CH., VARGUES, H., 1953 - *Etude microbiologique de quelques banquettes de restauration des sols en Algérie.* Bull. Soc. Hist. Nat. Afr., N. 44: 149-163.
- LEBEDANTZEV, A. N., 1924 - *Drying of soil, as one of the natural factors in maintaining soil fertility.* Soil Sci., 18: 419-447.
- LOZANO CALLE, J., 1968 - *Seasonal variations in the microbial populations of various wheat soils under dry and irrigated conditions. Effect of soil and environmental factors on microbiological activity.* An. Edafol. Agrobiol., 27: 835-855.
- LOUB, W., 1967 - *Investigations on the microbiology of Spanish soils.* An. Edafol. Agrobiol., 26: 975-1008.
- MULLER, C. H., DEL MORAL, R., 1966 - *Soil toxicity induced by terpenes from Salvia leucophylla.* Bull. Torrey Bot. Club, 93: 130-137.
- NGUYEN, KHA, DUCHAUFOUR, PH., 1969 - *Etude comparative de l'évolution de la matière organique du sol en conditions tempérées et tropicales.* Pédologie, 19 (1): 49-64.

- NGUYEN, KHA, DOMMERGUES, Y., 1970 - *Influence de l'hygrothermopériodisme sur la stabilité de la matière organique du sol mesurée par respirométrie*. Sci. Sol., 1: 53-62.
- ROBINSON, J. B. D., 1957 - *The critical relationship between soil moisture content in the region of the wilting point and the mineralization of natural soil*. N. J. agric. Sci., 49: 100.
- SASSON, A., 1967 - *Recherches écophysiologicalues sur la flore bactérienne de sols de régions arides du Maroc*. Trav. Inst. Scient. Chérif. et Fac. Sci., Bot. et Biol. Végét., 30, 231 p., Rabat.
- SCHAEFER, R., 1971 - *Microbial activity under seasonal conditions of drought in mediterranean climates*. Symp. IBP, structure and evolutionary convergence of ecosystems in mediterranean climates, Valdivia (Chile). Springer, éd.
- STEBAEVA, S. K., 1967 - *Pedobiologische Experimente mit ausgetauschten Bodenblöcken*. Pedobiol., 7: 172-191.
- STEUBING, L., 1960 - *Bodenökologische Untersuchungen in Trockerasen des westkroatischen Karstgebietes*. Oecol. Plant., 2 (1): 175-186.
- STEVENSON, I. L., 1956 - *Some observations on the microbial activity in remoistened air-dried soils*. Plant and Soil, 8 (2): 170-182.
- THALMANN, A., 1967 - *Ueber die mikrobielle Aktivität und ihre Beziehungen zu Fruchtbarkeitsmerkmalen einiger Ackerböden*. Dissert. Univ. Giessen, 227 p.
- VARGUES, H., 1952 - *Etude microbiologique de quelques sols sahariens en relation avec la présence d'Anabasis aretioide*. Proc. Int. Symp. on desert research, 318-324.
- VELASCO, F., 1966 - *Humification in forest soils under Quercus Ilex over calcareous and siliceous substrates*. An. Edafol. Agrobiol., 25: 697-706.
- VELASCO, F., 1969 - *Humification in degraded brown soils under Quercus Tozza Bosc*. An. Edafol. Agrobiol., 28: 613-618.