

# II – Les oligo-éléments et leur importance sur la production agricole et l'alimentation humaine

Animatrice :  
Aurélia Michaud - Ingénieur - INRAE

Animateur Chat :  
Matthieu Bravin - Chercheur - Cirad



- **Introduction : Rôle des oligo-éléments en alimentation humaine**  
Christine Feillet-Coudray - Directrice de recherche - INRAE
- **Teneurs en oligos dans les tissus végétaux : conséquences pour la production agricole et l'alimentation humaine**  
Lionel Jordan-Meille - Enseignant-Chercheur - Bordeaux Sciences Agro – UMR ISPA  
(Interactions Sol Plante Atmosphère)
- **Cas d'étude 1 : Exemple de carence en Mn sur blé**  
Christine le Souder - Ingénieure spécialisée en fertilisation - Arvalis-Institut du Végétal
- **Cas d'étude 2 : La gestion du risque de carences en cuivre et autres oligos sur les productions de légumes et de maïs, en sols sableux de Haute Lande**  
Justine Sourisseau – Directrice du GRCETA-SFA  
(Groupement de Recherche sur les Cultures et Techniques Agricoles des Sols Forestiers d'Aquitaine)
- **Cas d'étude 3 : Exemple de carence en Mn en arboriculture**  
Alain Kleiber - Responsable technique du pôle agriculture - Aurea AgroSciences
- **Conclusions sur les cas d'études, fiches de synthèse**  
Lionel Jordan-Meille - Enseignant-Chercheur - Bordeaux Sciences Agro - UMR ISPA  
(Interactions Sol Plante Atmosphère)

# II – Les oligo-éléments et leur importance sur la production agricole et l'alimentation humaine

---

- **Cas d'étude 2 : la gestion du risque de carences en cuivre et autres oligos sur les productions de légumes et de maïs, en sols sableux de Haute Lande**

**Justine Sourisseau** – Directrice du GRCETA-SFA

(Groupement de Recherche sur les Cultures et Techniques Agricoles des Sols Forestiers d'Aquitaine)

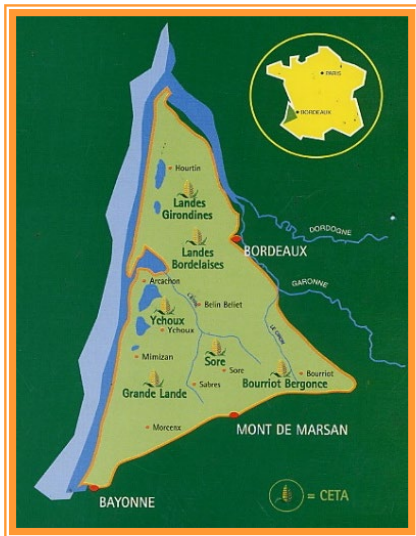
# II – Les oligo-éléments et leur importance sur la production agricole et l'alimentation humaine



## Plan

- ❖ La Haute Lande, des caractéristiques pédologiques très spécifiques
- ❖ Etablissement et entretien de la fertilité chimique des sols sableux : plus de 50 ans de travaux
- ❖ Les différentes situations de carences ou de pseudos carences rencontrées
- ❖ Le cas spécifique du cuivre
- ❖ Quels outils pour le diagnostic des problématiques ?

# La Haute Lande, des caractéristiques pédologiques très spécifiques



❖ **Triangle de sols sableux** au cœur du massif forestier des Landes de Gascogne délimité par :

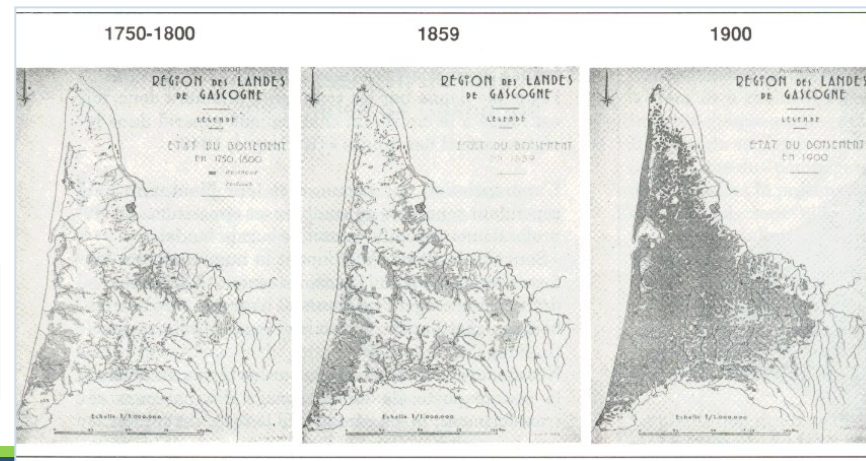
- la Garonne au nord,
- la Midouze au sud,
- le cordon littoral à l'ouest

❖ Anciens marécages mis en valeur sous Napoléon III

- Plantation de la forêt de pins
- Premiers essais de mise en culture (pour réel développement 1 siècle plus tard)

**1 millions d'hectares** où l'agriculture ne représente que **10%** de la surface

**Un assolement composé de différents types de maïs, et de cultures légumières de plein champ (haricots verts, carottes, pomme de terre...)**



# La Haute Lande, des caractéristiques pédologiques très spécifiques



Photo GRCETA-SFA

- ❖ Des sols podzolisés et hydromorphes :
  - Une végétation acidifiante implantée sur une « roche mère » filtrante, sableuse, et pauvre en minéraux altérables
  - Sol acide, avec peu d'activité biologique
- ❖ Nappe phréatique affleurante : Nappe des Sables
  - Création d'une couche d'aliros qui empêche l'exploration racinaire et le bon drainage des sols

Paramètre	Valeurs défriche	Valeurs sols cultivés
Tx MO	2-5 %	2-5 %
C/N	> 25-30	≈ 20
pH eau	4,5-5,5	5,8-6
CEC	3-8 Meq/100 g	3-8 Meq/100 g
CaO	0,2-0,5 g/kg	0,8-1,2 g/kg
MgO	≈ 0,02 g/kg	0,09-0,1 g/kg
Cu EDTA	< 0,5 mg/Kg	2,3 mg/Kg
Mn EDTA	< 4 mg/kg	5,5 mg/kg
Zn EDTA	≈ 1 mg/kg	4-5 mg/kg

Sols sableux à plus de 90%

**Enracinement peu profond**, limité par l'aliros

Faible complexe argilo-humique

Faible Capacité d'Echange Cationique, **sensibilité à la lixiviation**

**Sols naturellement acides, carencés en divers éléments**

# Etablissement et entretien de la fertilité chimique des sols sableux : plus de 50 ans de travaux



❖ De nombreuses années d'expérimentation et d'observations ont permis d'établir les fondements de la gestion de la fertilité chimique des sols de Haute Lande :

- **Dans les années 50**, observation de cultures qui stagnent, végètent : travaux menés sur le cuivre (essais de formes et doses) pour pallier la carence qui explique en partie ce phénomène (notamment sur CàP)
- **A partir des années 70**, découverte que les problèmes d'intoxication ammoniacale rencontrés sur maïs proviennent des pH trop bas (< 5,5) : croissance feuillage & racines affectée, racines peu ramifiées, extrémités renflées et de couleur brune

« En 1954, des essais permirent de se rendre compte que principalement l'absence d'un élément (cuivre) existant habituellement en très faibles quantités dans les sols cultivés, bloquait la végétation de la plupart des sols cultivés »

J. DANTON, (agriculteur) 1965

## 321. Amendements calco-magnésiens :

Les travaux de l'INRA de BORDEAUX ont déterminé des pertes par lessivage de l'ordre de 250 CaO/ ha/ an et de 100 MgO/ ha/ an.

Il importe donc de combler au moins ce déficit ; par ailleurs, il faut tenter de relever le pH eau jusqu'à une valeur comprise entre 5,5 et 6,0. De ce fait, un apport moyen annuel de 500 CaO et 100 MgO paraît correct.

Dans la mesure où le pH est encore faible (< 5,2) et où l'on craint des intoxications ammoniacales sur maïs, il est fortement conseillé de faire les apports d'amendements calco-magnésiens sur labour. Pour des sols dont le pH est supérieur à 5,5, il est possible de faire ces apports avant labour.

Extrait guide technique de la culture du maïs (GRCETA, 1979)

## ➤ Importants travaux sur le chaulage entrepris entre 1975 et 1980 avec l'INRA :

- Mise en évidence de l'intérêt des **scories industrielles** pour chauler les sols sableux (essais couplés plus tard, à des essais sur des apports de phosphore et d'oligos)
- Suite à l'arrêt d'approvisionnement, c'est la **dolomie, amendement calco-magnésien**, qui constitue la meilleure alternative en Haute Lande (essais de plus de 10 ans)
- **La pratique du chaulage se généralise et s'affine** : travaux avant ou après labour, en fonction du pH, détermination des pratiques à adopter sur défriche, en entretien.
- Apports en foliaire pour compléter → nombreuses autres carences en oligos



# Les différentes situations de carences ou de pseudos carences rencontrées

## ❖ Manganèse, Zinc :

- Cas de carences vraies (valeurs souvent faibles dans les sols)
- Beaucoup de cas de pseudo-carences : sols « soufflés », printemps frais, pH exagérément augmenté

## ❖ Magnésie, Soufre :

- Plutôt des macro-éléments
- Fertilisation & amendements permettent de limiter les carences
- Situation à risque : fortes pluies printanières, nécessité de ré-apporter des éléments
- Attention aux équilibres avec d'autres éléments (ex. K/Mg)
- Blocage sur sols trop acides (< 5,0-5,5)



Carence en manganèse – Photos GRCETA



Carence en soufre – Photos GRCETA



Carence en magnésium – Photos GRCETA



# Le cas spécifique du cuivre

- ❖ En cultures légumières comme en maïs, les carences en cuivre sont désormais rares mais le risque existe
- ❖ Symptômes :
  - plant rabougri, feuilles « tordues », jaunissement et enroulement des feuilles, mortalité ou aspect plus chétifs (souvent en rond, ou zones)
  - Plus fréquent sur cultures légumières, ex. haricots verts ou sur céréales à paille
  - Souvent la problématique est multifactorielle (pH bas, teneurs basses en autres éléments comme la Mg...)
  - Symptômes pas spécifiquement associés à la carence en cuivre



Carence en cuivre sur pomme de terre (Yara)

- ❖ Situations à risque :
  - La défriche → nécessité de corriger dès la première année les taux de cuivre
  - Jachères ou « défriches » +/- récentes remises en culture → n'ayant pas bénéficié d'un suivi spécifique (conduites comme le reste de l'îlot)
  - Pas d'entretien réalisé sur les 5-10 dernières années → élément non regardé dans l'analyse
  - Sables très humifères

Le cuivre est préférentiellement apporté soit en entretien avant labour, soit sur le labour pour des taux très bas.

Préconisation : 2 à 4 kg d'élément métal en redressement au sol ou 1 à 2 kg en entretien. Plus rarement apporté en foliaire.

Forme : sulfate de cuivre, oxyde de cuivre, cuivre EDTA (foliaire)



# Quels outils pour le diagnostic des problématiques ?

## Situation 1 : carences multiples, peu de symptômes spécifiques

- ❖ L'analyse de sol
  - Outil très utilisé en Haute Lande servant au **pilottage du chaulage**
  - Permet **d'anticiper les situations à risque**
  - Ou de **confirmer une hypothèse**
  - **[Cu]/%Mo → si < 0,5**
- ❖ L'analyse foliaire
  - Permet d'estimer l'état de nutrition de la plante
  - Mise en évidence des **antagonismes, défauts d'assimilation** non visibles sur l'analyse de sol

**DEMANDEUR / PRESCRIPTEUR**  
**GRCETA SFA**  
**4 ZI La Régue**  
**33830 BELIN BELIET**

**PARCELLE** N° lot :  
 Référence :  
 Surface : 2 ha  
 X/Long : Y/Lat

**COORDONNÉES GPS**

**CARACTÉRISTIQUES DU SOL**

Type de sol	SABLE
Densité apparente (T/m <sup>3</sup> )	1.3
Masse du sol (T/ha)	2000 Sol humide
Profondeur de prélèvement (cm)	20 cm Sol sec
Sol / Sous-sol	SOL Réserve enrichissement estimée

**ÉTAT PHYSIQUE**

**Granulométrie (pour mille)**

Argiles (< 2 µm) :  
 Limons fins (2 à 20 µm) :  
 Limons grossiers (20 à 50 µm) :  
 Sables fins (50 à 200 µm) :  
 Sables grossiers (200 à 2000 µm) :

Texture selon le triangle GEPPA :  
 Indice de battance :  
 Indice de porosité :  
 Refus (%) : **0%**

**ÉTAT ORGANIQUE**

Matière organique (%)	<b>6.4</b>	0-6	Élevé
Azote total (%)	<b>0.113</b>		
Rapport C/N	<b>22.8</b>	17-25	Élevé

Rapport C/N élevé, décomposition lente et efficace de la matière organique.

**DESTINATAIRE**

Technicien : NUN HENRIEUX

**N° RAPPORT** 12325286

Date de prélèvement :  
 Date de réception : 10/05/2019  
 Date d'édition : 22/05/2019  
 Préleveur :  
 N° bon de commande : NR

**STATUT ACIDO-BASIQUE**

pH eau	<b>5.0</b>
pH KCl	4.5
Calcaire total (g/kg)	<1
Calcaire Actif (g/kg)	
CaO (g/kg)	<b>0.90</b>
CEC Mésion (cmol/kg (v-meq/100g))	6.4

**Taux d'occupation de la CEC (%)**

KCEC : 4.5  
 Na/CEC : 3.4  
 Ca/CEC : 28  
**HCCEC : 63.8%**

**Taux de saturation S/CEC (%) :**  
 Actuel : 36.8  
 Optimal : >95  
 \* S = Somme des cations échangeables

**POTENTIEL NUTRITIF**

**Éléments majeurs assimilables ou échangeables**

Éléments	faible	Élevé	Souhaitable
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (g/kg) Méthode Jourdain			
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (g/kg) Méthode Olsen		<b>0.063</b>	0.05 à 0.08
K <sub>2</sub> O (g/kg)		<b>6.134</b>	0.07 à 0.10
MgO (g/kg)	<b>0.043</b>		0.10 à 0.15

K / Mg : 1.32 Souhaitable : 0.20  
 K<sub>2</sub>O / MgO : 3.1 Souhaitable : 0.7

**Oligo-éléments (unité mg/kg)**

Risque de déficit	Risque d'excès	Référence	Autres résultats et calculs
Bore soluble			Conductivité (mS/cm)
Manganèse échangeable			Fer oxalate (mg/kg)
Cuivre échangeable			IPC *
Cuivre EDTA	<b>&lt;0.50</b>	2	Sodium (Na <sub>2</sub> O g/kg) <b>0.014</b> < 0.1
Manganèse EDTA	<b>&lt;4.01</b>	16	Potentiel REDOX (mV)
Fer EDTA	<b>40.33</b>	27	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> Dyer (g/kg)
Zinc EDTA	<b>1.87</b>	3	Sulfates (mg/kg)

\* Calculé à partir du fer EDTA

Analyse de sol AUREA

# Quels outils pour le diagnostic des problématiques ?

## Situation 2 : Teneur en MO élevée, majorité des paramètres corrects

Densité apparente (t/m <sup>3</sup> )	3900	Sol humide	Date de prélèvement	04/12/2019
Masse du sol (T/ha)	3900	Sol humide	Date de réception	09/12/2019
Profondeur de prélèvement (cm)	30 cm	Sol sec	Date d'édition	24/12/2019
Sol / Sous-sol	SOL	Réserve Facilement utilisable estimée	Préleveur	
			N° bon de commande	NR

### ETAT PHYSIQUE

#### Granulométrie (pour mille)

Argiles (< 2 µm) :

Limons fins (2 à 20 µm) :

Limons grossiers (20 à 50 µm) :

Sables fins (50 à 200 µm) :

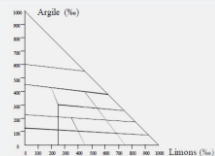
Sables grossiers (200 à 2000 µm) :

Texture selon le triangle GEPPA :

Indice de battance :

Indice de porosité :

Refus (%) : 0%



### ETAT ORGANIQUE

Matière organique (%) \*  4.3  2.2  Elevé

Azote total (%) :  0.099  Souhaitable

Rapport C/N  25.1  8-12  Elevé

Décomposition de la MO :  Rapide  Lente  Souhaitable

Rapport C/N élevé, décomposition lente et difficile de la matière organique.

Estimation du coefficient k2 (%) :

1.24  Souhaitable

Estimation de l'azote minéralisable en kg/ha :

48 kg/ha  Souhaitable

Estimation des pertes annuelles en MO :

2067 kg/ha  Souhaitable

Stock minimal souhaitable en MO :

86 t/ha  Souhaitable

Stock en matières organiques (MO) :

167 t/ha  Souhaitable

Potentiel biologique :  Très faible  Souhaitable

40  Souhaitable

Les résultats d'analyses sont rendus sur terre fine sèche

Les analyses sont réalisées sur le site d'Auréa Ardon : 270 Allée de la Pomme de Pin, 45160 Ardon

FERTI SOLS V1.08.08/2017

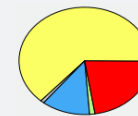
Analyse de sol AUREA

### STATUT ACIDO-BASIQUE

pH eau	6.0	Elevé
pH KCl	5.5	
Calcaire total (g/kg)	<1	
Calcaire Actif (g/kg)		
CaO (g/kg)	1.44	
CEC Méson cmol+/kg (rmeq/100g)	7.9	

### Taux d'occupation de la CEC (%)

K/CEC : 1.1  
Mg/CEC : 10.2  
Na/CEC : 0.8  
Ca/CEC : 65  
H/CEC : 23.1%



### Taux de saturation S/CEC (%) \* :

Actuel : 78.9  
Optimal : >95

\* S = Somme des cations échangeables

### POTENTIEL NUTRITIF

#### Éléments majeurs assimilables ou échangeables

Éléments	faible	Elevé	Souhaitable
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (g/kg) Méthode Joret Hébert	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (g/kg) Méthode Olsen	<input type="checkbox"/> 0.048	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> 0.05 à 0.08
K <sub>2</sub> O (g/kg)	<input type="checkbox"/> 0.042	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> 0.17 à 0.25
MgO (g/kg)	<input type="checkbox"/> 0.161	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> 0.12 à 0.16

K / Mg : 0.11  
Souhaitable : 0.64

K<sub>2</sub>O / MgO : 0.3  
Souhaitable : 1.5

### Oligo-éléments (unité mg/kg)

	Risque de déficit	Risque d'excès	Référence
Bore soluble	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Manganèse échangeable	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Cuivre échangeable	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Cuivre EDTA	<input type="checkbox"/> 1.04	<input type="checkbox"/>	2
Manganèse EDTA	<input type="checkbox"/> <4.01	<input type="checkbox"/>	13
Fer EDTA	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> 74.15	25
Zinc EDTA	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> 4.13	2.5

### Autres résultats et calculs

	Souhaitable
Conductivité (mS/cm)	<input type="checkbox"/>
Fer oxalate (mg/kg)	<input type="checkbox"/>
IPC *	<input type="checkbox"/>
Sodium (Na <sub>2</sub> O g/kg)	<input type="checkbox"/> 0.019 < 0.1
Potentiel REDOX (mV)	<input type="checkbox"/>
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> Dyer (g/kg)	<input type="checkbox"/>
Sulfates (mg/kg)	<input type="checkbox"/>

# En conclusion



- ❖ Des sols naturellement pauvres et très sensibles à la lixiviation
- ❖ Des situations à risque pour de nombreux macro et oligo-éléments
- ❖ **Nécessité de connaître ces situations à risque (défriche ? pH ? Taux de matière organique ? ...) pour anticiper les symptômes**
- ❖ **L'analyse de sol est l'outil de prédilection pour le pilotage de cette fertilité chimique, complété par l'analyse foliaire**
- ❖ Correction passe soit par l'application au sol, soit par les apports foliaires (pas forcément pertinent pour tous les éléments)
- ❖ Eviter les variations de pH trop importantes → naturellement les sols sableux ont tendance à varier de +/- 1 pt durant la saison !