

# TRAVAUX DES SECTIONS PEDOLOGIE ET AGROLOGIE

---

Bulletin n° 3 - 1957

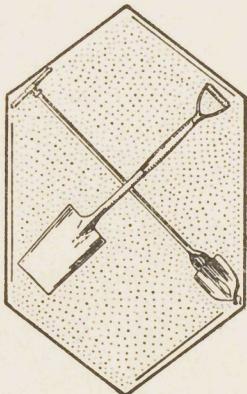
---

## Relations entre la Plante et le Sol dans les Rizières

---

par

J. BOULAIN  
Ingénieur agronome  
Docteur ès-Sciences



GOUVERNEMENT GENERAL DE L'ALGERIE  
DIRECTION DE L'HYDRAULIQUE ET DE L'EQUIPEMENT RURAL

---

ISRIC LIBRARY

DZ - 1957.04

04  
Wageningen  
The Netherlands

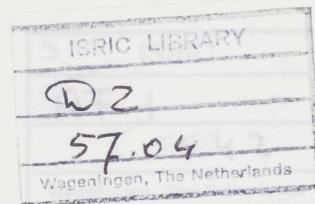
SERVICE DES ÉTUDES SCIENTIFIQUES

Agrologie N° 10  
Clairbols - BIRMANDREIS  
(Banlieue d'Alger)

1957

# TRAVAUX DES SECTIONS PEDOLOGIE ET AGROLOGIE

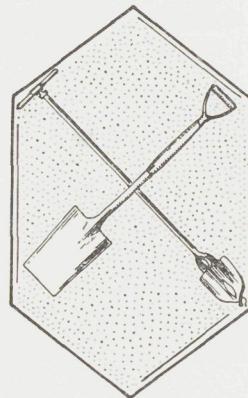
Bulletin n° 3 - 1957



## Relations entre la Plante et le Sol dans les Rizières

par

J. BOULAIN  
Ingénieur agronome  
Docteur ès-Sciences



GOUVERNEMENT GENERAL DE L'ALGERIE  
DIRECTION DE L'HYDRAULIQUE ET DE L'EQUIPEMENT RURAL

SERVICE DES ÉTUDES SCIENTIFIQUES

Agrologie N° 10

Clairbois - BIRMANDREIS

(Banlieue d'Alger)

1957

Les travaux des Sections Pédologie et Agrologie paraissent chaque année dans un Bulletin sous forme d'articles séparés. Les articles d'une année constituent un numéro du Bulletin

## RÉSUMÉ

L'étude des sols des rizières et tous les travaux concernant la nutrition du riz, doivent tenir compte du fait que des conditions d'oxydo-réduction très particulières s'établissent dans les sols inondés.

Un équilibre bio-chimico-physique s'établit dans les rizières, entre la plante, le sol et l'eau. Les rendements élevés de la culture du riz ne peuvent être obtenus que dans un intervalle de pH, de potentiels redox, de concentrations en substances solubles ou en ions qui a fait l'objet de recherches déjà précises. Dans le cas des sols salés, riches en sulfates et en calcaire, d'Algérie, il n'est pas possible d'utiliser les résultats des recherches entreprises pour des sols différents et des études originales sont en cours.

---

## SUMMARY

In the study about rice growing soils and in all the researches concerning rice nutrition, the fact that special oxidation-reduction process are observed in flooded soils, must be taken into account.

A bio-chemico-physical equilibrium between plant, soil and water is observed in rice growing grounds.

Rice crops show high rates only in a certain interval of pH, redox potentials, of soluble soils or ions concentrations, which has been already carefully studied.

In the case of Algeria Saline soils rich in sulphates and lime, it is impossible to use the results obtained for different soils. So special studies for the utilization of such particular soils are actually undertaken.

---

## ZUSAMMENFASSUNG

In das Studien auf Reisfeldboden und alle Forschungswerke über die Nahrung des Reis, sehr besondere Oxydation-Reduction Prozesse, die in die überströmenden Boden sich festsetzen, zu bemerken sind.

Ein bio-chemisches physisches Gleichgewicht sitzt sich in die Pflanze, den Boden und das Wasser fest. Höhe Einträchtigkeiten des Reisbaus können nur während eine sichere Zwischenheit von pH, Redox Spannungen, an lösliche Materien oder Ionen Konzentrierungen erhalten. Diese sind schon sehr streng gelernt. Für der salzige an Sulfaten und Kalksteinen reiche Algerien Boden ist es unmöglich die der über verschiedene Boden unternommene Nachsuchungen Ergebnisse zu benützen und ursprüngliche Forschungsarbeiten gültig sind.

---

# Relations entre la Plante et le Sol dans les Rizières

---

## I. — INTRODUCTION.

## II. — CARACTÈRES DES SOLS SUBMERGÉS.

### A) Evolution du sol des rizières.

1. — *Les rizières d'Oranie.*
2. — *Les expériences de M. PONNAMPERUNA.*
3. — *Les rizières sur Mangrove.*

### B) Caractères Physicochimiques des sols submergés.

## III. — RÉACTIONS DE LA PLANTE.

### A) Réactions physiologiques du riz.

### B) Actions de la plante sur le sol.

### C) Adaptation au milieu. Conséquences pour la culture.

## IV. — CONCLUSIONS.

### Bibliographie.

---

## I. — INTRODUCTION

La culture du riz fait vivre une grande partie de l'humanité et cette culture a traditionnellement lieu dans des sols submergés.

Il existe certes des variétés dites de montagne dont la submersion n'est pas obligatoire, mais on sait à quels travaux gigantesques se sont livrées certaines populations asiatiques pour construire des plans d'eau successifs qui permettent la culture sous l'eau.

Or, on s'aperçoit actuellement que les raisons exactes de cette pratique sont encore ignorées des Agronomes. Dans son traité sur les cultures tropicales qui date de 1955, R. CERIGHELLI (p. 38) signale que la submersion permet une lutte efficace contre les mauvaises herbes, qu'un autre avantage est de régulariser la température du sol et qu'enfin, d'après les auteurs russes (TKATCHENKO, 1950) la nappe d'eau qui recouvre le sol, en augmentant les différences de potentiel entre ce milieu et l'air aurait pour effet de favoriser la croissance de la plante (1).

On sait donc de façon indubitable que le riz pousse mieux et donne de meilleurs rendements dans des sols submergés. Les explications physiologiques du phénomène sont rares et récentes : on a parlé d'une meilleure assimilation du fer et de la silice (KANEKI, YOSHIDO, KAWASKI, VAN DE COOR, GREEN, LIN, SUBRAHAMANYAN et leurs collaborateurs). Quant à F.-N. PONNAMPERUNA qui a consacré sa thèse de doctorat à l'étude détaillée du problème, il rapporte cette pratique à la possibilité d'un meilleur ravitaillement de la plante en fer dans des sols recouverts par une lame d'eau.

D'autre part, tous les traités consacrés au riz et à sa culture indiquent que la plante peut subir au cours de sa croissance des crises physiologiques, qui sont de véritables maladies, parmi lesquelles on peut citer : la brusone en Italie, le falla en Espagne, le rost aux Etats-Unis, l'ama-mentek à Java, le Tiem en Indochine et l'imotsi au Japon ; le straight-head du Sud des Etats-Unis et le cadang-cadang des Philippines seraient aussi des maladies physiologiques dues à des carences, elles-mêmes en relation avec un état particulier du sol des rizières.

F.-N. PONNAMPERUNA signale que dans certaines de ses expériences, la plante avait des taches brunes, une coloration rougeâtre, des feuilles roussies et que la croissance des racines était limitée ; que ces symptômes sont ceux de la maladie du riz appelée « MENTEK » à JAVA, « PENYAKIT MERAH » à MALAYA et « MALADIE BRUNE » à CEYLAN (2).

Quant à l'AKIOCHI, c'est une maladie physiologique du riz décrite par DION (maladie d'automne au JAPON), les racines sont blanches et le cortex est détruit ; au début de la végétation, les plants sont beaux ; c'est en fin de cycle que le plant est attaqué. Cette maladie est confinée aux sols dégradés et elle a lieu à la fin de l'été.

On a de plus en plus tendance depuis quelques années à rapporter ces maladies physiologiques au chimisme très particulier des sols immergés, et on sait maintenant que la physiologie du riz a des caractères très particuliers.

(1) Par contre, les auteurs américains (CRALLEY et ADER, JENKINS et JONES, CHAMBLIS et JONES), attribuent le bienfait de la submersion à la disparition de la concurrence des mauvaises herbes. Mais les essais en serre qui permettent d'éliminer ce facteur montrent qu'une autre action est responsable de la préférence du riz pour les sols submergés.

(2) De même A. CHEVALIER signale (pp. 18-19)... « De graves maladies physiologiques... le « *Tiem* » physiologique d'Indochine. Le « straight-head » des Américains, la « Brusone nos parasitaire » de Baldacci en Italie. Souvent ces maladies... offrent un caractère pernicieux et causent des dégâts importants sur les récoltes, à la fois en quantité et qualité... (elles) sont souvent... le prélude d'affections cryptogamiques secondaires ».

## II. — CARACTÈRES GÉNÉRAUX DES SOLS SUBMERGÉS

Le régime chimique d'un sol submergé étant très spécial, il est normal de lui relier le bénéfice que le riz reçoit de l'établissement de la submersion.

En effet la submersion des rizières transforme profondément les conditions d'aération du sol, et permet l'établissement plus ou moins rapide dans le sol de potentiels d'oxydo-réduction très particuliers. C'est à DE GEE que nous sommes redevables des mesures les plus précises dans ce domaine.

Cet auteur a mesuré *in situ* le potentiel d'oxydo-réduction dans les rizières de JAVA et a publié le diagramme du eH en fonction de la profondeur à l'emplacement des plants de riz (fig. 1).

On savait d'ailleurs depuis les travaux de PEARSALE et de ses collaborateurs que les sols submergés possèdent un horizon oxydant de 1 à 2 cm. d'épaisseur immédiatement au contact de l'eau et que l'horizon sous-jacent est très réducteur ; vers 10 à 15 cm. de profondeur le rH<sup>2</sup> remonte progressivement vers des valeurs plus élevées.

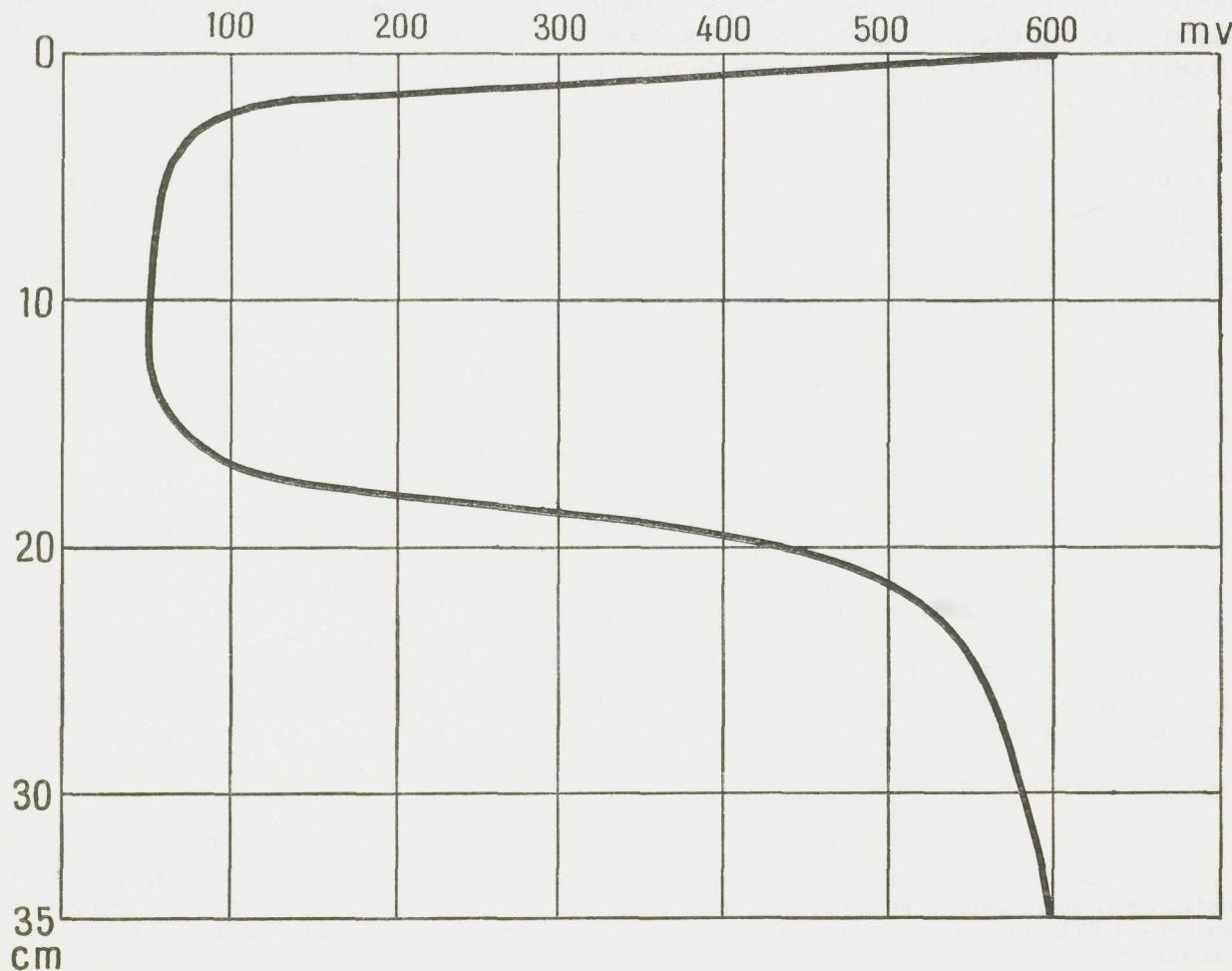


FIG. 1.

Variation du Eh en fonction de la profondeur dans un sol de rizière  
d'après DE GEE.

Donc chimiquement, la zone des racines dans un sol submergé est caractérisé par une faible tension d'oxygène, une forte concentration de  $\text{CO}_2$ , la présence de fortes quantités de fer et de manganèse réduits, l'absence virtuelle de nitrates et de sulfates, l'accumulation d'ammonium et la présence des produits de la décomposition anaérobique des matières organiques.

De plus, la solubilité de la silice et des phosphates augmentent quand le sol est submergé.

Sur le plan physico-chimique, il y a variation du pH et de conductance et diminution du potentiel redox.

Les caractères biologiques sont les suivants : disparition des champignons — développement des algues — suppression de la végétation mésophytique — fixation de l'azote par les algues.

Un équilibre complexe s'établit donc dans les rizières et des interactions ont lieu entre la plante et le sol. Nous avons eu l'occasion, en Oranie, d'étudier ces phénomènes. Ils ont d'autre part fait l'objet d'un travail spécial de F.-N. PONNAMPERUMA (1955) et d'une mise au point de R. GRAS (1956) en ce qui concerne les sols de Mangrove.

## A) EVOLUTION DES SOLS DES RIZIÈRES

### 1°) *Le Tiem dans les rizières d'Oranie.*

P. SIMONNEAU et nous-même avons signalé dans une note de Juillet 1953 que les riz du Bas CHÉLIF étaient atteints d'une maladie physiologique le « *TIEM* ». L'observation de base a été la suivante : dans certaines rizières, en 1952, et dans la plupart des rizières mises en eau en 1953 dans le CHÉLIF, on a constaté que, quelques semaines après la mise en eau, le riz traversait une période de souffrance dont les symptômes ont été décrits par P. SIMONNEAU : les extrémités des feuilles jaunissent, les tiges ne parviennent pas à se redresser, les racines sont noires (1).

#### Profil du sol des rizières atteintes par le « *Tiem* ».

Date 23 - 6 - 53 — Terre : Rizières CHAGNAUD à INKERMANN.

Profil du sol : (sous 10 cm. d'eau).

0 — 2 cm. : Boue jaune-beige ;

2 — 12 cm. : Boue grise noirâtre à odeur fétide ;

12 — 20 cm. : Boue jaune-brun inodore.

En remuant la couche noire, il se dégage de nombreuses bulles de gaz.

Les racines du riz qui se trouvent dans la couche 2 — 12 cm. sont noires. L'hypothèse de travail qui fut alors faite était qu'une couche réductrice s'était formée dans le sol (horizon 2 — 12) (2).

L'étude au laboratoire a confirmé l'origine physiologique de la maladie et a mis en évidence que sa cause doit être cherchée dans le sol.

(1) La bibliographie consultée ne permit alors que de donner un nom à cette maladie : en effet, un auteur marocain, M. RIEUF, avait décrit sous le nom de « *Tiem* » une réaction physiologique du riz dont les symptômes sont comparables à ceux qui ont été observés dans les rizières du CHÉLIF.

(2) Déjà en 1950 G. AUBERT signalait dans les sols du RHARB au MAROC, des phénomènes du même ordre « la submersion du sol nécessitée par cette culture (le riz) provoque, dès la première année, le développement de phénomènes réducteurs à la surface du sol ou à faible profondeur, et la dégradation de sa structure », et l'auteur ajoute en reliant cette évolution au type du sol que « la comparaison (des rizières) d'une part, sur les alluvions limono-argileuses très peu tirsifiées et d'autre part, sur les tirs gris... est frappante à cet égard ».

## **Etude au laboratoire d'un plan de riz atteint par le « Tiem ».**

Date : 22/27 Juin 1953.

### *a) Observation au microscope.*

En coupes longitudinales et transversales, l'observation des racines du riz permet les constatations suivantes : seules les assises périphériques, assise pilifère et assise subéreuse sont teintées en gris uniformément : le parenchyme cortical et le cylindre central sont normaux ; on peut vérifier ce fait en grattant avec l'ongle ces assises périphériques sur une racine.

On ne peut distinguer, même au plus fort grossissement, d'organites qui seraient responsables de cette couleur grise ; la maladie n'est donc pas une maladie cryptogamique mais probablement une réaction physiologique de la plante à un milieu défavorable.

### *b) Changement de milieu.*

Si on place des plants de riz atteints par le « *TIEM* » et déracinés, dans un verre d'eau ordinaire (eau du robinet à *RELIZANE*) on constate qu'au bout de 24 à 48 heures les racines ont repris leur couleur blanche ordinaire et que les symptômes de la maladie disparaissent

Il semble donc que le « *TIEM* » soit une réaction physiologique de la plante à des conditions de milieu défavorable. Ces conditions de milieu, l'évolution d'un échantillon conservé par hasard à *RELIZANE* permet de les préciser.

## **Evolution d'un échantillon de terre de rizières atteinte du « Tiem ».**

Date du prélèvement : 27/6/53. Lieu de prélèvement : rizières *CHAGNAUD* à *INKERMANN*.

L'échantillon a été prélevé en place dans un tube de verre  $4 \times 20$  cm., bouché aux deux bouts pour être transporté à *ALGER*, puis le tube débouché en haut a été laissé verticalement dans le laboratoire de *RELIZANE*.

Le 2/11/53 des fentes de retrait s'étaient produites tous les cm. environ ; sur 3 mm., en moyenne de part et d'autre de ces fentes, la terre avait repris sa couleur normale avec des traces plus ou moins rubéfiées. Au centre des mottes résiduelles, la couleur noire s'était maintenue avec des formes arrondies en face des fentes (figure n° 2). Le tube a été bouché hermétiquement aux deux bouts et conservé jusqu'au 21/4/54 dans le même état.

### **Conclusion.**

La réoxydation de la terre autour des fentes de retrait a fait disparaître la couleur noire qui est donc due à la formation de composés réducteurs.

La reconstitution du phénomène au laboratoire a d'ailleurs été possible.

### **Reconstitution de l'évolution du sol des rizières.**

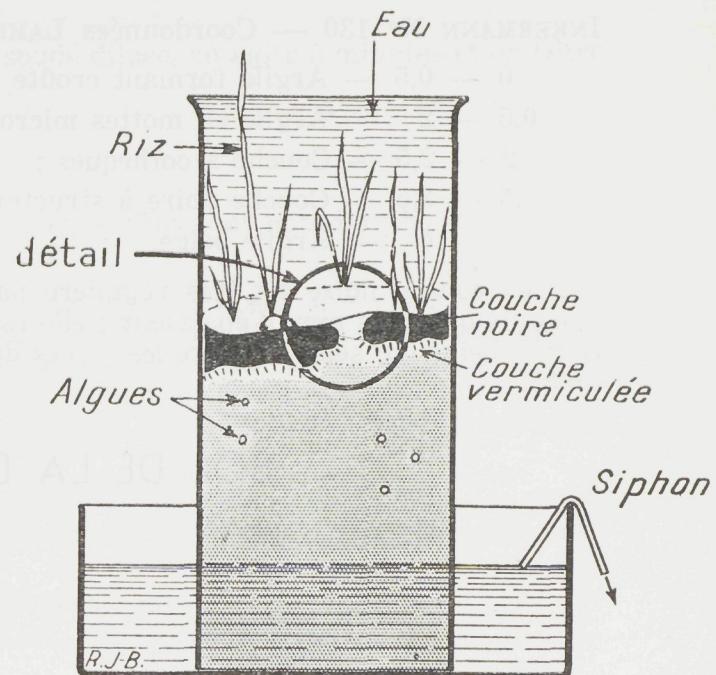
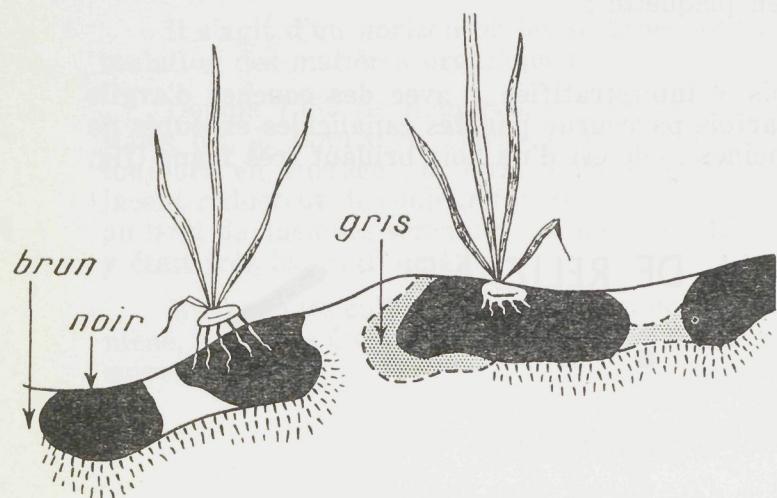
Mise en œuvre : Juillet 1953 — Terre : Terre du bois d'eucalyptus près du laboratoire de la Station d'*HAMADÉNA*.

*Dispositif* : Un bêcher de 30 cm. (figure n° 2) est rempli de terre à moitié ; une arrivée d'eau permanente est réalisée (débit approximatif 4 l./sec./hectare) l'eau est évacuée par trop plein et des grains de riz sont mis à germer.

On constate que la terre noircit surtout autour des grains de riz en cours de germination et qu'il se forme une couche noire comprise entre deux couches plus claires. L'épaisseur de cette couche noire n'a pas dépassé 2 cm. dans cette expérience alors qu'elle était de 10 cm. dans la rizières, mais il faut faire la part des différences de température et de luminosité entre la réalité et la reconstitution *in vitro*, ainsi que du débit de l'eau, très élevé dans notre expérience.

Enfin il existe dans la nature des sols qui présentent un horizon noir : ce sont les sols salés occupés par l'association à salicornes (sous association à *Salicornia fruticosa* de *SIMONNEAU* ou *Solontchaks* vifs hydromorphes).

## Reconstitution expérimentale du "Tiem"



Réoxydation  
d'un échantillon de l'horizon  
de "Tiem"

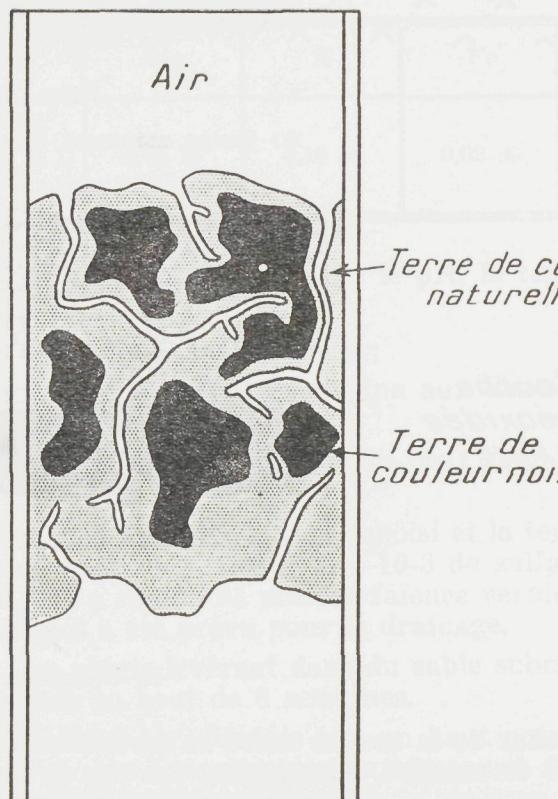


FIG. 2.

Tube de terre recueilli le 25 Juin 1954.  
2 Décembre 1954.

### Etude du sol de la daya de Relizane.

Date : le 2/6/54 — Végétation : Salicorniaie — Feuille de la carte au 1/50.000<sup>e</sup> de l'I.G.N.  
INKERMANN N° 130 — Coordonnées LAMBERT : X = 312.000 ; Y = 280.000 ; Z = 54 m.

- 0 — 0,5 — Argile formant croûte boursouflée beige ;
- 0,5 — 2 — Argile en mottes micro-polyédriques ;
- 2 — 2,5 — Couche à oothèques ;
- 2,5 — 3,5 — Couche noire à structure en plaquette ;
- 3,5 — 5 — Argile beige.

La couche noire est très régulière parfois « interstratifiée » avec des couches d'argile beige de quelques mm. d'épaisseur ; elle est parfois parcourue par des canalicules entourés de couche beige qui semblent être les traces de racines ; elle est d'un noir brillant très franc (fig. n° 3).

### SOL DE LA DAYA DE RELIZANE

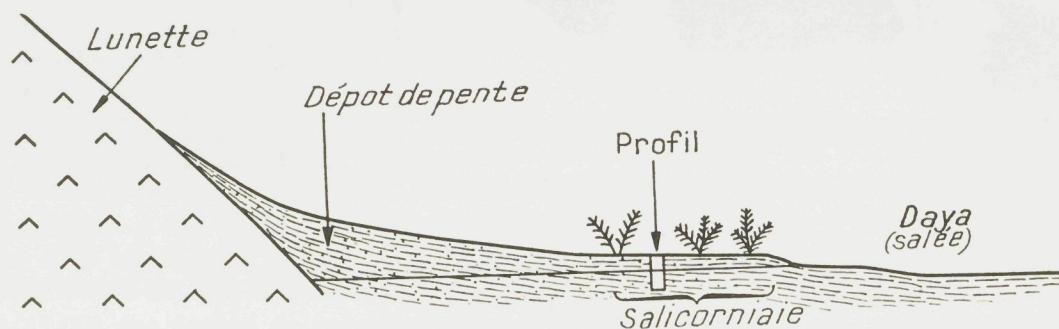
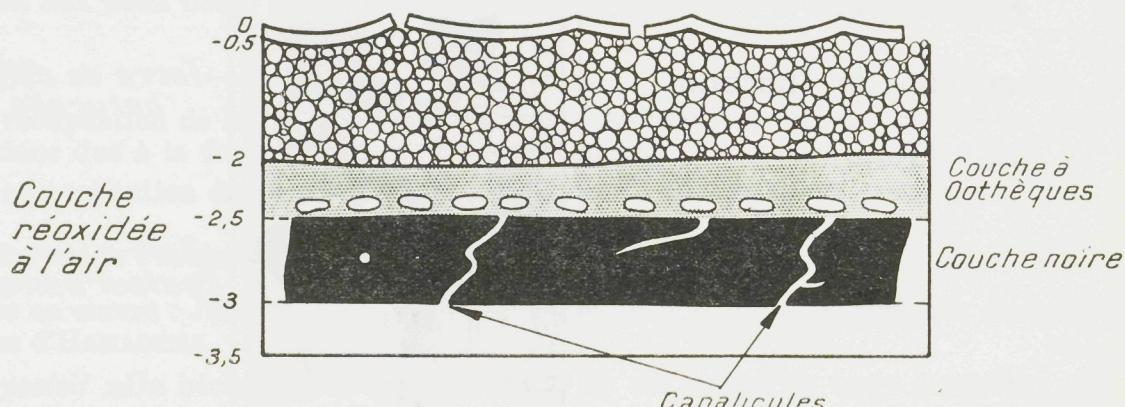


FIG. 3.

A) Coupe montrant la situation du profil.



B) Détail du profil.

Au-dessus de la couche noire se trouve un couche d'oothèques avec un mélange de quelques débris de matière organique.

a) *Mise en évidence des sulfures.*

Un morceau d'horizon noir bien décapé est mis dans un ballon avec de l'eau, on ajoute  $\text{SO}_4\text{H}_2$  et on distille dans une solution d'acétate de plomb ; celui-ci noircit et donne un précipité

abondant ; le résidu dans le ballon n'est plus noir mais beige avec quelques rares traces de matières organiques (débris divers).

b) *Etude des matières organiques.*

L'horizon noir est mis dans un ballon avec de la soude diluée, on agite 5 minutes et on filtre. Le filtrat est clair.

**Conclusion.**

Il s'agit d'un horizon où les sulfates sont réduits en sulfures, et non d'un horizon d'accumulation des matières organiques.

Depuis 1953 de nombreuses mesures ont été faites dans les sols des rizières d'INKERMANN (cf. J. BOULAIN, 1954 - 1955 - 1956), elles ont montré que les sols submergés avaient toujours en surface un horizon de 1 à 2 cm., oxydant, de couleur claire et horizon sous-jacent réducteur de couleur foncée ou noire, dont le pH tendait à s'équilibrer vers 6,95 — 7,10 ; au bout de quelques semaines des mesures de rH ont montré que le potentiel d'oxydo réduction y était très bas (rH° de 12).

Bien que les cultures souffrent beaucoup certains années (en 1953 et en 1956) de ce phénomène, il n'a pas été encore possible de le supprimer totalement et les essais aux champs se poursuivent.

## 2. — LES EXPÉRIENCES DE F.-N. PONNAMPERUNA

Le sol utilisé par cet auteur était uniquement du « Mardin Silt loam » dont les caractéristiques sont les suivantes :

pH	Mat. Org.	P	Ca	Mg	K	Fe	Al
4,85	3,05 %	0,0005 %	0,45 %	0,05 %	0,16 %	0,02 %	0,3 %

L'auteur a fait des expériences en faisant varier trois facteurs : le pH, la teneur en matières organiques, et le mode de submersion.

- le pH fut de 4,85, 5,7 et 6,0 (obtenus en ajoutant du calcaire) ;
- la matière organique fut ajoutée sous forme de paille d'avoine aux doses de 0, 0,2 ; 0,4 % ;
- le sol fut : soit humide et bien drainé, soit submergé et drainé, soit submergé et non drainé.

Le Mardin silt loam traité de façon appropriée pour avoir le pH choisi et la teneur en matières organiques voulue, a reçu un engrais de base de 1/1.000<sup>e</sup> de 5-10-5 de sulfate d'ammonium, triple superphosphate et chlorure de K. On a rempli 81 pots de faïence vernie de 13,65 l. à raison de 9 kgs environ par pot. Le fond du pot a été prévu pour le drainage.

La variété de riz utilisée fut le Zénith. Les plants levèrent dans du sable submergé contenant la solution de HOAGLAND et furent repiqués au bout de 6 semaines.

Dans ces expériences les sols bien drainés sont caractérisés par un haut potentiel redox, une faible conductance spécifique, un pH bas et une concentration extrêmement faible en fer et manganèse dans les solutions de sol. La croissance et le rendement du riz sont plus faibles que dans les sols submergés.

Dans ces sols bien drainés, le rendement diminue quand le pH augmente et ceci est en relation avec une diminution du fer soluble dans le réactif de Morgan. Les sols submergés avec

drainage ont des propriétés identiques, sans tenir compte du pH initial et de la hauteur en matières organiques.

Il y a une diminution rapide du potentiel redox et de la conductance spécifique, mais une augmentation du pH pendant les deux premières semaines après la submersion. Il y a simultanément augmentation du fer et du manganèse et disparition des nitrates, après quoi la concentration du fer dans les percolats se stabilise et celle du manganèse diminue avec le temps. La perte de fer en 110 jours correspond à 600 livres par acre et celle du manganèse à 70.

On constate l'uniformité des rendements quels que soient le pH et la teneur en matières organiques : le drainage doit avoir pour effet non pas de changer le redox mais de maintenir les concentrations en produits réduits à un taux acceptable.

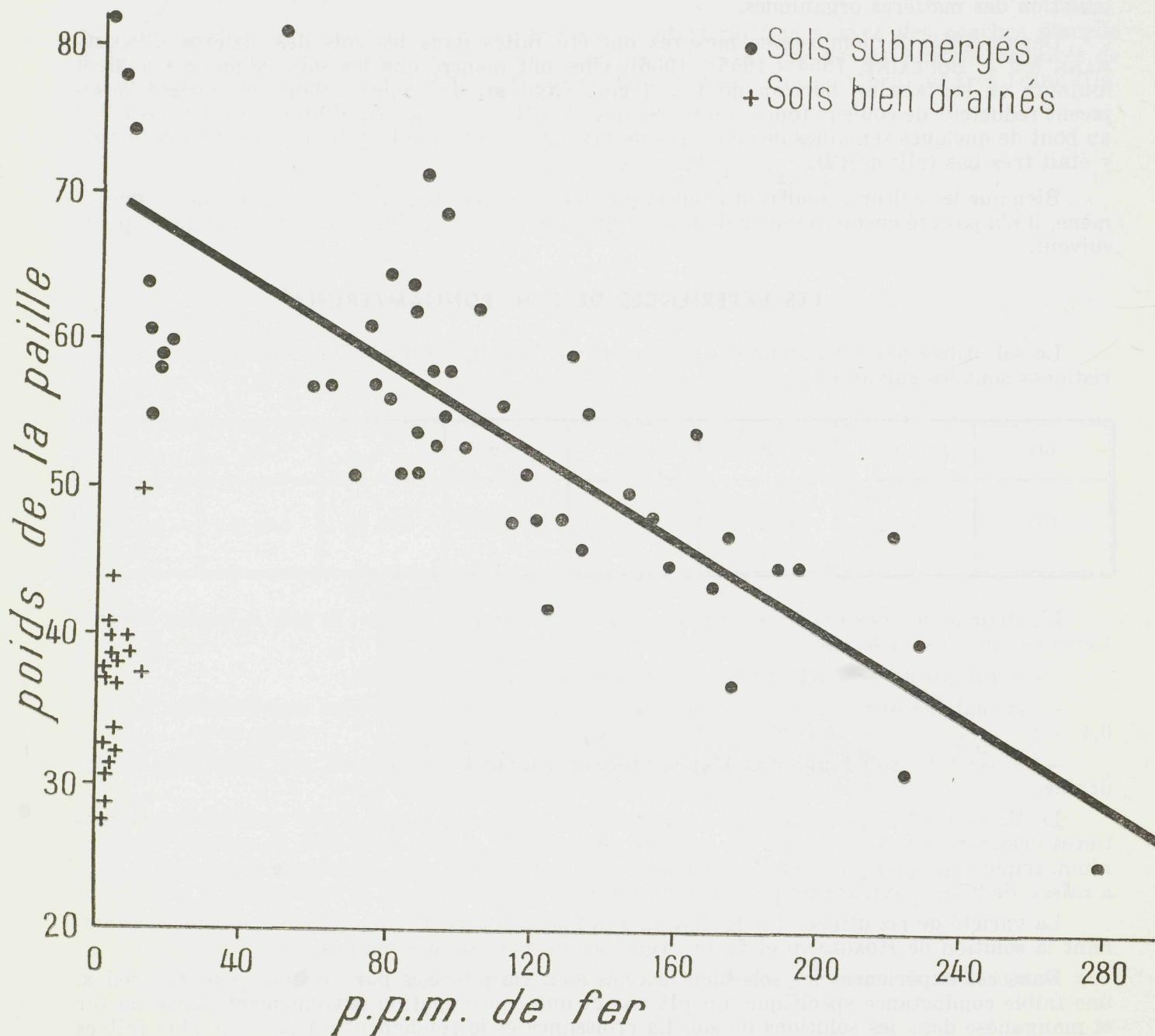


FIG. 4.

Corrélation entre la récolte et la teneur en fer du percolat au bout de 34 jours d'après PONNAMPERUNA.

Dans les sols submergés sans drainage, le pH et les teneurs en matières organiques ont une action très nette.

A pH 4,9, il y a une teneur en fer incroyablement élevée et une teneur en manganèse élevée durant la plus grande partie de la saison de la culture. Ceci est encore augmenté par la paille d'avoine (employée comme source de matières organiques par l'auteur). Mais la concentration du fer soluble dans l'eau n'a jamais dépassé 5 % du fer réduit.

Avec des hautes teneurs en paille d'avoine et des pH élevés il y a eu aussi des concentrations élevées de fer et de manganèse, mais les effets néfastes pour la plante ont été rapidement atténués. Les rendements ont été du même ordre que pour les sols submergés et drainés.

Les meilleurs rendements en paille et en grain furent obtenus avec des sols submergés, à pH 5,7 et 6 et sans paille d'avoine. Les sols étaient caractérisés par un potentiel redox élevé, une haute concentration en nitrates et de faibles concentrations en fer et en manganèse au bout de 4 semaines de submersion. Il s'agit apparemment d'une zone de réduction dans laquelle le riz ne souffre ni d'un excès de composés réduits ni d'une déficience en fer.

Dans des expériences subsidiaires, la plupart de ces observations ont été confirmées et certains autres points ont été élucidés.

On nota que l'influence défavorable de pH élevés fut largement éliminée par l'apport journalier au scl de faibles quantités de tetracetate d'éthylène diamine de fer et de sodium. Les symptômes d'une haute concentration en produits réduits ont encore été notés à pH 4,9 avec des sols non drainés.

Un apport de nitrate de soude a considérablement réduit la formation de ces produits réduits qui a été presque éliminée par le retard de la submersion à trente jours après la transplantation. L'effet toxique de l'existence initiale de produits réduits a été court à pH 6 et 6,9 sous les conditions climatiques favorables de l'expérience.

### 3. — LES RIZIÈRES SUR MANGROVE

Dans les sols de Mangrove des pays tropicaux des phénomènes de toxicité ont été observés sur le riz. Cette toxicité « est due à l'oxydation des sulfures de fer du sol en sulfates sous l'action du dessèchement et de l'aération du sol, avec comme corollaire une augmentation de l'acidité ». (R. GRAS, 1956).

Il s'agit d'ailleurs de sols acides où le pH peut atteindre 2,5. En Casamance, le pH, en 40 jours, passe de 5,2 à 3,5. Ces sols sont soumis à la submersion par la marée ; on a voulu améliorer cet état de chose en endiguant les mangroves et c'est alors que le dessèchement du sol a eu pour conséquence la baisse d'acidité (1). Il n'est pas économique de corriger le sol par chaufrage car il faut des doses de 40 T/Ha, ce qui est prohibitif en zone tropicale. Les sulfures de fer dont l'oxydation amène la baisse de pH proviendraient de l'action de l'hydrogène sulfuré dégagé par la décomposition anaérobique des racines de palétuviers sur les composés du fer. Il se forme du ferrisulfate  $Fe^{2+}(SO_4)^{2-}$  de couleur jaune blanchâtre qui, par hydrolyse, donne du ferri-sulfate basique  $Fe^{3+}(SO_4)^{2-}(OH)^-$  brun rouge et de l'acide sulfurique. Il peut se former aussi du sulfate d'aluminium et, par hydrolyse, de l'hydroxyde d'aluminium également toxique.

Dans ce cas, ce n'est plus le passage à l'état réduit qui est néfaste à la culture du riz ; mais, le pH étant différent et le milieu n'étant pas tamponné par le calcaire, c'est l'oxydation du sol qui est préjudiciable par les produits qui en sont la conséquence.

R. GRAS signale que les teneurs toxiques sont de 0,09 % pour le sulfate d'aluminium et de 0,1 % pour le ferro-sulfate, on admet d'autre part que la teneur de 3 % de Cl Na peut être supportée par le riz et les indigènes laissent volontiers pénétrer les eaux de la marée dans leurs rizières, mais cette pratique n'est possible qu'en bordure des marigots dont le débit d'eau douce est suffisamment important pour permettre la dilution de l'eau de mer.

(1) « La toxicité des sols de marais salés, due à l'oxydation des sulfures se manifeste aussi bien en zone tempérée ou froide (SUÈDE - FINLANDE) qu'en région tropicale (Sud de BORNÉO, MALAISIE, NIGÉRIA, SIERRA LÉONE, GUINÉE). Elle apparut en SIERRA LÉONE de façon spectaculaire lors de l'endiguement de la Station Rizicole de ROKUPR ; qui était auparavant soumise à la marée peu salée remontant la rivière. La stérilité des sols devint générale et l'ouverture des digues ramena la fertilité ». (R. GRAS, 1956).

## B) CARACTÈRES PHYSICO-CHIMIQUES DES SOLS SUBMERGÉS

### a) *Le pH.*

Les auteurs qui étudient des sols acides signalent tous une élévation de pH. Ces chiffres les plus récents sont d'après F.-N. PONNAMPERUNA ceux de REED et STURGIS qui indiquent que 18 semaines après la mise en eau le pH passe de 5,00 à 6,55 et de 6,45 à 7,27, par contre lorsque le pH est basique, il y a une nette diminution. En fait le pH tend vers la neutralité ce qui peut être expliqué par la présence dans le sol d'ions  $\text{Fe}^{++}$ ,  $\text{Mn}^{++}$ ,  $\text{NH}_4^+$ . BRADEFIELD a montré d'ailleurs qu'en présence d'un excès de  $\text{Ca}^{++}$ , le pH baisse car la pression partielle de  $\text{CO}_2$  augmente, la concentration des ions  $\text{H}^+$  aussi et plus vite que celle des ions  $\text{Ca}^+$ .

### b) *Conductance spécifique.*

La submersion d'un sol entraîne une grande production de matières solubles et la conductivité de l'eau augmente (MORTIMER).

### c) *Le Potentiel redox.*

On trouvera dans l'article de J. DUPUIS (1952) une mise au point sur cette notion et sa signification dans le sol.

Il s'établit dans les sols submergés de bas potentiels d'oxydo-réduction et des modifications du pH qui en sont la conséquence.

Le premier caractère des sols submergés est donc la diminution de la teneur en oxygène ; le rapport entre les coefficients de diffusion de ce gaz dans l'air et dans l'eau étant de 104.

Le gaz des bulles du sol a été analysé par HARRISON et AIYER ; il contient de 15 à 75 % de méthane et de 10 à 95 % d'azote. Le  $\text{CO}_2$  de 1 à 20 % avec une moyenne de 5 %.

L'oxygène est généralement absent et l'hydrogène aussi, bien que sa teneur puisse atteindre 10 %.

Il faut souligner que l'origine de cette baisse de  $\text{rH}_2$  est essentiellement biologique. Les micro organismes et, dans une certaine proportion les racines du riz, en sont responsables (J. BOULAIN, 1954).

### d) *Réduction du fer.*

Les hydroxydes ferriques insolubles dans les sols bien drainés sont réduits et deviennent solubles ; le pouvoir fixateur de ces composés pour les phosphates diminue.

On est certain de l'origine microbiologique du phénomène (STARKEY et HALVARSON, IGNATIEFF, ALLISON et SCARSETH). ROBERTS a signalé 8 polymyxas. Mais le phénomène ne serait pas strictement microbien, les produits de la dégradation de la matière organique par les microbes seraient les agents de la réduction du fer (BLOOMFIELD).

Les sols submergés sont donc un milieu favorable à la réduction du fer, surtout si des matières organiques existent dans le milieu.

Les produits de la réduction sont progressivement insolubilisés sous forme de carbonate ferreux, de sulfure et d'hydroxyde ( $\text{pFe}^{++} = 2 \text{ pH} - 10,0$ ). Le  $\text{CO}_2$  peut précipiter le fer et en effet on trouve souvent de la sidérite dans les sols de marécage, ce qui confirme le point de vue théorique (1).

Le fer se fixerait en partie sur le complexe absorbant : il y aurait augmentation de K, Ca et Mg utilisables par les plantes mais aussi perte de ces éléments par drainage.

(1) Mais la formation de Fe est encore plus facile et en fait  $\text{H}_2\text{S}$  est rarement présent dans les sols si Fe y est (MORTIMER, MISRA, STARKEY, WICH, MITSUI, etc...) ce n'est que dans les sols dégradés dont Fe et Mn sont absents que le  $\text{H}_2\text{S}$  a une action préjudiciable au riz.

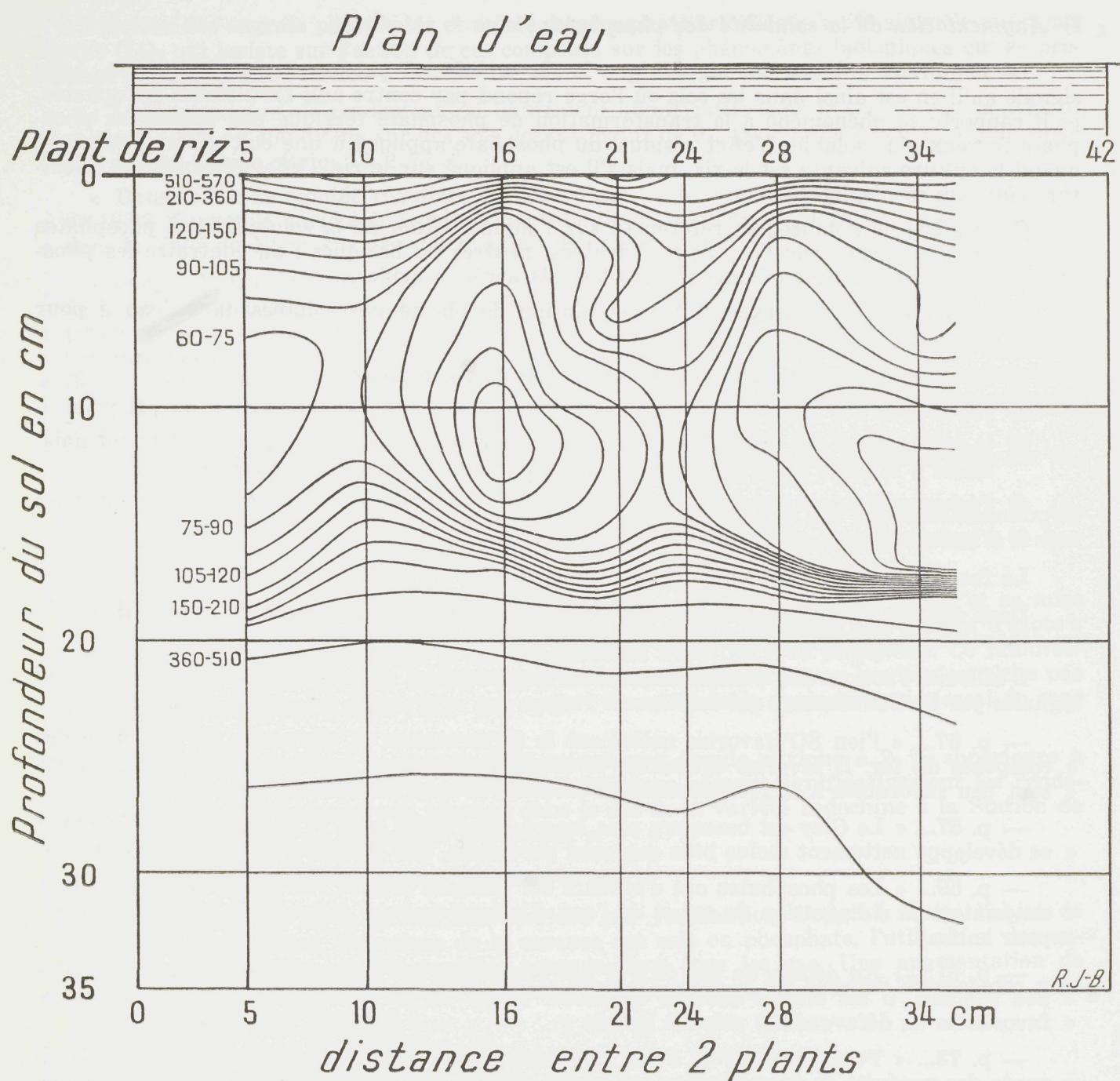


FIG. 5.

Lignes d'égal potentiel entre deux plants de riz  
d'après DE GEE.

e) *Réduction du manganèse.*

On constate les mêmes phénomènes que pour le fer avec des différences quantitatives (travaux de BETREMIEUX), l'augmentation de la teneur en matière organique du sol a un effet certain sur la mise en solution du manganèse. Même problème que pour le fer pour le mécanisme biologique ; l'effet semble indirect et l'agent serait la matière organique dégradée par l'action microbienne.

#### f) Augmentation de la solubilité des phosphates.

De nombreux auteurs ont signalé que le riz ne répond pas aux superphosphates. AOKI signale qu'il en est ainsi dans les sols où l'orge répond par contre aux fertilisants phosphatés, et il rapporte ce phénomène à la transformation de phosphate ferrique peu soluble en phosphate ferreux plus soluble. L'effet résiduel du phosphate appliqué à une culture est important quand la culture suivante est le riz, mais s'il est appliqué sur le riz, l'effet résiduel sur la culture suivante est négligeable.

On possède de nombreuses références sur l'augmentation de la solubilité des phosphates dans les sols engorgés par l'eau et mal drainés, neutres ou basiques ; au contraire les phosphates sont insolubilisés rapidement dans les sols aérés et acides.

D'après F.-N. PONNAMPERUMA l'augmentation de phosphates solubles dans l'eau a pour causes possibles :

- 1) la réduction du phosphate ferrique en phosphate ferreux ;
- 2) l'hydrolyse des phosphates ferriques et l'alumine due à l'augmentation du pH ;
- 3) le déplacement des phosphates  $Fe^{+++}$  et Al par des complexes organiques prenant naissance à la suite de la décomposition anaérobique de la matière organique ;
- 4) l'échange d'anions entre les phosphates absorbés sur l'argile et des anions organiques ;
- 5) l'hydratation de phosphates  $Fe^{+++}$  et Al.

Le facteur a) est probablement le plus important.

Dans des sols secs ou inondés, la solubilité des phosphates est minima entre les pH 5 et 7, en dehors de ces limites, elle est plus forte dans les sols submergés.

D'ailleurs l'action des phosphates, même peu solubles (phosphates tricalciques) a été signalée par R. BETREMIEUX qui écrit :

— p. 57... « l'ion  $SO_4^2-$  favorise nettement la fermentation et, par suite, la réduction des composés du fer. Il favorise également la migration du fer... tandis que les autres anions sont peu favorables à la fermentation et freinent la migration ».

— p. 57... « Le Gley est beaucoup plus long à apparaître avec le phosphate tricalcique et se développe nettement moins bien que sans phosphate, que le milieu soit calcaire ou non ».

— p. 59... « Les phosphates ont d'ailleurs été indiqués comme l'un des moyens à utiliser, conjointement à l'aération du sol et de l'eau d'irrigation pour prévenir la toxicité de  $Fe^{++}$  pour le riz ».

— p. 61... « En dehors du cas de  $PO_4^3-$  qui immobilise les éléments réduits en phosphates peu solubles, il est encore difficile de savoir quelle est la raison des actions des anions favorables ou défavorables suivant les cas ».

— p. 73... « Pour libérer  $P_2O_5$  d'une combinaison peu soluble, l'action simplement dissolvante des produits de fermentation est moins efficace que les processus de réduction biologique agissant sur les éléments réductibles immobilisant  $P_2O_5$  ».

De même C.-J. PIGGOTT (13) signale que, au SIERRA LEONE :

« Appliqués à n'importe quel type de marais (la savane de « Bouthe », la Mangrove, les marais de l'intérieur), des traitements au superphosphate de 45 à 55 kgs de  $P_2O_5$  à l'hectare produisent une augmentation considérable des rendements en riz ».

« L'application du phosphate à l'époque du semis se révèle, dans des essais préliminaires, presque aussi efficace que si elle était effectuée au moment du repiquage ».

« En 1953, on possédait les résultats de 147 essais différents. Le pourcentage d'augmentation du rendement est calculé pour chaque quantité de superphosphate appliquée et porté sur un graphique. La courbe moyenne des réponses pour toutes les expériences est de forme typiquement sigmoïdale, mais varie pour chacun des trois types de marais ».

L'action des engrais phosphatés et même du phosphate tricalcique a été signalée aussi par VEROT (14), qui insiste sur l'action de ces composés sur les phénomènes biologiques qui se produisent dans les sols de rizière :

« L'accroissement de rendement est hautement significatif, dans le cas de phosphate tricalcique à 200 ou 400 dg/ha sur des sols dosant moins de 0,1 pour mille d'acide phosphorique extrait par l'acide citrique à 2 % ».

« Dans le cas de montée régulière du plan d'eau, cette augmentation de rendement a été de 198,7 % avec la variété Indochine (moyenne de 5 parcelles en carré latin : 1.550 kg/ha) dans la Vallée du Niger sur des sols donnant des récoltes de 7 à 800 kg/ha en moyenne ».

« Dans la Vallée du Milo, où la montée du plan d'eau est rapide par suite des crues, l'apport de phosphate tricalcique à la dose de 200 kg/ha permet d'éviter la submersion et la disparition des plants (essais 1952 et 1953) : en 1952, le rendement moyen avec la variété Méréké sur parcelles ayant reçu 200 kgs de phosphate tricalcique, a été de 1.500 kg/ha en moyenne, (les parcelles n'ayant pas reçu de phosphate ont disparu). On note alors un rapport paille/grain très supérieur à 1 dans le cas de submersion importante et de variété Indochine et Méréké ».

« Le superphosphate, apportant les mêmes doses de P<sup>2</sup>O<sup>5</sup>/ha a eu le même effet sur les rendements que le phosphate tricalcique.

« L'analyse des parcelles ayant reçu une fumure phosphatée et des parcelles-témoins, ne donne pas des résultats différents, étant donné l'hétérogénéité du terrain, sauf pour la teneur en P<sup>2</sup>O<sup>5</sup> total dans le cas de la parcelle ayant reçu du phosphate tricalcique.

« L'apport du phosphate a probablement une action sur l'évolution de l'azote et sa mise à la disposition de la plante, car le jaunissement des plants indiquant une « faim d'azote » est faible ou n'apparaît pas dans le cas des parcelles ayant reçu du phosphate. Ce jaunissement apparaît 1 mois après le semis, l'apport d'azote en couverture au semis n'empêche pas ce jaunissement qui peut disparaître par apport d'azote 1 mois après le semis (essai de crue en 1953).

« Dans le cas de sols à teneur en P<sup>2</sup>O<sup>5</sup> extrait par l'acide citrique à 2 % supérieure à 0,1 % (0,2 à 0,5 %), l'apport de phosphate tricalcique accroît significativement les rendements : 149 % par rapport aux témoins dans le cas de la variété Indochine à la Station de Kankan avec 400 kg de phosphate tricalcique ».

De même on a signalé au SIERRA LEONE (15) que :

« L'augmentation de la production vivrière par l'utilisation d'engrais a été l'objet de nombreuses recherches. En raison de la carence des sols en phosphate, l'utilisation des engrais phosphatés s'est révélée rentable presque dans tous les cas. Une augmentation de 80 % du rendement est générale pour les rizières inondées et les cultures d'arachides avec 50 à 55 kg de P<sup>2</sup>O<sup>5</sup> à l'hectare ».

### g) Réduction des sulfates.

Les sulfures qui apparaissent dans un sol submergé au bout d'un certain temps, proviennent des sulfates. Les microbes anaérobies qui effectuent cette réduction sont peu nombreux, anaérobies stricts, et travaillent à des EH très bas. Ils sont actifs entre pH 5,5 et 8,5, leur énergie provient de la matière organique.



Les produits intermédiaires sont transitoires et le SH<sup>2</sup> est précipité en SFe sauf si le sol est très pauvre en Fe (JAPON) et alors c'est un poison pour le riz.

L'acidité réduit l'action de ces bactéries et dans les sols où il y a des phénomènes dus à la toxicité de H<sup>2</sup>S, on peut employer le sulfate d'ammoniaque en maintenant le pH à 5 — 5,5 ; le chaulage par contre est à prohiber.

POCHON et TCHAN ainsi que WINOGRADSKY ont surtout étudié les bactéries autotrophes qui utilisent les produits de réduction des sulfates, et n'ont pas abordé l'étude de l'évolution du sol.

Pour J.-M. DENT (8), la présence de sulfate de fer formé par réoxydation des sulfures de fer serait, elle aussi, nuisible.

#### h) Transformations de l'azote.

L'absence virtuelle des nitrates et l'accumulation de l'ammonium sont les phénomènes principaux.

La disparition des nitrates est surabondamment prouvée.

*Travaux de BROADBENT* : Une basse tension d'oxygène et une teneur élevée en matières organiques favorisent la dénitrification mais elle se produit aussi dans des sols bien aérés. Au-dessous de 4,5 % d'oxygène et sans addition de matières organiques, les nitrates disparaissent du sol et ils le font quelle que soit la teneur en oxygène si on ajoute du trèfle broyé.

B. DABIN a signalé au sujet des sols du Delta intérieur du NIGER (irrigués par l'office du NIGER) et au sujet de la culture du riz que : « lorsque le pH atteint la neutralité et la dé- « passe, c'est la vitesse de nitrification qui s'accroît le plus rapidement, une grande partie de « l'azote ammoniacal se trouve nitrifié (ceci à la surface du sol, dans l'horizon oxydant). »

« Dans le cas de sols argileux, la nitrification est plus lente, sauf si le pH est égal ou « supérieur à 7, auquel cas elle est très active ; en outre les nitrates formés s'accumulent à « faible profondeur dans un horizon réducteur et sont transformés en nitrites toxiques. Les « sols argileux pauvres en azote et à pH neutre (sols « Moursis ») sont infertiles en rizières, « l'apport d'azote ammoniacal améliore la fertilité à condition d'être enfoui en profondeur où « il ne peut nitrifier ». »

« En ce qui concerne les autres éléments de la fertilité chimique, le taux d'acide phospho-

« rique (extrait à l'acide nitrique pur) doit être tel que le rapport  $\frac{N \text{ total}}{P^2O^5 \text{ total}}$  soit inférieur

« à 4 ; au-dessous de cette valeur, le sol commence à souffrir d'un déséquilibre azote phosphore « et le rendement s'abaisse. En valeur absolue, le taux de  $P^2O^5$  total ne doit pas descendre au- « dessous de 0,1 %. »

Il faut d'ailleurs remarquer que les baisses de pH qui ont lieu dans les rizières, en surface, sont favorables à la solubilisation des phosphates tricalciques et que l'emploi de cette forme d'engrais phosphatés (qui sont de 2 à 3 fois moins chers que les super-phosphates) doit être recommandé et constitue à elle seule une forte économie.

La perte d'azote est très élevée quand une faible tension d'oxygène est combinée avec une haute teneur en matières organiques.

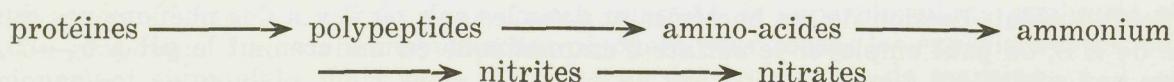
BROADBENT est arrivé à la conclusion que la dénitrification est influencée plus par la quantité de nitrates et de carbones oxydables dans le sol que par la pression partielle d'oxygène.

Des pH élevés favorisent la dénitrification.

En pratique, les nitrites ne s'accumulent pas dans le sol et certaines données à ce sujet doivent être rejetées comme erronées.

L'ammonium s'accumule dans les sols submergés (innombrables expériences de laboratoire, serre et champs).

Le processus d'évolution de l'azote est, dans les sols, le suivant :



Le phénomène de dégradation a lieu avec de grands changements dans les sols submergés mais il s'arrête à l'ammonisation : il y a accumulation des sels ammoniacaux dans l'horizon réduit.

L'ammonification est plus rapide à pH élevé, ce qui justifie la pratique des vieux fermiers japonais qui chaulent de préférence les terres à riz — la pratique de l'à-sec a été étudiée au JAPON où elle est très ancienne, elle peut correspondre soit à une stérilisation du sol soit à une augmentation du pouvoir ammonisant de celui-ci.

#### i) *Décomposition anaérobiose de la matière organique.*

Dans les sols gorgés d'eau, le niveau énergétique est bas et la décomposition de la matière organique se fait beaucoup plus lentement que dans les sols aérés (l'accumulation de la matière organique dans les sols de marais est une bonne illustration de ce fait), la vitesse de décomposition est surtout plus lente pour des matériaux riches en lignine (pailles, etc...).

Cette décomposition joue son rôle dans la mise en solution des phosphates, DEMOLON indique d'ailleurs que :

« en présence d'humate d'ammoniaque, un phosphate alcalin ne précipite pas en présence du bicarbonate de chaux, même par agitation. Dans les mêmes conditions, un phosphate de chaux naturel donne lieu à une solubilisation partielle de  $P_2O_5$  ».

« Les humates alcalins sont susceptibles de mobiliser partiellement les phosphates naturels et les réserves insolubles des sols ».

### III. — RÉACTIONS DE LA PLANTE.

#### A) **Réactions physiologiques du riz.**

La déficience en oxygène n'a pas d'effet *en soi* pour le riz, car les racines reçoivent leur oxygène des parties aériennes de la plante et ne dépendent pas de leur environnement pour leur ravitaillement. Par contre, une forte concentration de  $CO_2$  est toxique pour le riz. Heureusement, la concentration de  $CO_2$  dans les sols submergés n'atteint pas un niveau préjudiciable pour le riz ; sauf peut-être au début de la décomposition anaérobiose des matières organiques. L'augmentation de la solubilité de la silice et des phosphates est probablement favorable au développement du riz ; il en est de même de l'accumulation de l'ammonium lorsqu'elle est modérée. C'est probablement l'augmentation de la possibilité d'assimilation du fer qui est le point le plus important, car le riz a besoin de beaucoup plus de fer que la plupart des plantes cultivées.

##### a) *Déficience en oxygène.*

Le riz est capable de germer avec une très faible concentration en oxygène, et la croissance de la tigelle est favorisée tandis que celle de la racine est retardée.

Par rapport à l'orge, la diminution de la production de  $CO_2$  est moins rapide pour le riz lorsque la pression de l'oxygène diminue.

Le coefficient respiratoire ( $CO_2/O_2$ ) est de 1,40 pour l'orge, 3,86 pour le riz de montagne et de 4,50 pour le riz de plaine.

De nombreux auteurs ont conclu à l'existence d'une respiration anaérobiose du riz. La plus grande vitesse de croissance du coléoptile de riz sous l'eau a été rapportée à la difficulté que les tissus auraient à détruire l'acide indole-acétique lorsque la concentration de l'oxygène est faible. On sait que le riz ne germe pas si la semence est placée à plus de 1,5 pouce ; il a été possible de le faire germer après passage d'oxygène dans le sol.

Le système radiculaire du riz est assez particulier. Si le sol est submergé, le système radiculaire est court et la partie supérieure de la plante est longue, étroite, délicate ; si le riz est semé à sec et irrigué légèrement, le système radiculaire est étendu, bien ancré dans le sol et la tige est courte et vert foncé.

Sur un plant de 15 jours, le système radiculaire du riz a deux sortes de racines :

I. — des racines blanches, courtes, drues non ramifiées (qui ressemblent à des « bougies ») ;

II. — des racines longues minces, légèrement brunes, et très ramifiées — les premières sont dépourvues de lacunes aéifères, et elles se transforment en racines du deuxième type au bout de 6 semaines.

(Dans des essais de germination que nous avons fait au laboratoire, c'est toujours des racines du deuxième type que nous avons obtenues dans des boîtes de PETRI, donc en milieu aéré).

VAN RAALTE a réussi à analyser les gaz des espaces lacunaires de la racine de riz, il a trouvé :

	VARIETE I		VARIETE II	
	CO <sup>2</sup>	O <sup>2</sup>	CO <sup>2</sup>	O <sup>2</sup>
extrémité				
extrémité .....	4,7	2,1	1,9	8,1
milieu .....	6,9	4,9	3,2	8,4
base .....	6,1	9,0	2,8	14,0

La concentration de l'oxygène se maintient à un niveau du même ordre si le milieu est très réducteur. L'auteur a montré que cet oxygène vient de la tige en ligaturant la racine, ce qui diminue la teneur, et en coupant la tige, ce qui l'augmente ; mais si on scelle la section, la teneur en O<sup>2</sup> diminue.

Le même auteur montra que cet oxygène sert à oxyder le sol autour du plant de riz et permet de protéger le plant contre les effets de la réduction.

Il évalue la capacité d'oxydation d'un plant de riz âgé de deux mois à 1 — 3 mg par jour.

MITSUI a placé des plantules de riz venant d'une atmosphère réduite dans un milieu à l'agar contenant du leucométhylène — bleu, la couleur bleue fut visible au bout de quelques heures, tout le long des jeunes racines et à l'extrémité seulement des racines âgées.

MITSU, pense que la couleur brune des vieilles racines est due au dépôt d'oxyde ferrique car la diffusion de l'oxygène est retardée par la lignite et la subérine tandis que chez les jeunes racines ce dépôt se ferait plus loin dans le sol.

Le déficit d'oxygène en soi n'est pas préjudiciable au riz ; des concentrations normales ne sont pas non plus nuisibles (expériences de VLAMIS et DAVIS).

b) *Effet sur le riz d'un excès de CO<sup>2</sup>.*

A 30 % de CO<sup>2</sup> la culture est impossible même si tout le reste est de l'oxygène ; en moyenne il y a 1 à 20 % de CO<sup>2</sup> dans les sols à riz, mais la décomposition de la matière organique peut augmenter cette dose.

c) *Augmentation du pH.*

Dans des sols acides au départ, il n'y a probablement pas d'influence directe mais il a une répercussion sur la récolte par l'intermédiaire des phénomènes qui lui sont liés.

Un pH bas retarde la dénitritification, la réduction des sulfates et l'ammonification mais favorise l'accumulation des acides organiques.

Tous les auteurs japonais et de l'extrême Orient recommandent l'application de chaux sur les sols de rizières à pH bas.

d) *Effet d'un bas potentiel redox.*

Il y a peu de références — Un bas potentiel redox en soi peut ne pas avoir d'effet sur la croissance du riz, mais il a un effet préjudiciable par l'intermédiaire des substances dont l'existence est liée à sa réalisation.

e) *Augmentation de solubilité du fer et du manganèse dans les sols submergés.*

L'effet est dépressif à la longue quand les sols sont lessivés et que ces éléments s'accumulent dans des horizons profonds, au JAPON, 70 % des sols ont des déficiences en manganèse, particulièrement les sols sableux. On recommande des applications de 10 kg de  $\text{SO}_4^2-$  Mn par ha.

f) *Présence de sulfures.*

$\text{H}_2\text{S}$  est un inhibiteur des enzymes contenant du fer : cytochrome oxydase, catalase et peroxydase ; il est donc毒ique pour les plantes. S'il y a du fer, il se forme du sulfure de fer peu soluble et la concentration est faible ; le riz ne souffre pas. Mais si le fer est lessivé (sols sableux dégradés du JAPON appelés degraded paddy soils), il peut être nuisible.

Les concentrations nuisibles sont faibles :  $9 \times 10^{-6}$  molécules est déjà préjudiciable et  $6,3 \times 10^{-4}$  arrête la croissance. On a même montré (MITSUI) que des concentrations plus faibles sont nuisibles.

Quand le niveau de réduction du sol est assez élevé pour que  $\text{H}_2\text{S}$  se produise, la sensibilité du riz aux maladies cryptogamiques est alors élevée car il y a une déficience dans l'absorption de potassium et de silice.

On recommande alors d'éviter le sulfate d'ammonium, d'appliquer du fer aux sols et de drainer ceux-ci en maintenant un pH de 5 — 5,5.

g) *Augmentation de l'utilisation de la silice.*

Elle augmenterait le rendement en sec et surtout la résistance aux maladies.

h) *Les différentes formes de l'azote, dans les sols submergés et leurs rapports avec la croissance du riz.*

Il y a deux problèmes : mérites relatifs de  $\text{NO}_3^-$  et  $\text{NH}_4^+$  et toxicité de  $\text{NO}_2^-$ .

Après d'innombrables études depuis 1882 (KELLNER) — KELLY et plus récemment ANDERSON, la supériorité de l'ammonium découverte par KELLNER a été confirmée. En aucun cas cependant les nitrates n'ont eu un effet dépressif, et quelques auteurs à peine le prétendent supérieur aux engrains ammoniacaux.

On a invoqué :

1) les pertes par dénitrification et par lessivage ;

2) l'impossibilité pour le riz d'utiliser les nitrates directement. (KELLY, 1911) — en culture in vitro, le riz chlorose avec des nitrates comme seule source d'azote alors que les plants sont normaux avec des sels ammoniacaux ; mais on a montré que le riz peut utiliser les nitrates si la solution nutritive reste acide (GILE et CARERO et aussi BARTHOLEMEW).

Mais si les sels ammoniacaux sont plus efficaces pour le démarrage de la végétation du riz, il semble que les nitrates peuvent avoir une action bénéfique à la fin de la végétation.

Dans les deux cas, ce sont le sulfate et le nitrate d'ammonium qui donnent les meilleurs résultats.

DASTUR et KALYANI (p. 136) donnent l'explication suivante :

Dans une cellule jeune du tissu des racines, le pH du protoplasma est du côté alcalin du point isoélectrique et a une plus grande affinité pour les cations ; d'où la meilleure utilisation de l'ammonium. Dans les cellules vieilles, le pH change et se trouve du côté acide.

Par contre, on a montré récemment que le sulfate d'ammonium est toxique pour le riz (brûlure des pointes) et on a obtenu de meilleurs résultats avec des nitrates et des traces de Molybdenes. Pourtant, il ne semble pas que ces phénomènes soient importants dans des sols de culture.

*Le problème des nitrites* : La théorie de la toxicité a été avancée depuis longtemps par les japonais et par KELLY aux HAWAÏ, mais depuis peu, les Américains ont montré que des concentrations élevées de nitrites ne se rencontrent pas dans les sols et que le riz peut pousser in vitro avec des nitrites.

### B) Action de la plante sur le sol.

Y. COYAUD (6), citant TAKEY et MASHKOVSEV écrit dans son ouvrage sur le riz : (p. 42).

« TAKEI a montré que la croissance des racines est impossible quand il n'y a pas d'oxygène dans l'eau, elle est améliorée jusqu'à un optimum pour une teneur de 35 % pour le riz de plaine... pendant cette germination sous l'eau, les racines excrètent des quantités croissantes de matières organiques qui diminuent lorsque la tige atteint la surface, ces matières organiques excrétées constituent un bon milieu pour les micro-organismes (notamment Microspira Desulfuricans) qui gênent le développement des racines jusqu'au moment de l'apparition de la tige au-dessus de l'eau (MASHKOVSEV). Dans certains sols de rizières, la présence de Microspira Desulfuricans empêche le développement des racines des jeunes plants de riz : la suppression de ces bactéries par stérilisation) permet une végétation normale des plants ».

Bien que très peu d'auteurs en aient fait état, il semble bien que la rhizosphère du riz soit un milieu biologique très favorable à l'établissement de bas potentiels d'oxydo-réduction ; cela ressort de la reconstitution in vitro que nous avons faite du phénomène (fig. n° 2).

D'autre part, DE GEE a montré par des mesures précises de EH que celui-ci baisse plus à l'emplacement des plants de riz qu'entre ces plants (fig. n° 4).

Il semble donc que les produits du métabolisme des racines ait une influence sur la vitesse du phénomène d'établissement de conditions réductrices dans le sol.

### C) Adaptation au milieu — Conséquences pour la culture.

L'intérêt de la submersion semble donc être lié à l'augmentation du ravitaillement du riz en fer ; d'autre part, des maladies physiologiques du riz ont été décrites qui sont reliées à un excès de substances réduites. Il doit y avoir un intervalle favorable pour lequel la culture a un rendement maxima.

Cet intervalle doit être défini par le pH, la conductance spécifique, le potentiel redox, les concentrations en fer, manganèse, nitrates, nitrites, ammonium, et matières oxydables dans la solution du sol ; et aussi par les concentrations du fer et du manganèse dans les extraits Morgan du sol.

Pour F.-N. PONNAMPERUMA, les résultats de ses recherches suggèrent que :

I) un pH bas, une forte teneur en matières organiques et la complète absence de drainage ont pour conséquence une maladie physiologique du riz analogue à la maladie appelée « MENTEK » ;

II) ceci peut être corrigé par le drainage, le retard de la submersion et l'apport de nitrate de soude ;

III) un pH voisin de la neutralité, la présence de nitrates et l'absence de matières organiques combinées au drainage permet des rendements élevés ;

IV) un pH bas est favorable à la croissance du riz non submergé.

Il faut certainement ajouter que dans des sols tamponnés, riches en calcaires et en sels, des phénomènes physiologiques peuvent être enregistrés même avec des pH voisins de 7.

On doit pouvoir freiner l'action microbienne, peut-être par des produits ayant une action tonique sur la flore du sol (les Portugais ont eu de bons résultats, en sols calcaires avec du sulfate de cuivre).

On peut aussi chercher à sélectionner des variétés de riz qui seront mieux adaptées à ces conditions spéciales : en Oranie, c'est actuellement le balilla dont l'adaptation aux sols lourds est bien connue, qui a la préférence des riziculteurs, mais une sélection portant sur les caractères physiologiques pourrait être entreprise avec profit.

D'ailleurs les Botanistes ont constaté que seules quelques plantes étaient bien préadaptées au milieu spécial que constituent les rizières d'Oranie, et on peut citer parmi celles-ci *YPHA, ANGUSTIFOLIA, ssp. AUSTRALIS* et *MEDICAGO HISPIDA* var. *LAPPACEA* (*DUBUIS* et *SIMMONEAU*).

Parmi les moyens culturaux, il faut choisir tous ceux qui permettent au riz la vitesse de végétation maxima : prégermination, semis en surface, semis suffisamment tardif pour que la température soit suffisante, ou si possible repiquage et application d'engrais solubles.

Enfin, il faut tenir compte dans l'application des engrains de la réalisation d'horizons différents : les engrains ammoniacaux doivent être enterrés, la cianamide épandue à la surface pour qu'elle soit oxydée (1).

\*  
\*\*

## CONCLUSION

Le riz est une plante dont les racines peuvent assurer le ravitaillement dans un milieu réducteur. La submersion des rizières a pour conséquence l'organisation dans le sol inondé d'un profil très constant comportant un mince horizon de surface oxydant, un horizon sous-jacent réducteur et des horizons profonds dont le potentiel redox est plus élevé.

Le chimisme du sol est commandé par ce profil : la plante participe à son établissement par le métabolisme de ses racines. Elle est adaptée à des conditions moyennes et son ravitaillement est favorisé par le passage sous forme soluble d'éléments nutritifs. Par contre, elle réagit à des conditions extrêmes, et subit alors des crises physiologiques qui sont de véritables maladies.

---

(1) Ceci a pour autre intérêt de permettre une lutte efficace contre les mauvaises herbes (PROVAGLIO).

## BIBLIOGRAPHIE

Les auteurs qui ont cités et qui ne figurent pas ici ont été cités dans le travail de M. F.-N. PONNAMPERUNA qui est accompagné d'une abondante bibliographie.

1. — AUBERT G. (1950). — Rapport de tournée sur les sols du Rharb. — Rapport inédit.
2. — BETREMIEUX R. (1951). — Etude expérimentale de l'évolution du fer et du manganèse dans les sols. Annales agronomiques, N° 3, 1951, pp. 193 à 295.
3. — BOULAIN J. et SIMONNEAU P. (1953). — La maladie des rizières. Revue agricole de l'Afrique du Nord, Juillet 1953.
4. — BOULAIN J. (1955). — Evolution des rizières pendant l'année 1954, rapport inédit au S.E.S. en date du 23/2/1955.
5. — BOULAIN J. (1955). — L'évolution du sol des rizières dans les périmètres irrigables d'Oranie. Revue agricole d'Afrique du Nord, 18 Mars 1955.
6. — BOULAIN J. (1955). — Evolution du sol des rizières dans le périmètre d'INKERMANN, rapport inédit au S.E.S. du 5/12/55.
7. — CARPENTIER L.-J. (1956). — The role of fertilizers in rice production in tropical and semi-temperate climates. World crops 1956, 8, 9, p. 345-349.
8. — CERIGHELLI R. (1955). — Cultures tropicales. 1 Plantes vivrières. Nouvelle encyclopédie agricole BAILLIÈRE et fils édit., Paris.
9. — CHEVALIER A. (1948). — Le riz. Collection « Que sais-je » P.U.F., PARIS, n° 194.
10. — COYAUD Y. (1952). — Le riz.
11. — DABIN B. (1954). — Les problèmes de l'utilisation des sols à l'office du Niger. Conf. Interafricaine des sols C.C.T.A., édition provisoire n° 92, 9-14 Août 1954.
12. — DEMOLON A. (1948). — La dynamique du sol. PARIS, Dunod, 4<sup>e</sup> édition.
13. — DENT J.-M. — Some soil probleme of emploide red rice lands in Sierra Leone. The empire journal of experimental agriculture. Volume XV, p. 206.
14. — DUBUIS A. et SIMONNEAU P. (1956). — La végétation des rizières en Oranie, publication du Service des Etudes Scientifiques du S.C.H., BIRMANDREIS.
15. — DUPUIS J. (1952). — Le point des connaissances actuelles sur le potentiel d'oxydo-réduction des sols. Bull. mensuel de l'A.F.E.S., Juin 1952, N° 33.
16. — DE GEE J.C. (1950). — Preliminary oxydation potential. Determination in a « Sawah » profil near Bogar (JAVA) C.R. 47<sup>e</sup> Congress of soil science, AMSTERDAM. Vol. 1, p. 300-303.
17. — GRAS R. (1956). — La toxicité des sols sous mangrove, note parue dans « La lettre aux pédologues » de l'O.R.S.T.O.M., année 1956, T. VI, fasc. 3.
18. — GRIST D.-H. (1955). — Rice. Longmans Green and Co, LONDON.
19. — KAUFMANN J., BOQUEL G., TOUSSAINT P. (1956). — Influence de la matière organique sur le potentiel d'oxydo-réduction des terres. VI<sup>e</sup> Congrès de la Science du sol, III, 74, p. 447-452, PARIS.
20. — LAUMONT P. et LABY H. (1952). — Notes sur la culture du riz en ALGÉRIE. Documents et renseignements agricoles, n° 178. Inspection Générale et direction de l'agriculture de l'ALGÉRIE.

21. — MOREL P. (1956). — Essai comparatif d'engrais appliqué à la culture du riz dans le clos n° 3 de la Station. Station d'étude des sols salins d'HAMADENA - S.E.S. - D.H.E.R., rapport inédit de Décembre 1956.

22. — PIGGOTT C.-J. (1954). — The Use of Phosphate Fertilisers In Sierra Leone. Conférence interafricaine des sols C.C.T.A., édition provisoire n° 60, 9 - 14 Août 1954.

23. — POCHON et TCHAN (1948). — Précis de microbiologie du sol. PARIS, MASSON, éditeur.

24. — PONNAMPERUMA F.-N. (1955). — Chimie des sols submergés en relation avec la croissance et le rendement du riz. Thesis Cornell Univ., p. 208, 1955.

25. — PROVAGLIO G. (1955). — La destruction du Panic par la fumure. Bull. d'Inf. des Riziculteurs de France, n° 40, Septembre-Octobre 1955, pp. 16-18.

26. — RIEUF P. (1952). — Les maladies non parasitaires du riz. La terre marocaine, n° 274, Septembre 1952.

27. — SIERRA LEONE (1954). — Rapport à la conférence interafricaine des sols C.C.T.A., édition provisoire n° 83, 9 - 14 Août 1954.

28. — SIMONNEAU P. (1952). — La végétation halophile de la plaine de PERRÉGAUX, S.C.H. - S.E.S., ALGER.

29. — TIAN A. et ROCHE J. (1950). — Traité de chimie, MASSON, éditeur, PARIS.

30. — TKATCHENKO B. (1950). — La riziculture en U.R.S.S. - R.B.A., 30, 278, 297.

31. — VEROT (1954). — Fertilisation des rizières des plaines du Haut Niger et de ses affluents en Guinée Française. Conférence interafricaine des sols C.C.T.A., édition provisoire n° 57, 9 - 14 Août 1954.

32. — WINOGRADSKY S. (1949). — Microbiologie du sol, PARIS, MASSON, éditeur.

TIEN JEN YU et SUNG HUA LI (1956). — Studies on oxidation. Reduction processes in paddy soils. I. Condition affecting Redox potentials. — II. Mutual Influences Between Soil and Plant. Rapports au VI<sup>e</sup> Congrès International de la Science du sol. Pékin, Août 1956.  
(La traduction de ces travaux nous est parvenue en cours d'impression).

## PUBLICATIONS PÉDOLOGIQUES ET AGROLOGIQUES DU GOUVERNEMENT GÉNÉRAL DE L'ALGÉRIE

---

### 1<sup>er</sup> ÉTUDES GÉNÉRALES — E.G.

N° 1. — DURAND J.H. (1953). — Etude géologique, hydrologique et pédologique des croûtes en Algérie. — Publication du S.C.H. (épuisé).

N° 2. — DURAND J.H. (1954). — Les sols d'Algérie. Publication du S.C.H. (épuisé).

N° 3. — DUTIL P. (1956). — Les glissements de terrains en Algérie : essai de mise au point sur les données actuelles du phénomène. Publication de la D.H.E.R.

N° 4. — DURAND J.H. (1957). — Les croûtes calcaires s.l. d'Afrique du Nord étudiées à la lumière de la bio-rhexistasie. Publication de la D.H.E.R.

### 2<sup>e</sup> ÉTUDES RÉGIONALES — E.R.

N° 1. — DURAND J.H. (1949). — Les sols des environs de YAKOUREN et de l'AFKADOU en relation avec leurs facteurs de formation. Publication du S.C.H. (épuisé).

N° 2. — DURAND J.H. (1952). — Les sols du bassin versant du lac Tonga. Publication du S.C.H.

N° 3. — BOULAIN J. (1954). — Etudes sur l'hydrogéologie superficielle de la Plaine de RELIZANE. Publication du S.C.H.

N° 4. — BRICHETEAU J. (1954). — Esquisse pédologique de la région de TLEMCEN-TERNI. Publication de l'Inspection Générale de l'Agriculture.

N° 5. — DURAND J.H. (1956). — Les sols de la station d'étude des sols salins et d'essais agronomiques d'HAMADENA (ORAN). Sup. Sc. Terres et Eaux n° 28. — Pub. de la D.H.E.R.

N° 6. — BOULAIN J. (1956). — Facteurs de formation des sols de la Plaine d'INKERMANN. Sup. Sc. Terres et Eaux n° 28. — Pub. de la D.H.E.R.

N° 7. — BOULAIN J. (1957). — Les sols des Plaines du Chélif. — Pub. de la D.H.E.R.

### 3<sup>e</sup> VÉGÉTATION — V.

N° 1. — KILLIAN Ch. (1949). — Observations sur la biologie des végétaux des pâturages mis en défense en Algérie. Publication de l'Insp. Générale de l'Agriculture (épuisé).

N° 2. — SANTA S. et SIMONNEAU P. (1951). — Végétation et flore de la forêt de la MACTA (ORAN). Pub. de la carte de la végétation de l'Algérie (G.G. de l'Algérie).

N° 3. — SIMONNEAU P. (1952). — Végétation des dunes littorales du golfe d'ARZEW (DAMES-ME, SAINT-LEU, LA MACTA, OUREAH). Publication de l'Inspection Générale de l'Agriculture.

N° 4. — SIMONNEAU P. (1953). — La végétation halophile de la plaine de PERRÉGAUX (ORAN). Publication du S.C.H. (épuisé).

N° 5. — KILLIAN Ch. (1953). — La végétation autour du Chott Hodna indicatrice des possibilités culturales et son milieu édaphique. Publication de l'Inspection Générale de l'Agriculture (épuisé).

N° 6. — DUBUIS A. et SIMONNEAU P. (1954). — Contribution à l'étude de la végétation de la région d'AÏN-SKROUNA. Publication du S.C.H.

N° 7. — DUBUIS A. et SIMONNEAU P. (1956). — La végétation des rizières en Oranie. Publication du S.C.H.

#### 4<sup>e</sup> AGROLOGIE — A

N° 1. — SIMONNEAU P. (1946). — L'Ail d'Orient. Publication de l'Inspection Générale de l'Agriculture (épuisé).

N° 2. — SIMONNEAU P. (1946). La culture irriguée des melons et des pastèques en Oranie Orientale. Publication de l'Inspection Générale de l'Agriculture. Documents et Renseignements agricoles n° 132 (épuisé).

N° 3. — SIMONNEAU P. (1947). — La culture des choux et des choux-fleurs dans les périmètres irrigables d'Oranie. Publication de l'Inspection Générale de l'Agriculture. — Documents et Renseignements agricoles. N° 139 (épuisé).

N° 4. — SIMONNEAU P. et AUGUSTE A. (1947). — La clémentine Montréal (PERRÉGAUX 1947). Publication de l'Inspection Générale de l'Agriculture (épuisé).

N° 5. — SIMONNEAU P. (1949). — Etude sur la culture irriguée de l'artichaut en Oranie. Publication de l'Inspection Générale de l'Agriculture. — Documents et Renseignements agricoles N° 120 (épuisé).

N° 6. — SIMONNEAU P. (1949). — Note sur la mise en valeur des terrains salés de la Plaine de PERRÉGAUX. Publication du S.C.H. (épuisé).

N° 7. — GAUCHER G. et SIMONNEAU P. (1952). — Monographie agricole de la Plaine de SAINT-DENIS-DU-SIG. Publication du S.C.H.

N° 8. — SIMONNEAU P. (1954). — La culture du riz en Oranie. Publication du S.C.H.

#### 5<sup>e</sup> EXPÉRIMENTATION — DIVERS — E.D.

N° 1. — DURAND J.H. (1951). — Essais de laboratoire effectués sur les sols de la station hydroagricole d'HAMADENA. Publication du S.C.H.

N° 2. — Mlle VANLANDE Ch. (1956). — Méthodes d'analyses utilisées par la Section de Pédo-logie du Service des Etudes Scientifiques de la D.H.E.R.

N° 3. — Mme PLEVEN J. (1956). — Comparaison de l'extrait saturé d'un sol et de son extrait salin 1 : 10. Publication de la D.H.E.R.

N° 4. — BOULAIN J. (1956). — Quelques données numériques sur l'hétérogénéité des sols salés. Publication de la D.H.E.R.

N° 5. — EHRWEIN J. (1956). — Présentation d'un abaque pour l'appréciation du degré de salinité d'une terre. Publication de la D.H.E.R.

N° 6. — BOULAIN J. (1956). — Protection des piézomètres dans les périmètres irrigables d'Algérie. Publication de la D.H.E.R.

#### 6<sup>e</sup> TECHNOLOGIE DU SOL — T.S.

N° 1. — SACCARDY L. (1949). — Notion générale sur la lutte contre les érosions en Algérie. Publication du S.C.H. (épuisé).

N° 2. — SACCARDY L. (1950). — Note sur le calcul des banquettes de restauration des sols. Publications du S.C.H. (épuisé).

N° 3. — SIMONNEAU P. (1953). — La pratique des cultures irriguées en Oranie orientale. Publication de l'Inspection Générale de l'Agriculture.

7<sup>e</sup> CARTE DES SOLS — C.S.

N° 1. — Carte au 1/500.000<sup>e</sup>, feuilles de CONSTANTINE, ALGER, ORLÉANSVILLE, TÉBESSA, BISKRA, MASCARA, ORAN.

N° 2. — Carte de reconnaissance au 1/200.000<sup>e</sup>, feuilles de BÔNE n° 9, NEMOURS n° 30, MOSTAGANEM n° 21.

N° 3. — DURAND J.H. (1954). — Notice explicative générale de la carte des sols de l'Algérie au 1/200.000<sup>e</sup> et au 1/500.000<sup>e</sup>. Publication de l'Inspection Générale de l'Agriculture.

N° 4. — EHRWEIN J. (1954). — Notice explicative de la carte de reconnaissance des sols d'Algérie au 1/200.000<sup>e</sup>, feuille de BÔNE n° 9.

N° 5. — DURAND J.H. (1954). — Notice explicative de la carte de reconnaissance des sols d'Algérie au 1/200.000<sup>e</sup>, feuille de NEMOURS n° 30.

N° 6. — BOULAIN J. (1955). — Notice explicative de la carte de reconnaissance des sols d'Algérie au 1/200.000<sup>e</sup>, feuille de MOSTAGANEM n° 21.

N° 7. — BOULAIN J. (1956). — Carte des sols de la Vallée du Chélif au 1/50.000<sup>e</sup>, 5 feuilles.

8<sup>e</sup> HORS SÉRIE — H.S.

N° 1. — CAILLÈRE S. (1955). — Analyse thermique différentielle. Publication de l'Inspection Générale de l'Agriculture.

N° 2. — DURAND J.H. (1956). — La section de Pédologie de la Direction de l'Hydraulique et de l'Equipement Rural. Publication de la D.H.E.R.