

Compte rendu du symposium sur les sols acides à sulfates

Wageningen (Pays-Bas) Août 1972

J. VIEILLEFON

Cette réunion, organisée sous la présidence du Professeur PONS, chef du « Department of Regional Soil Science » de l'Université d'Agriculture néerlandaise, groupait 86 participants d'une quinzaine de pays, dont 38 du pays invitant. Outre de nombreux pédologues, des chercheurs d'horizons très variés (agronomes, géologues, minéralogistes, chimistes, géomorphologues, ingénieurs, microbiologistes) vinrent augmenter l'intérêt de cette confrontation.

Les quatre jours de séances de travail furent alternées avec deux journées d'excursions dans les polders du Flevoland et les terrains holocènes situés entre Amsterdam et la frontière allemande.

Organisation des discussions

Pour un sujet aussi étroitement spécialisé que les sols sulfatés acides, les organisateurs n'avaient pas prévu moins de huit thèmes de débats, chacun d'eux comportant une introduction qui faisait le point des connaissances actuelles sur le sujet.

1. Formation et accumulation des sulfures : 81 références (D.T. RICKARD).
2. Genèse des sols acides à sulfates : 133 références (N. van BREEMEN).
3. Identification des sols acides à sulfates potentiels : 65 références (R. BRINKMAN, L.J. PONS).
4. Géomorphologie, cartographie et classification : 17 références (W. van der KEVIE).
5. Influence de l'acidité sur les échanges et la stabilité de la structure : 128 références (C.P. FRINK).

6. Effet de l'acidité sur l'assimilation et la physiologie des plantes et microorganismes : 71 références (L.H. RORISON).

7. Utilisation des sols acides à sulfates : 50 références (J.K. COULTER).

8. Mise en culture et amélioration.

A la suite de chaque introduction un sommaire des communications traitant du sujet (1) était suivi d'une discussion.

En annexe un représentant de la F.A.O. présentait une étude sur la répartition mondiale des sols acides à sulfates. Ces sols ont été observés, en bordure de la plupart des masses océaniques, entre 70° de latitude nord et 40° de latitude sud ; ils couvriraient plus de 10 millions d'hectares dans la zone intertropicale (A. KAWALEC), en particulier sur les côtes de l'Afrique de l'ouest et du golfe de Guinée, dans le sud-est asiatique et dans les guyanes.

La plupart des 30 communications présentées abordaient plusieurs des thèmes ci-dessus. La formule retenue permettait donc de présenter d'intéressantes synthèses et de les confronter, au cours des discussions, avec celles préalablement exposées en introduction, d'où une limitation de la durée des exposés et un intérêt accru des discussions.

Nous passerons en revue les principaux thèmes en soulignant les points les plus intéressants.

(1) Présenté par un rapporteur.

1. FORMATION ET ACCUMULATION DES SULFURES

Un des processus fondamentaux à l'origine de la genèse des sols acides à sulfates est sans conteste la formation et l'accumulation de sulfures de fer, en particulier de pyrite.

L'étude de ces sols doit donc commencer par l'étude des causes de cette accumulation ; là les préoccupations du pédologue rejoignent celles du sédimentologue et du géologue minier. La connaissance des conditions et des mécanismes de formation des divers sulfures de fer (pyrite, marcassite, mackinawite, greigite...) a fait ces dernières années de grands progrès, tant par les synthèses au laboratoire que par les contrôles in situ.

Ceci permet de déterminer ce que les spécialistes appellent le « matériau sulfureux potentiellement acide » (potentially acid sulfidic material), dont l'évolution, on dit aussi la maturation (ripening), conduit aux sols sulfatés acides typiques.

La convergence d'un certain nombre de critères : source de Fe et de S suffisantes, matière organique abondante favorisant en phase d'engorgement un milieu réducteur et la croissance des bactéries sulfato-réductrices, est nécessaire. Cette sulfato-réduction peut avoir comme conséquence la redistribution du calcaire sous l'action de l'irrigation, phénomène observé en Mésopotamie (HARDAN).

Certains auteurs (RICKARD) pensent qu'il n'est pas nécessaire que le milieu soit entièrement réducteur, la sulfato-réduction pouvant se produire au sein de micro-environnements réducteurs, en particulier à proximité des racines et des débris organiques (V. JACQ). Par ailleurs les bactéries sulfato-réductrices sont présentes dans la plupart des milieux ; à titre d'exemple, un millilitre d'eau interstitielle de sédiment en contient jusqu'à 10^9 .

Lorsque les conditions favorables sont réunies dans un milieu donné, les teneurs en pyrites semblent de valeur locale ou régionale. Si l'on ne tient pas compte des zones internes où les disponibilités en sulfates ou en matières organiques peuvent être le facteur limitant (ces zones ne représentant d'ailleurs qu'un très faible pourcentage des sols acides à sulfates), le seul facteur limitant de l'accumulation des pyrites dans les zones littorales est la disponibilité en fer réactif des sédiments. Ceci explique les fortes teneurs observées dans les mangroves tropicales (jusqu'à 5 % de S-pyrite), associées à des arrière-pays latéritiques ou ferrugineux, par rapport aux zones tempérées.

Tant dans les sols que dans la séquence géologique, le stade pyrite peut ne pas être atteint, et seul alors

s'accumule le mono sulfure noir. La transformation en pyrite serait de forme logarithmique (RICKARD), 80 % du fer réactif pouvant être pyritisé en 10 ans. Une proportion variable, suivant la taille des grains d'oxydes de fer, donc suivant la taille des particules minérales sur lesquelles ils sont adsorbés, du fer extractible par HCl, serait susceptible d'être pyritisée.

2. PROCESSUS PÉDOGÉNÉTIQUES DANS LES SOLS SULFATÉS ACIDES

Dans son introduction N. van BREEMEN insiste sur le fait que l'alcalinité du milieu littoral doit disparaître pour que les sulfures s'accumulent ; le milieu doit donc être ouvert pour le départ des ions HCO_3^- dissous.

A partir des sols sulfatés acides *potentiels* éventuellement formés dans la phase précédente, il faut étudier les processus liés à l'oxydation des composés réduits du soufre. Ce phénomène est générateur de SO_4H_2 , donc d'acidité et s'autoaccélère car la pyrite s'oxyde d'autant mieux que le milieu est acide. La contribution de certains microorganismes (*Thiobacillus ferrooxydans* et *thiooxydans*) au rendement de la réaction, est fondamentale.

L'approfondissement de la zone d'oxydation dans les profils est tributaire des possibilités de drainage et d'aération, pour l'oxydation du fer ferreux, et donc du régime hydrique des sols. Au-dessous de la zone de battement de la nappe il n'y a pratiquement pas d'oxydation, ce qui ne signifie pas pour autant que le pH reste neutre, car les solutions acides diffusent en profondeur.

L'oxydation de la pyrite ne s'arrête pas à la production d'acide, mais conduit souvent à une stabilisation du pH, aux environs de 4, grâce à la formation de sulfates dits « basiques » comme la jarosite ($\text{KFe}_3(\text{SO}_4)_2(\text{OH})_6$), ainsi que de gypse si la réserve calcique est suffisante. On voit tout l'intérêt de connaître les réserves du sol en éléments neutralisants (calcaire, minéraux altérables, ions adsorbés sur le complexe, etc.)

Il semble ainsi que l'équilibre montmorillonite-kaolinite, en présence de silice amorphe, ait lui aussi une action tampon sur le pH entre 3 et 4 (Van BREEMEN).

On doit aussi tenir compte de l'action lessivante du climat, due aux fortes pluies tropicales, ce qui peut permettre de renverser, au moins momentanément, l'équilibre, et en présence d'ions bivalents apportés par l'eau des fortes marées, provoquer la genèse de minéraux de type gonflant (VIEILLEFON).

Diverses études ont montré que les conditions d'oxydation au laboratoire (séchage à l'air généralement)

ne sont pas conformes à ce qui se passe in situ, et ne permettent pas l'établissement des équilibres cités ci-dessus. Ceci explique les pH extrêmement bas mesurés sur les échantillons séchés de sols « potentiellement » acides, c'est-à-dire riches en composés réduits du soufre, sauf si le séchage est accéléré (GRANT).

L'agression acide ne se limiterait pas à la dissolution des carbonates et à l'attaque des minéraux argileux, mais pourrait atteindre les quartz (VIEILLEFON).

Du point de vue morphologique un sol sulfaté acide typique présente 3 horizons principaux, en partant de la base (plus ou moins arbitrairement définie) :

— un horizon réduit, de couleur généralement foncée, gris foncé à bleu-noir, riche en sulfures de fer, parfois surmonté d'un horizon à monosulfure SFe (GRANT),

— un horizon riche en jarosite, marbré de jaune, et au-dessus,

— un horizon plus ou moins épais suivant la durée de la pédogenèse, où la jarosite a disparu par hydrolyse et où le fer est marqué par des taches rouges plus ou moins indurées, dans une matrice de teinte claire. Parfois un horizon nettement rouge se différencie entre les précédents (ALLBROOK).

Si les distinctions ci-dessus sont presque universellement reconnues, l'accord est loin d'être fait sur la désignation des horizons. Eu égard sans doute à la jeunesse de la plupart de ces sols, de nombreux auteurs hésitent à employer des désignations habituelles, en particulier pour un horizon B (excepté DRIESSEN). Aux Pays-Bas, par exemple, les profils sont qualifiés A₁/Cg/G ou A₁/Dg/Cg/G, suivant l'épaisseur de tourbe recouvrant les sédiments (Van WALLENBORG).

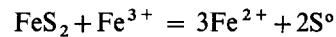
A part l'horizon franchement rouge qui ne semble pas avoir été observé sous climat tempéré, le reste de la séquence est identique sous les différents climats où existent des sols sulfatés acides.

L'acidification ne semble pas directement liée à la teneur totale en soufre réduit (GRANT, ALLBROOK), mais plutôt à la topographie, comme cela a été observé en Thaïlande : l'accumulation des pyrites se fait préférentiellement dans les zones basses ; lors de l'oxydation, les zones hautes, pauvres en pyrite, ne sont pas acidifiées, non plus que les zones les plus basses, où le drainage naturel est peu efficace, et c'est dans la zone intermédiaire que les sols sont les plus acides (Van BREEMEN).

A mesure que l'horizon riche en jarosite s'approfondit, le pH remonte dans les horizons supérieurs, et ceci assez rapidement, ainsi qu'en témoigne l'étude

des sols sulfatés du Wieringermeerpolder après 40 ans de drainage (VERHOVEN).

L'action spécifique des bactéries sulfo-oxydantes a été étudiée (BALDENSPERGER, BLOOMFIELD) ; indépendamment de l'oxydation du soufre provenant des pyrites, un effet catalytique secondaire de *Thiobacillus ferrooxydans* agit sur la réaction :



L'une de ces études montre par ailleurs que le fer ferrique est fortement retenu par le sol, ce qui ne serait pas le cas s'il s'agissait d'une oxydation purement chimique, processus beaucoup plus lent.

L'étude de la composition de la solution du sol et de ses variations donne de précieuses indications pour la compréhension des processus en présence. On peut ainsi calculer le « facteur de concentration » d'un composé « X » par :

$$C_x = \frac{(\text{Cl}^-) \text{ eau de mer}}{(\text{Cl}) \text{ échantillon}} \times \frac{(\text{X}) \text{ échantillon}}{(\text{X}) \text{ eau de mer}}$$

— si C_x est supérieur à 1, il y a dissolution d'une phase solide contenant l'élément X

— si C_x est inférieur à 1, il y a soustraction de la solution, par exemple par précipitation (ANDRIESSE *et al.*).

Par exemple la sulfato-réduction entraîne $C_{\text{HCO}_3^-}$ sup. à 1, et C_{SO_4} inf. à 1.

Il est de même important de connaître l'évolution des caractères physico-chimiques (pH, Eh) de la solution (Van BREEMEN).

Notons enfin que le développement de sols sulfatés acides ne se limite pas aux sols argileux (cat-clays), mais aussi à des matériaux entièrement sableux ou organiques (cat-sands, cat-peats) dans lesquels les manifestations macromorphologiques sont moins évidentes et rendent donc leur diagnostic plus délicat (WESTERWELD & Van HOLST).

3. RECONNAISSANCE DES SOLS SULFATÉS ACIDES « POTENTIELS »

Deux problèmes se posent à propos de la cartographie de ces sols :

— d'une part identifier ces sols sur le terrain d'une façon aussi sûre que possible, à l'aide de tests de complexité limitée,

— d'autre part estimer l'impact que pourront avoir sur ces sols les types d'aménagement économiquement envisageables.

Dans le premier cas différents critères ont été utilisés :

1) l'aspect sédimentologique (voir plus haut) permet d'escompter l'existence de tels sols,

2) la géomorphologie et la végétation peuvent également donner des indications, nous y reviendrons plus loin,

3) la morphologie des profils, en particulier la couleur des horizons et des taches, peut renseigner sur le type d'évolution subi par le sol mais certaines taches, comme les amas de jarosite, peuvent subsister alors que le sol n'est plus acide ; elles ne peuvent donc être à elles seules des indications sûres de l'acidité.

Certains auteurs estiment qu'une teinte verte de l'horizon réduit attesterait la présence de minéraux susceptibles de neutraliser l'acidité produite par l'oxydation des pyrites, mais ceci est contesté (BLOOMFIELD).

La consistance pâteuse, dite « de beurre », a été utilisée, de même que la richesse en matériel fibreux, ainsi que l'odeur de SH_2 qui se dégage parfois dans certains sols, mais cette dernière observation est loin d'être quantitative.

A propos des tests, le plus couramment utilisé est la baisse de pH consécutive au séchage du sol, ou à l'action de l'eau oxygénée. Certains considèrent ainsi que si le pH obtenu est supérieur à 4,5 il n'y aurait pas de risques, un faible risque entre 4,5 et 3,5, un plus considérable si le pH est inférieur à 3,5 (ANDRIESSE *et al*). Cependant les valeurs ainsi obtenues sont souvent inférieures à celles que prend le sol lui-même par suite de l'oxydation naturelle (Van BREEMEN). Par ailleurs ce test ne rend pas compte de l'action d'éléments neutralisants à action plus lente que le carbonate de calcium. Le pH du sol séché dans une solution de CaCl_2 M/100 a été utilisé par certains (ALLBROOK).

Lors des prospections à grande échelle en vue d'un aménagement, plus de précisions sont nécessaires. Le pouvoir neutralisant du sol peut être estimé par la différence entre les teneurs en ion Ca^{++} et en SO_4^{--} correspondant au soufre sous forme réduite. Pour obtenir après oxydation un pH voisin de 5 il faut que $(\text{Ca}-\text{SO}_4)$ soit supérieur à 50 mé/100 g (WESTERWELD & Van HOLST).

La mesure de la teneur en S réduit peut être soit directe, par comptage microscopique des pyrites (PONS) ou par diverses méthodes chimiques, soit in-

directe, par la relation parfois observée avec la teneur en matière organique du sédiment, ou par la mesure d'un pouvoir réducteur (méthode Walkley-Black).

Notons enfin la possibilité d'employer une méthode respirométrique pour tester l'activité oxydante de la microfaune du sol, donc l'acidification potentielle (BALDENSPERGER).

En conclusion, on peut dire que l'ensemble des interventions a montré que l'on ne dispose pas encore de test indiscutable pour reconnaître des sols sulfatés acides potentiels, sauf parfois à une échelle locale. Il est de même souvent nécessaire de faire intervenir l'action éventuelle de facteurs internes (richesse en éléments neutralisants à effet plus ou moins rapide, structure) ou externes au sol (caractéristiques lessivantes du climat) pour juger des potentialités culturales de ces sols.

4. FACTEURS DE PÉDOGENÈSE ET CLASSIFICATION

Une communication sur deux traitait des caractères morphologiques et de la répartition des sols sulfatés acides actuels et potentiels dans différents pays, tempérés ou tropicaux, le plus souvent littoraux (Pays Bas, Allemagne, Malaisie, Indonésie, Thaïlande, Chine, Brésil, Sénégal), parfois continentaux (Pays-Bas, Allemagne).

En région littorale inter-tropicale, la répartition des sols se fait selon deux types de séquences :

— une séquence *équatoriale*, où à la mangrove de front de mer, souvent peu riche en pyrites, succède une forêt marécageuse, susceptible d'assez fortes accumulations de tourbe et d'enrichissement secondaire important en sulfures. C'est le cas en Malaisie et en Indonésie (ANDRIESSE *et al*), comme dans les Guyanes.

— une séquence *tropicale*, où la mangrove se différencie en plusieurs ceintures plus ou moins monospécifiques, et est suivie vers l'intérieur par des zones à halophytes plus ou moins clairsemées. C'est le cas en Thaïlande (Van BREEMEN *et al*, Van der KEVIE) et au Sénégal (VIEILLEFON).

On rencontre le plus souvent ces sols dans les zones d'estuaires envasés et de deltas et dans les zones littorales associées, ou, plus schématiquement, dans une grande partie de l'espace intertidal situé entre haute et basse mer (500 000 hectares dans le nord de Bornéo par exemple).

Il s'agit le plus souvent de sédiments récents vaseux, parfois protégés par des dunes ou des cordons littoraux (Brésil, Sénégal).

Les caractéristiques climatiques jouent un rôle non seulement sur la morphologie et la répartition de la végétation, mais encore sur le sens et la vitesse de la pédogenèse en conditions naturelles. En particulier la durée et l'intensité de la saison sèche a une action déterminante sur l'approfondissement de la différenciation des profils.

La composition du matériel sédimentaire a aussi son importance, mais, toutes choses égales par ailleurs, c'est finalement le facteur temps qui semble déterminant, et dans la plupart des cas, ce sont des *chronoséquences* qui commandent la répartition des sols de degré d'évolution variés.

L'accumulation des pyrites est dans une certaine mesure le reflet de certains types de végétation : mangroves et marais à *Nipa* ou *Typha* en zone intertropicale, marais saumâtres en région tempérée.

Cependant, malgré cette grande variabilité au point de vue climatique, sédimentaire, végétal et géomorphologique, il est surprenant de constater combien le développement et la morphologie des profils sont similaires.

A propos de la classification de ces sols, de nombreux problèmes subsistent. C'est ainsi que parfois sols sulfatés acides actuels et potentiels se trouvent groupés au niveau de la famille (Brésil), alors que selon la classification américaine ils sont séparés en deux unités largement supérieures, Sulfaquepts et Sulfaquents. Par ailleurs, les limites entre ces deux grands groupes et les sols voisins ne sont pas universellement admises.

Bien qu'un des principaux objectifs de ce symposium ait justement été de clarifier cette question, peu de progrès ont été constatés. Cependant un effort sérieux a été fait afin de définir avec précision les types de *matériau* (soil material) caractérisant soit un sol sulfaté acide potentiel, soit un sol sulfaté acide s.s., soit un « para » sol sulfaté acide (dans le cas où l'acidité produite peut être subséquentement neutralisée, soit grâce à la présence d'agents neutralisants actifs soit grâce au caractère lessivant du climat, etc.).

L'achèvement de cette tâche a été confié à un groupe de travail en vue de présenter des critères de détermination et définitions au futur Congrès de Moscou. Il aura au moins le mérite de faire un sort à quantité de dénominations, souvent vernaculaires, dont la confrontation est souvent malaisée. Et il faut saluer les efforts du Comité Organisateur du Symposium dans ce sens.

Notons que la nouvelle nomenclature recherchée se propose de tenir compte de critères valables tant pour une définition proprement pédologique de ces sols,

que pour l'estimation de leur valeur agronomique. C'est peut être une des raisons de la difficulté de cette tentative.

5. INFLUENCE DE L'ACIDITÉ SUR LES ÉCHANGES D'IONS ET LA STABILITÉ DE LA STRUCTURE DES SOLS SULFATÉS ACIDES, SUR L'ASSIMILATION ET LA PHYSIOLOGIE DES PLANTES ET MICROORGANISMES

L'aluminium, qui est le plus abondant des éléments métalliques dans la croûte terrestre, gouverne la plupart des propriétés des sols acides. Dans les sols sulfatés acides, l'oxydation des sulfures est une autre importante source d'acidité qui réagit sur les composés de Al.

Une approche de l'action de l'aluminium consiste donc à examiner son comportement, successivement, en solution aqueuse, dans une suspension argileuse et enfin dans les sols.

— *en solution aqueuse* : deux phénomènes peuvent être invoqués. Le premier est l'hydrolyse de l'ion Al^{3+} avec libération d'ions H^+ , mais elle ne serait valable qu'en milieu acide ou très dilué, un milieu basique entraînant la précipitation de $Al(OH)_3$. Le second est l'existence de diverses phases solides et espèces polynucléaires, de rapport OH/Al voisin de 2,5 comme la « basaluminite » $(Al_4(OH)_{10}SO_4 \cdot 5H_2O)$.

— *en suspension argileuse* : l'influence des argiles se traduit par la transformation rapide d'argile-H en argile-Al. L'hydrolyse serait plus intense qu'en solution aqueuse mais ce point est controversé. Les échanges entre Al et différents cations seraient contradictoires. En particulier, Al ne serait pas aussi fortement adsorbé que l'autoriserait sa valence (FRINCK). Les phases solides pourraient être adsorbées dans les silicates expansibles, entraînant une diminution de la capacité d'échange de l'argile, et par exemple pour la montmorillonite, une résistance à l'expansion sous l'action du glycérol ou à la rétraction par chauffage. La titration par une base d'une argile contenant à la fois H et Al montre une courbe à 3 ou 4 paliers, les derniers étant attribués aux composés aluminiques « basiques » ou à la décomposition des feuilletts. Par ailleurs les sels en solution peuvent restreindre les échanges.

— *dans les sols* : l'équilibre entre $Al(OH)_3$ dans la solution du sol et le sol lui-même est long à s'établir, et il n'y aurait pas de liaison directe avec le pH du sol. On observe en effet des précipitations d'hydroxydes Al plus ou moins amorphes, ainsi que des

complexes avec la matière organique (acides fulviques), ce qui jouerait un rôle dans la stabilité de la structure du sol et la dépendance de la capacité d'échange vis-à-vis du pH.

Au cours d'un traitement par le calcaire visant à la neutralisation d'un sol acide, trois types de réactions interviennent. Après neutralisation des ions H, survient, à pH voisin de 5, celle de Al échangeable et non échangeable, puis celle des sites libérés par les échanges sur le complexe. Ces deux dernières interviennent pour la détermination des quantités de calcaire nécessaires suivant que l'on veut simplement neutraliser les ions Al ou, plus complètement, ramener le pH du sol près de la neutralité. Le chaulage a ainsi pour effet d'augmenter la capacité d'échange, mais de rendre K moins assimilable.

Il y aurait en définitive peu d'Al échangeable mais beaucoup plus sous forme non échangeable.

Les conditions de l'existence d'Al entre les feuillets d'argile seraient : un pH modéré, peu de matière organique, de fréquentes alternances d'humidification et de dessiccation.

A propos des propriétés physiques des sols, Al semblerait jouer un rôle plus important que Fe sur l'aggrégation des argiles, et du fait de la formation de complexes avec la matière organique.

L'influence de l'acidité sur la croissance et la distribution des plantes se fait par la présence d'ions H, l'augmentation de la solubilité et de la toxicité de Al, Mn, Fe, la réduction de l'assimilabilité de P par la formation de phosphates d'alumine peu solubles, par certaines déficiences (Ca, Mg, K...).

A bas pH, la nitrification est affectée et la consommation d'azote ammoniacal produit de l'acidité.

La tolérance des plantes pour Al échangeable serait liée au pH mais influencée par les « balances » d'ions en présence. Al est absorbé par les racines et peut empêcher l'absorption de Ca vers pH 4. Il n'existe malheureusement pas d'isotope utilisable pour suivre Al dans le cycle sol-plante.

En conclusion si l'on observe des effets inhibiteurs dus aux ions H et Fe^{3+} à pH inférieur ou égal à 3,5, Al^{3+} intervient jusqu'à pH 5.

Des études sur des sols légèrement différents des sols sulfatés acides montrent que les métabolismes sont comparables (MEYER). Dans ces sols on observe une nette différence entre la capacité d'échange déterminée à pH 3,5 (tampon lactate Ca/HCl) et à pH 9,5 (tampon $CaCl_2$ /diéthanolamine/HCl), qui peut atteindre le facteur 30 ! La réaction est réversible entre ces li-

mites mais montre une certaine hystérésis. (GEBHARDT). La diminution de la capacité d'échange sous l'influence de l'acidification serait plutôt due à la création de charges positives sur le complexe que par le blocage de charges négatives par des hydroxydes d'alumine polynucléaires.

6. UTILISATION ET AMÉLIORATION DES SOLS SULFATÉS ACIDES

Là encore il n'existe pas de technique de portée générale et il convient de faire un choix en fonction du type de culture que l'on désire développer. On peut ainsi, soit garder le sol en conditions d'engorgement si l'on choisit la riziculture, soit le drainer plus ou moins complètement pour d'autres plantes.

Dans le premier cas on peut avoir soit beaucoup de fer ferreux en solution si cet élément est présent, soit une toxicité par H_2S s'il manque. Les essais réalisés en vases de végétation rendent mal compte des résultats prévisibles aux champs (COULTER).

Dans le second cas, l'acidification est le facteur défavorable mais il faut noter que de nombreuses plantes supportent des pH voisins de 4 (palmier à huile, cocotier, hévéa, bananier, ananas). Il suffit donc de limiter l'approfondissement de la zone d'oxydation, à 40 cm dans le cas de plantes annuelles, à 75 cm pour le palmier à huile en régularisant le niveau de la nappe.

Une étude de l'action de différents systèmes de drainage sur l'évolution du pH dans un polder montre que, suivant les cas, les effets prépondérants relèvent soit des antécédents végétaux (mangrove à *Rhizophora* ou *Avicennia*, marais à cypéracées), soit de la profondeur du drainage (BEYE).

L'amendement de ces sols par des apports de calcaire peut être prohibitif. Ainsi 150 tonnes par hectare ont été nécessaires dans les polders du Zuiderzée dans les deux premières années (VERHOVEN).

D'autre part une expérience intéressante (SCHELTEMA, BOONS) montre que si le drainage de sols argileux peut amener une diminution notable de la perméabilité, un traitement acide par HCl ou le sulfate d'aluminium peut renforcer la stabilité de la structure et augmenter les rendements en riziculture inondée. La formation de « pseudo » sols sulfatés acides serait donc bénéfique, et il ne serait en conséquence pas nécessaire de neutraliser complètement l'acidité des sols sulfatés acides actuels ou potentiels.

Manuscrit reçu au S.C.D. le 6 septembre 1973