



Nutrition des plantes: activités de recherche

S. Sinaj, A. Maltas, S. Cadot, G. Blanchet, S. Elfouki

Agroscope

23/05/2014

Objective et les activités de recherche

Objectifs généraux

- Assurer un approvisionnement suffisant en éléments nutritifs des cultures tout en préservant le stock des ressources naturelles et la qualité de l'environnement
- Améliorer l'efficacité d'utilisation des éléments nutritifs par les agrosystèmes suisse

Principales activités de recherche

- **Efficacité d'utilisation de NPK**
 - Dynamique et modélisation de l'azote
 - Evaluation et modélisation du PK du sol et de la plante (présentation S.Cadot)
- **Recyclage de fertilisants**
 - Amendements organique (présentation A.Maltas)
 - **Cendres de bois**
- **Données de base pour la fumure des cultures agricoles en Suisse**

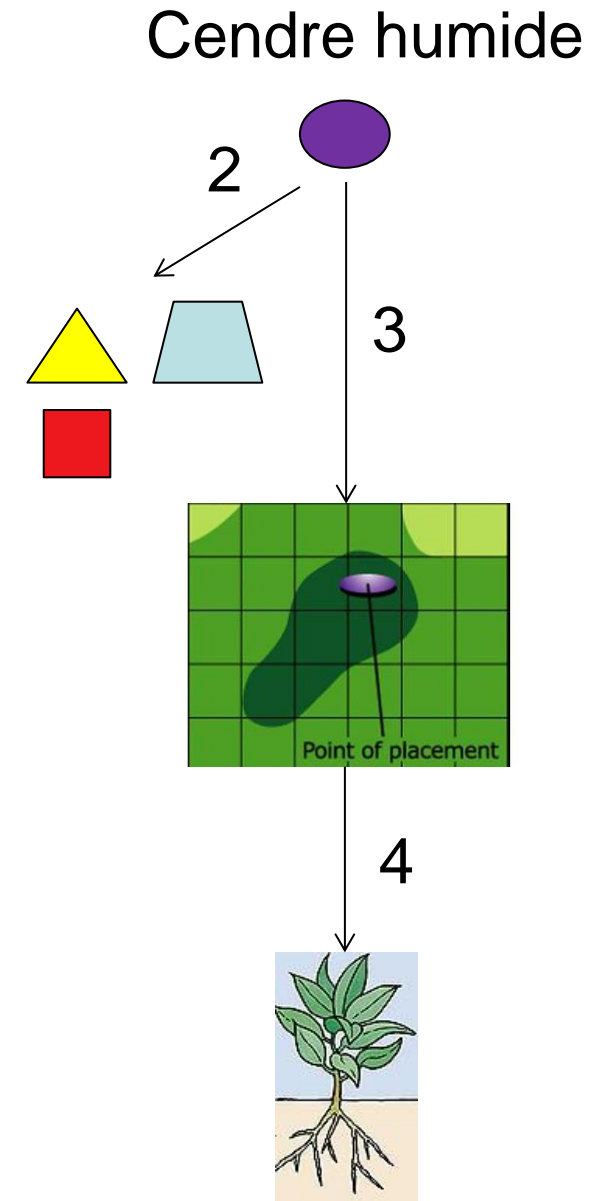


Les cendres de bois: *un nouvel engrais pour l'agriculture suisse*



Objectifs et plan

1. Caractérisation des cendres humide; identification de l'origine des ETM contenus dans ces cendres
2. Spéciation des macroéléments (Ca, P, K, Mg) et des ETM (Cu, Ni, Zn) contenus dans les cendres humides
3. Dynamique de libération dans le sol des macroéléments et des ETM contenus dans les cendres humides
4. Effet des cendres sur le rendement et la qualité de la production agricole



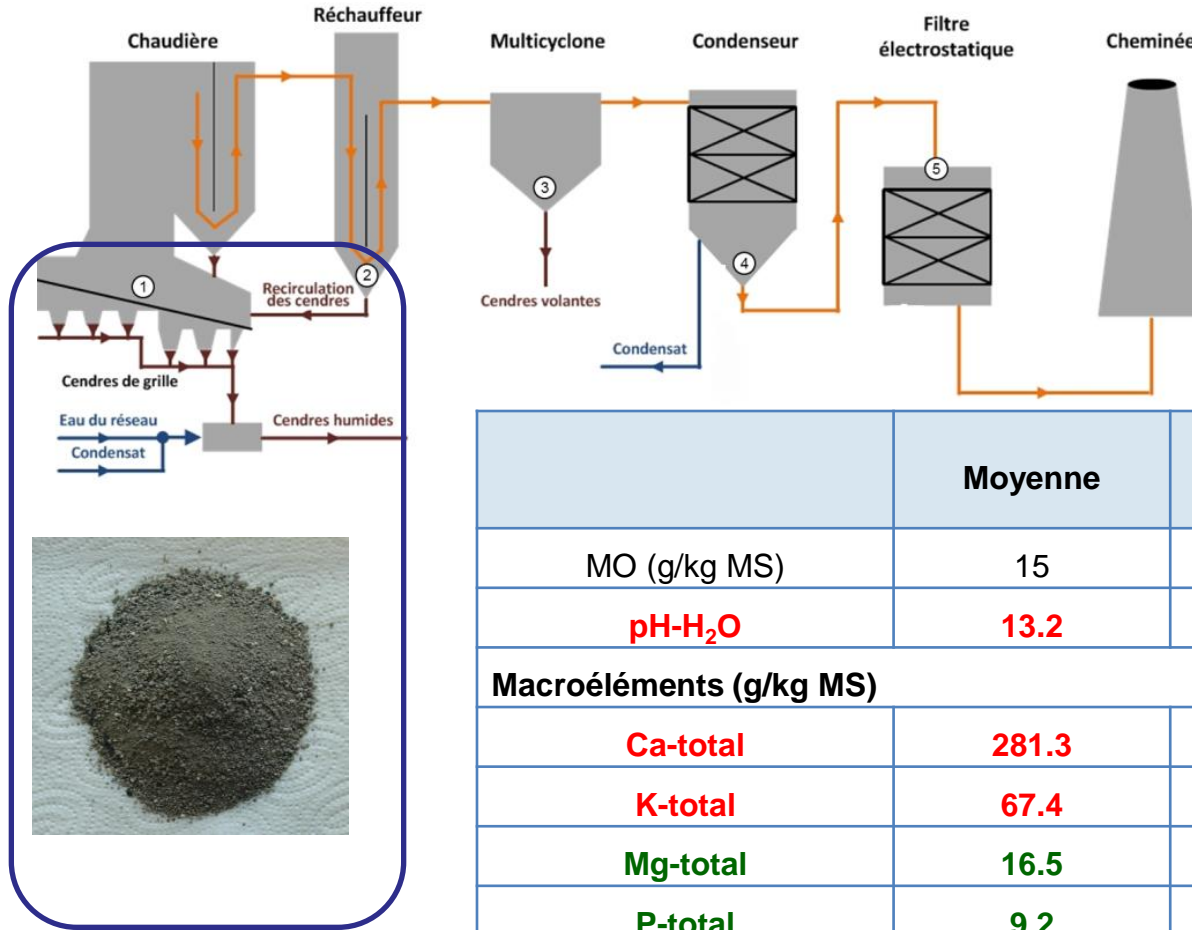


Composition chimique

Légende :
 Gaz de fumées
 Eau du réseau & condensat
 Cendres



Ecorces plaquettes



Cendres humides

	Moyenne	CV (%)
MO (g/kg MS)	15	55
pH-H₂O	13.2	1
Macroéléments (g/kg MS)		
Ca-total	281.3	2
K-total	67.4	9
Mg-total	16.5	5
P-total	9.2	9
S-total	0.77	9
N-total	0.07	27

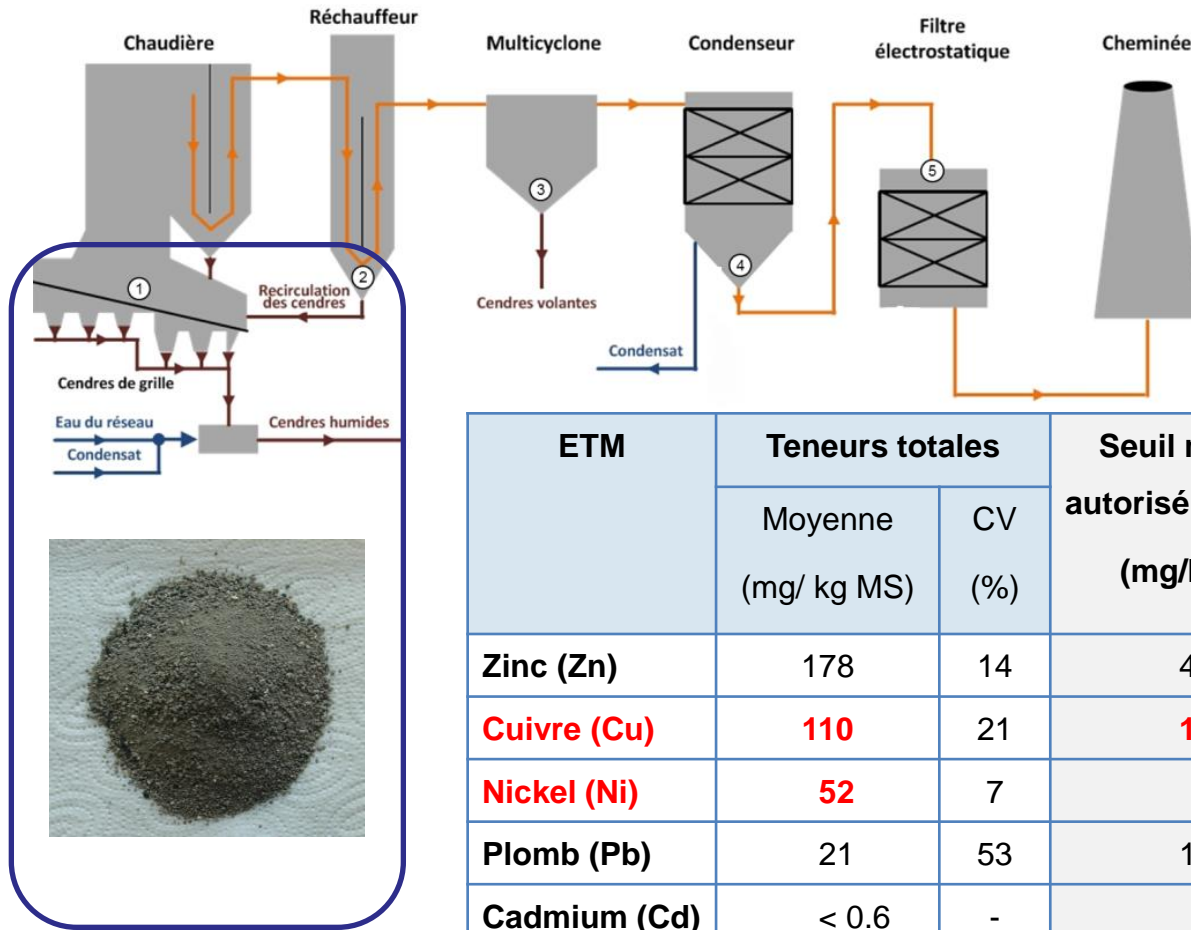


Composition chimique

Légende :
 Gaz de fumées
 Eau du réseau & condensat
 Cendres



Ecorces plaquettes



Cendres humides

ETM	Teneurs totales		Seuil maximal autorisé en Suisse (mg/kg MS)
	Moyenne (mg/ kg MS)	CV (%)	
Zinc (Zn)	178	14	400
Cuivre (Cu)	110	21	100
Nickel (Ni)	52	7	30
Plomb (Pb)	21	53	120
Cadmium (Cd)	< 0.6	-	1
Mercure (Hg)	< 0.02	-	1

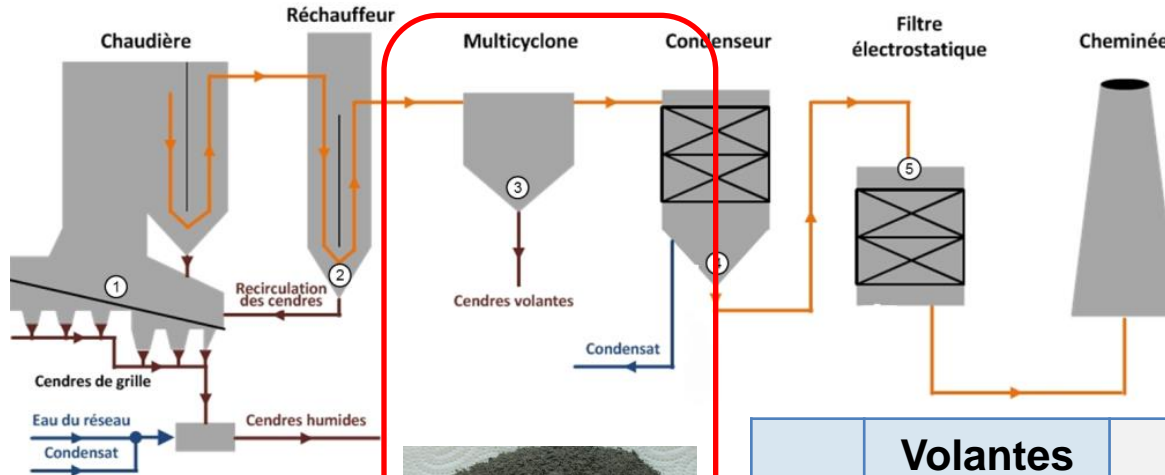


Composition chimique

Légende :
 Gaz de fumées
 Eau du réseau & condensat
 Cendres



Ecorces plaquettes



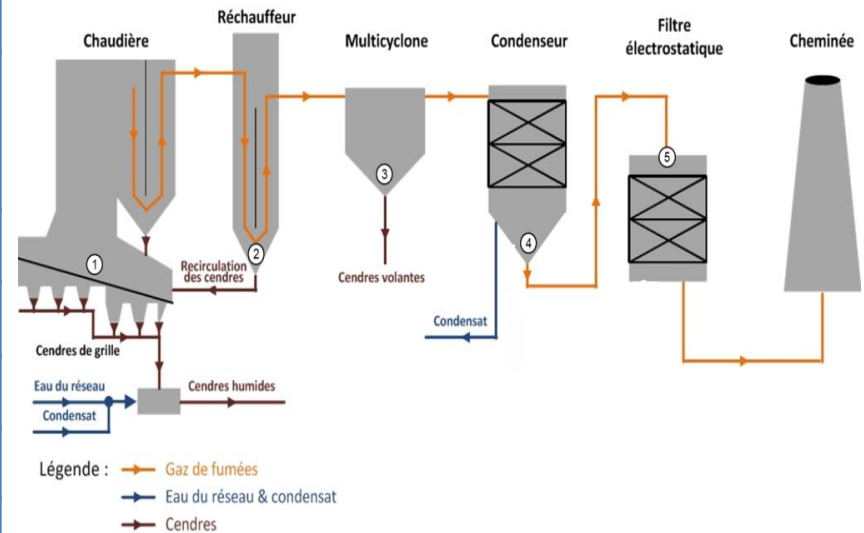
Volantes

	Volantes (mg/kg MS)	Seuil autorisé (mg/kg MS)
Zn	1245 ± 14%	400
Cu	137 ± 27%	100
Ni	50 ± 5%	30
Pb	97 ± 62%	120
Cd	8 ± 14%	1
Hg	0.19 ± 93%	1



Origine des ETM ?

	Teneurs dans les cendres (humides + volantes)	
	Réelle (mg/kg MS)	Théorique provenant du bois (mg/kg MS)
Zn	609 (76)	1782 (353)
Cu	196 (49)	282 (103)
Ni	49 (1)	68 (9)
Pb	52 (28)	< 27 (-)
Cd	3.0 (0.4)	8.5 (1.9)
Hg	<0.07 (-)	< 0.7 (-)



Base de calculs:

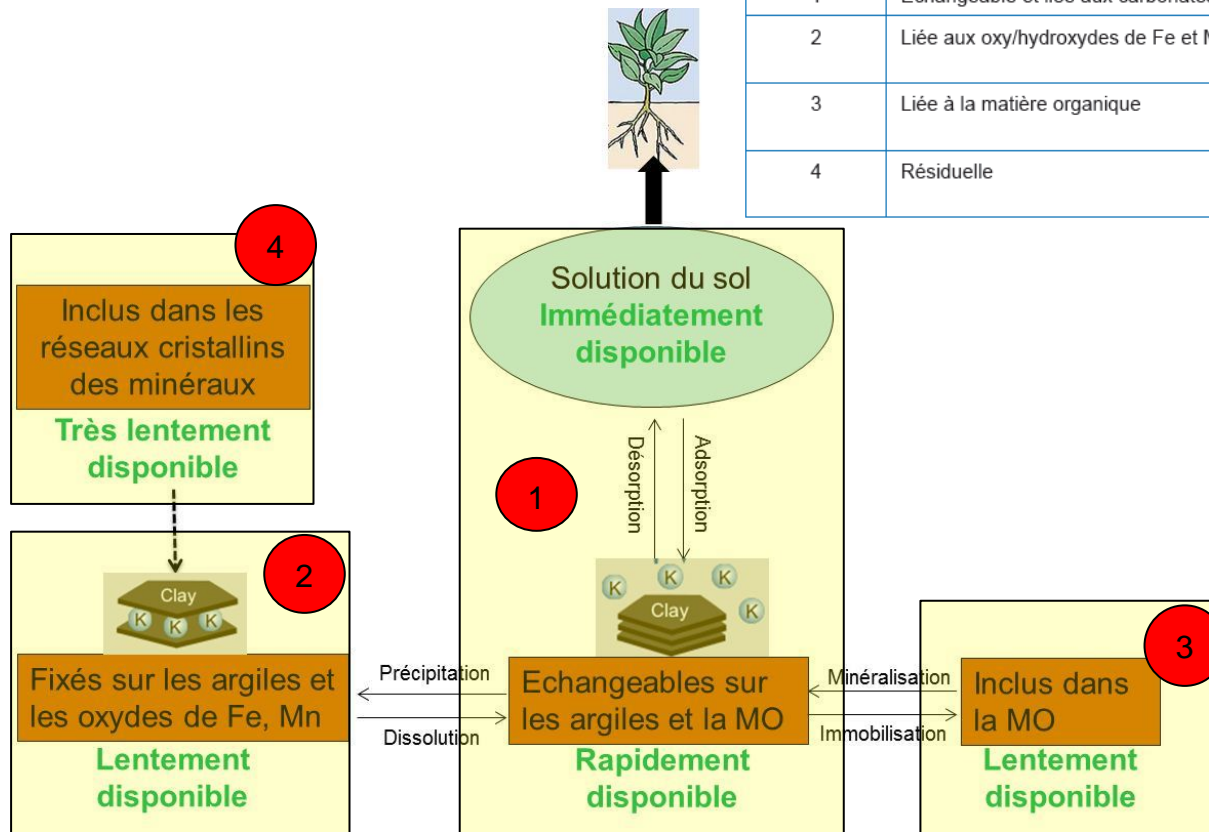
- Matériaux de combustion = 1/3 d'écorces + 2/3 de plaquettes.
- Cendres = 2.3% de la masse des matériaux de combustion.
- Cendres = 1/3 de cendres volantes + 2/3 de cendres humides.



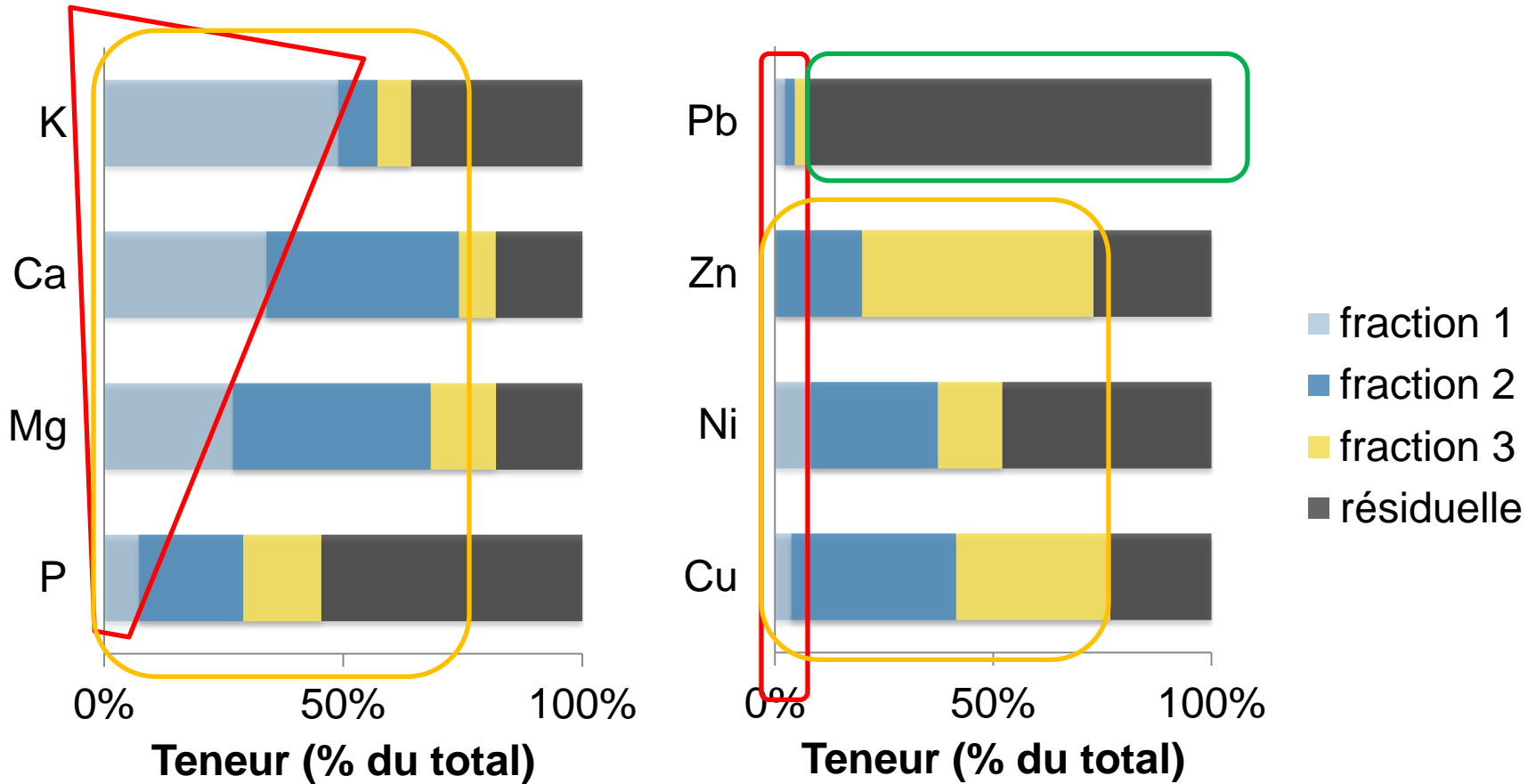
Spéciation des macroéléments et des ETM des cendres humides

Extractions séquentielles

Etapes	Fractions extraites	Réactifs
1	Echangeable et liée aux carbonates	Acide acétique (CH_3COOH , 0,11 M)
2	Liée aux oxy/hydroxydes de Fe et Mn	Chlorure d'hydroxylamine ($\text{NH}_2\text{OH}\cdot\text{HCl}$, 0,1 M), pH 2 (HNO_3)
3	Liée à la matière organique	Peroxyde d'hydrogène (H_2O_2 , 8,8 M) puis acétate d'ammonium ($\text{CH}_3\text{COONH}_4$, 1 M), pH 2 (HNO_3)
4	Résiduelle	Acides fluorhydrique et perchlorique ($\text{HF}\text{-}\text{HClO}_4$; 15,5 M)



Spéciation des macroéléments et des ETM des cendres humides



Cendres humides 2011

Dynamique de libération dans le sol

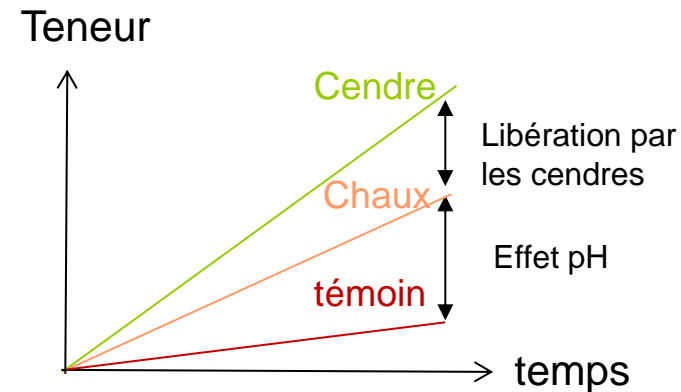
Dispositif expérimental & objectifs:

- Evolution de la disponibilité des éléments dans le sol en présence et en absence de cendres
- Effet des cendres comme amendement calcique



Sol	pH	Argile	Ca recommandée
FRIBO	5.8	15%	18 dt/ha soit 0.7g/kg de sol
29C	6.7	54%	

- Incubation de sol en phytotron avec 3 traitements
- 6 dates analysées du 14 mai au 18 sept:
0, 15, 28, 63, 99, 127j d'incubation

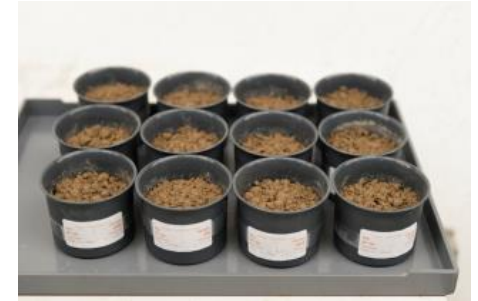




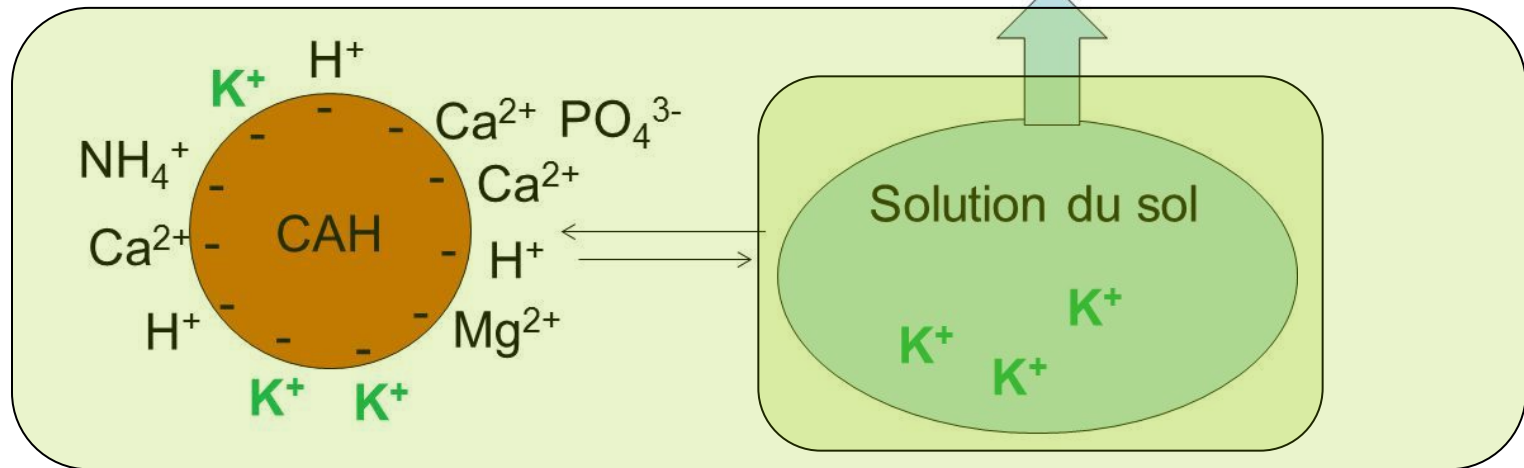
Dynamique de libération dans le sol

Analyses:

- pH et activité microbienne
- P, K, Ca, Mg et Cu, Ni, Cd, Pb, Zn (H₂O & AAE)

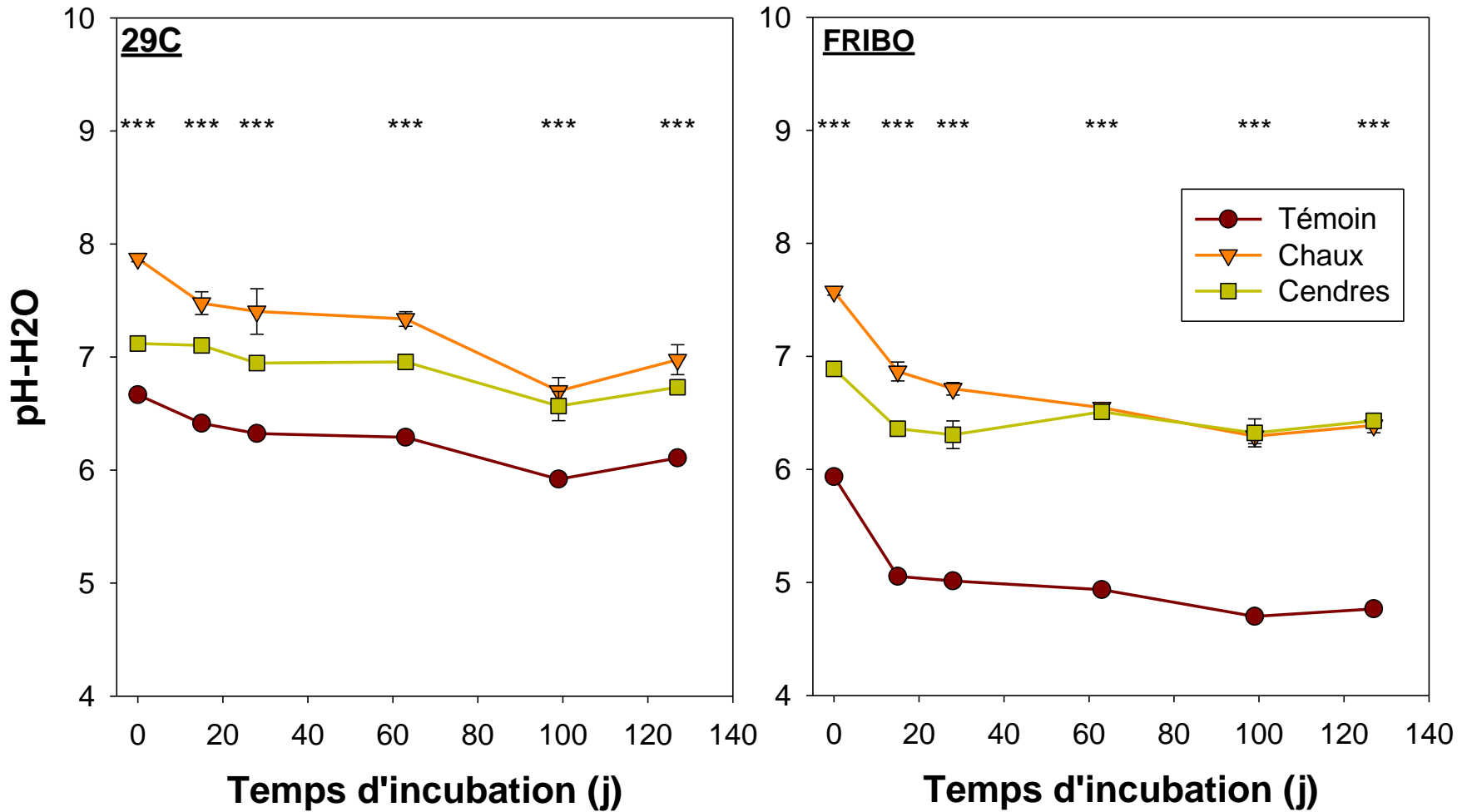


Extrait à l'AAE



Dynamique de libération dans le sol

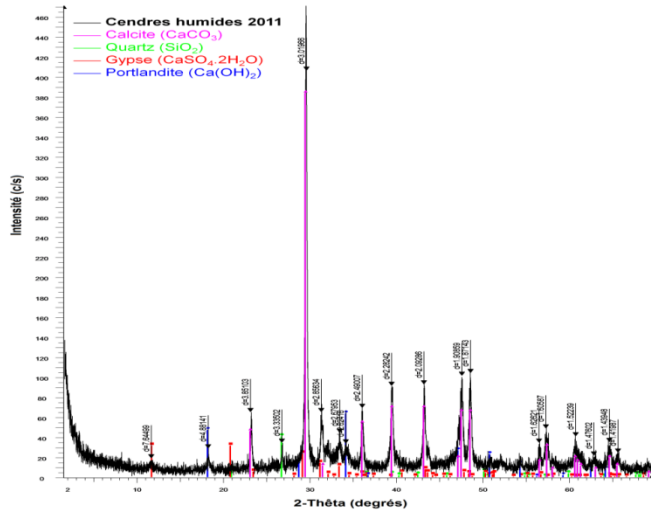
Effets des traitements sur le pH du sol



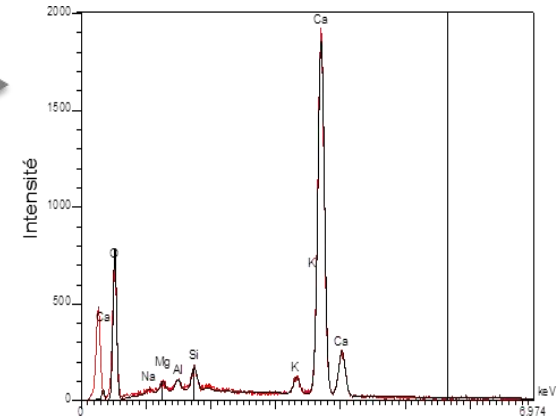
Dynamique de libération dans le sol

Les formes du Ca dans les cendres

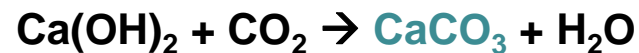
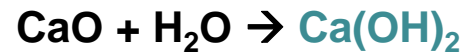
Analyse par diffraction aux rayons X (DRX)



Analyse par microscopie électronique à balayage (MEB)



Chaux-vive	Cendres
CaO	Calcite (CaCO ₃)
	Portlandite Ca(OH) ₂
	Gypse (CaSO ₄), Silicate de Ca

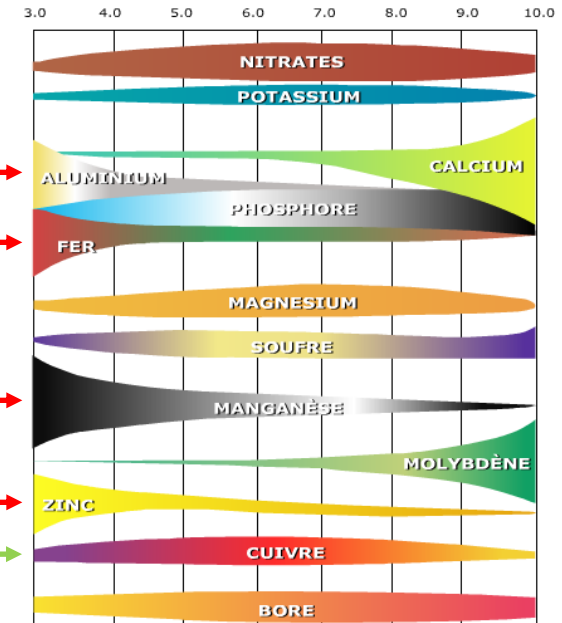


Dynamique de libération dans le sol

Libération des macroéléments et des ETM

- Effets comparables sur les deux types de sols
- Effets globalement comparables sur les extractions à l'H₂O

	Effet pH (chaux-témoin)	Apport par les cendres (cendres-chaux)	Résultante (cendres-témoin)
P-AAE	+	++	+++
K-AAE	0	+++	+++
Mg-AAE	-	++	+
Ni-AAE	-	+	0
Zn-AAE	-	+	0
Cu-AAE	+	0	+
Pb-AAE	0	0	0

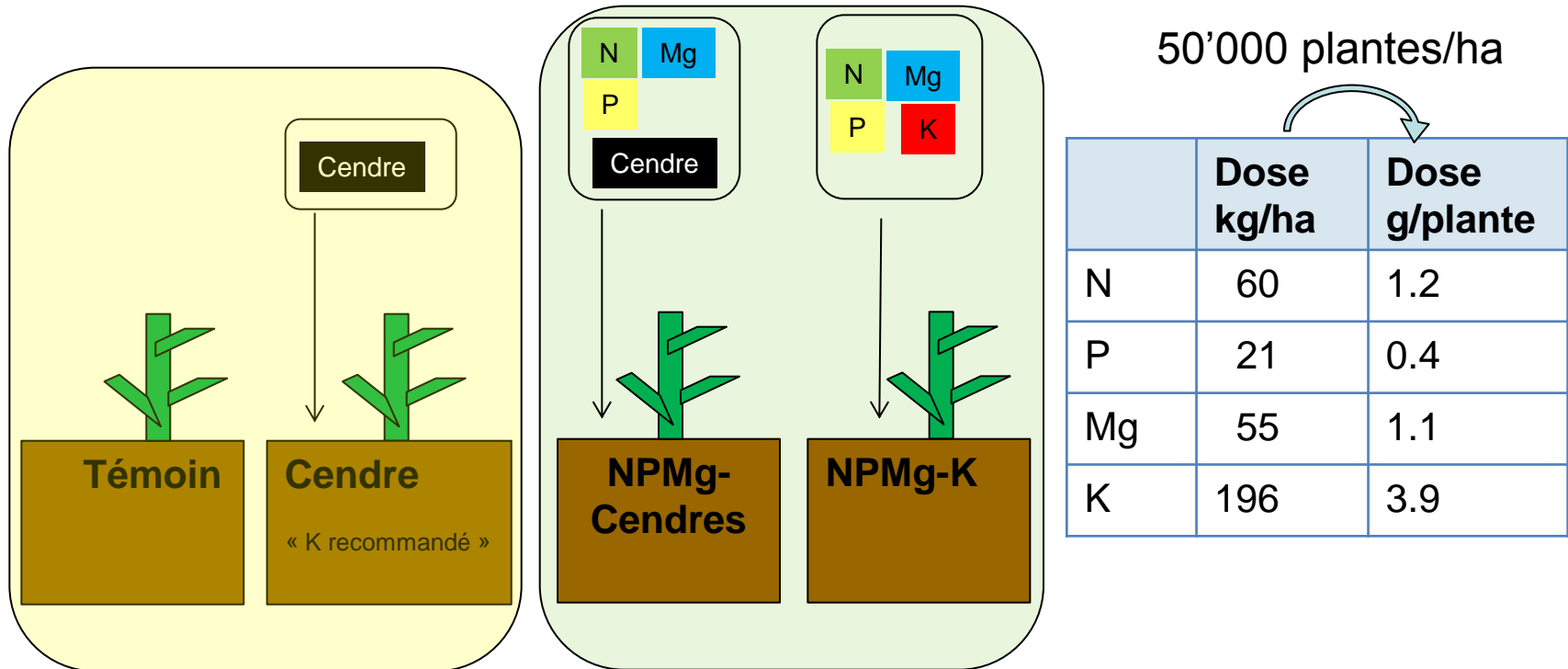


Assimilabilité des éléments nutritifs par les végétaux en fonction du pH du sol



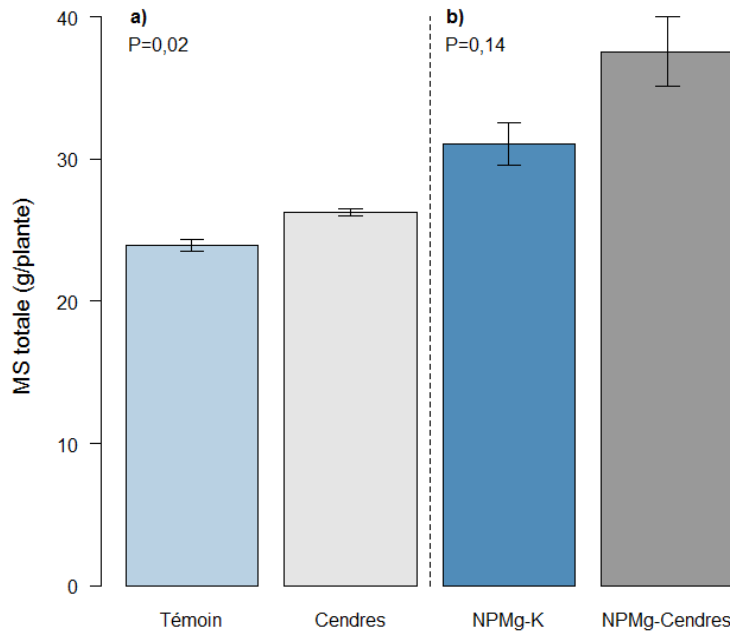
Effets sur la production agricole

Effets des CH utilisées comme fertilisant K sur une culture très exigeante en K:
le tournesol



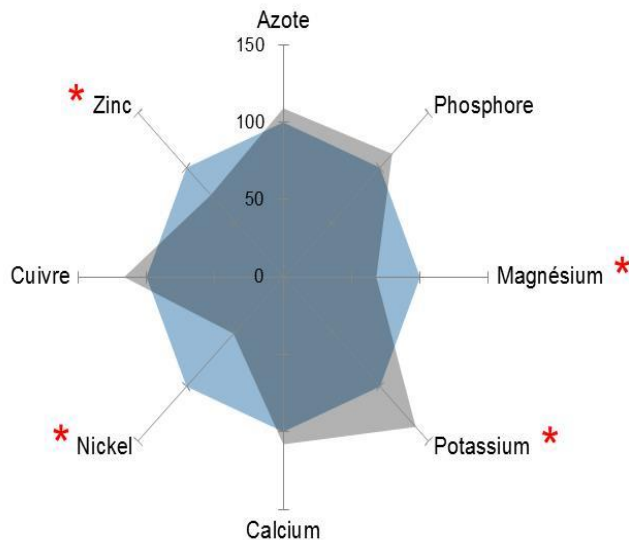


MS totale du tournesol à la récolte en conditions (a) limitantes et (b) non limitantes en NPMgK.

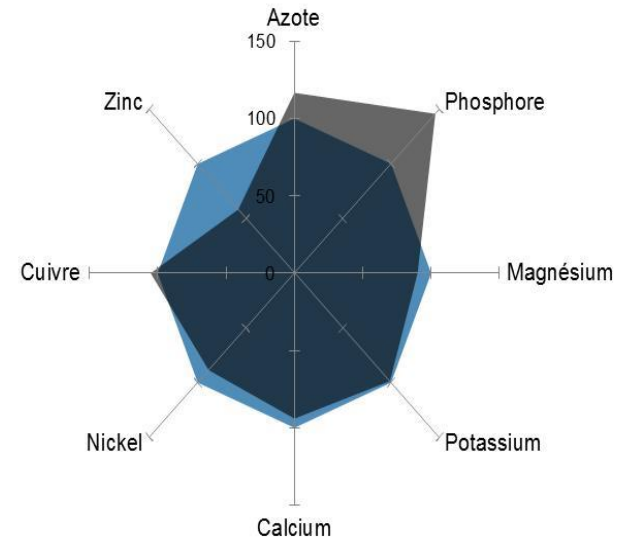
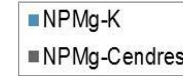


Absorption des minéraux par le tournesol en conditions (a) limitantes et (b) non limitantes en NPMgK.

a)



b)



Les résultats sont exprimés en valeur relative par rapport aux traitements sans cendres (traitements «témoin» et «NPMg-K» respectivement pour la figure a et b). Les astérisques indiquent des différences significatives entre les deux traitements au seuil de 5% selon le test *t*.



Conclusions 1/2

Les cendres humides de la centrale Enerbois:

- Représentent un amendement calcique moins agressif que la chaux
- Représentent un très bon engrais potassique : enrichi en Mg, P et «oligo-éléments» et efficacité du K équivalente à celle du KCl
- Contiennent également du Cu, du Ni, du Zn et du Pb mais sous une forme peu disponible voir indisponible
- Ces ETM semblent provenir en grande partie du bois utilisé



Conclusions 2/2

L'application des cendres (par rapport à un témoin sans apport):

- Diminue la quantité disponible de Ni et de Zn dans le sol et réduit en conséquent leurs teneurs dans le tournesol
- Pas d'effet négatif à court terme sur la contamination du sol et de la plante par les ETM
- Mais la question des effets à long terme se pose toujours car des quantités non négligeables de Cu, Ni et Zn peu disponibles, mais potentiellement disponibles, sont apportées
- **Projet CTI:** mise au point d'engrais à base de cendres



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Federal Department of Economic Affairs FDEA

Agroscope Changins-Wädenswil Research Station ACW

Merci de votre attention