



**Comité Français d'Étude et de Développement  
de la Fertilisation Raisonnée**

GRUPE COMIFER SAB - 19/05/2022

à l'INRAE de Versailles

# Ordre du jour

- **Les 42 parcelles de Versailles:**
  - Echanges en salle avec M. Folkert van Oort (retransmis en Teams) ( à partir de 10h)
  - Visite des parcelles
- Déjeuner (13h)
- **Retour en salle avec retransmission en Teams : (à partir de 14h30 jusqu'à 16h30)**
  - Actualité du COMIFER (*Khady et Sophie*)
  - Points divers de la part des participants ?
  - Retour sur la journée oligo : le SAB était-il présent dans cette journée ? (*Pauline Mansot*)
  - Le groupe SAB : retour sur les travaux historiques du groupe pour évaluer les acquis et identifier les nouvelles thématiques à travailler (*Bruno*)
  - Compte rendu/réactions à chaud de la visite des 42 parcelles du point de vue du groupe SAB



**Comité Français d'Étude et de Développement  
de la Fertilisation Raisonnée**

Intervention M. Folkert van Oort

# Un dispositif expérimental de longue durée en sol nu

## les « 42 parcelles » à INRAE - Versailles (1928 - 2022)

photo : Sébastien Breuil



*94 ans d'apports d'engrais et amendements sur un Néoluvisol de lœss :  
→ états et bilans pédogéochimiques*

# *Début d'essais agronomiques de longue durée sur la fertilisation dans le monde*

*...dès le milieu du 19<sup>ème</sup> siècle...*

*→ inspirés des travaux de von Liebig en Allemagne*

❖ 1843	Rothamsted	Grande Bretagne	❖ 1877	Wageningen	Pays Bas
❖ 1851	Sachsen	Allemagne	❖ 1888	Sanborn	USA
❖ 1872	Gembloux	Belgique	❖ 1894	Askov	Danemark
❖ 1875	Dehérain, Grignon	France	❖ .....		
❖ 1876	Morrow Plots	USA			
❖ 1876	Woburn	Grande Bretagne			

- ❖ **Objectif** : effets des engrais minéraux sur les cultures et rotations : → rendement et qualité
- ❖ **Constat** : le sol, simple substrat → fournisseur d'eau et de nutriments

*→ peu d'études sur les interactions des matières fertilisantes avec les constituants et l'organisation des sols ou leurs impacts sur les propriétés des sols*

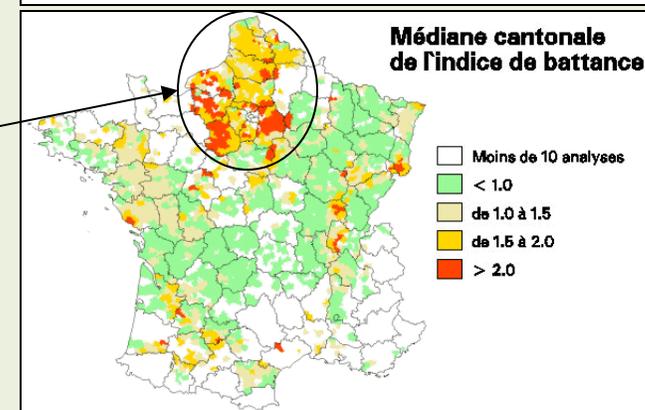
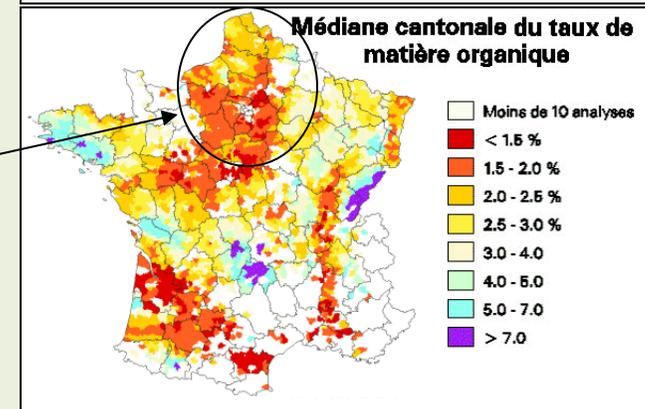
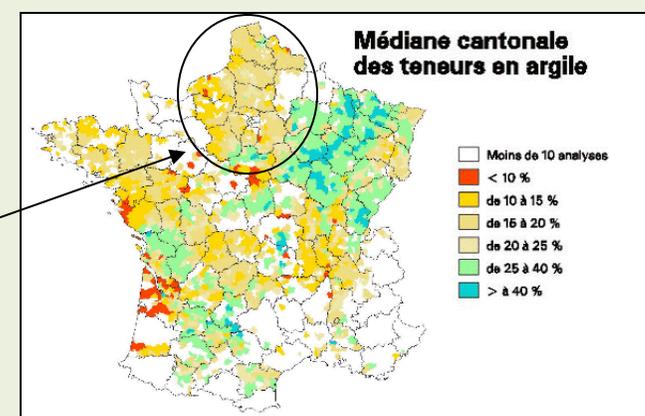
# Le dispositif « les 42 parcelles » : aujourd'hui 94 ans d'expérimentation en sol nu

- ❖ **1928, dans un contexte d'après (grande) guerre** (*activité rurale 'dévastée'...*)
- ❖ **créé sous l'instigation d'Albert Demolon**, *Inspecteur Général des "Stations et Laboratoires de Recherches Agronomiques"*, dans le parc du Château de Versailles
- ❖ **des recherches focalisé sur la qualité des sols** : *étudier les effets cumulatifs d'apports de fertilisants et d'amendements sur les propriétés et la composition des sols*  
(*Burgevin & Hénin, Annales Agronomiques, 1939*)
- ❖ **expérimentation en sol nu, absence de végétation** : « *afin d'exacerber l'impact des traitements sur la phase minérale et sur la structure du sol, en éliminant l'action des plantes* »
- ❖ **dispositif en sols de "limons de plateau"** : *représentatifs de grandes surfaces de culture céréalière, sur les couvertures pédologiques du Bassin Parisien, du Nord de la France et du nord-ouest d'Europe: Néoluvisol de loëss carbonaté*

# Les sols limoneux de lœss

## Nord de la France et le Bassin Parisien

- ❖ Sols de limons:  
~ 15 - 25 % d'argile
- ❖ fertiles mais fragiles :
- ❖ Sols cultivés, sensibles à :
  - acidification
  - perte de MO
- ❖ Dégradation physique des sols
  - érosion, battance, densification



Source: Base cantonale de la France, site Internet AFES

# Les 42 parcelles - protocole expérimental

## ❖ plan d'expérience :

- parcelles de 2,5 × 2 m
- 16 traitements, 2 réplicas
- 10 parcelles témoins
- soit 17 traitements
- 42 parcelles, divisées en 2 blocs
  - N, fumier à gauche,
  - P, K et amendements basiques à droite



## ❖ gestion immuable depuis 1928:

- apports des engrais azotés au printemps
- apports fumier, engrais-P, -K et amendements basiques à l'automne
- bêchage de l'ensemble des parcelles après apports (2 × par an)
- élimination manuelle (chimique) des mauvaises herbes

# Les 42 parcelles - Plan d'expérience



1er épandage : le 12 Novembre 1928!

- sans engrais
- engrais azotés (N)  
Eq. 100 kg N ha<sup>-1</sup> an<sup>-1</sup>
- ammoniacaux (NH<sub>4</sub>)<sup>+</sup>
- nitrites (NO<sub>2</sub>)<sup>-</sup>
- nitrates (NO<sub>3</sub>)<sup>-</sup>
- engrais phosphatés (P)  
Eq. 200 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ha<sup>-1</sup> an<sup>-1</sup>
- engrais potassiques (K)  
Eq. 250 kg K<sub>2</sub>O ha<sup>-1</sup> an<sup>-1</sup>
- amendements basiques (Ca)  
Eq. 1000 kg CaO ha<sup>-1</sup> an<sup>-1</sup>
- amendements organiques  
Eq. 100 t de fumier ha<sup>-1</sup> an<sup>-1</sup>

# Les 42 parcelles – collection historique



photos : Sébastien Breuil

## ❖ échantillonnage/archivage

- prélèvements à la tarière (bêche) sur 25 cm
- rythme variable au cours du temps

1929 – 1942 : 5 /an (> 2000 échantillons en 1939)

1943 – 1950 : 2 /an

1951 – 1968 : 1 /an

> 1968 : 1 tous les 3 à 5 ans



- dernier campagne de prélèvements : 2021
  - conditionnement : terre tamisée à 2 mm, séché à l'air
  - archivage en bocaux en verre
- collection historique 1929 - 2021 : ≈ 3000 échantillons

# Les 42 parcelles – maître d'œuvre

- ❖ 1928 - 1974 : Station (Centrale) d'Agronomie
- ❖ 1974 - 2006 : Station (Unité) de Science du Sol
- ❖ 2006 - 2015 : UR Pessac
- ❖ 2015 - 2022 : UMR Ecosys
- ❖ > 2022 : → UE-Versailles, Université Paris-Saclay ?  
(ou arrêt ?.....)

# Le sol - composition & propriétés

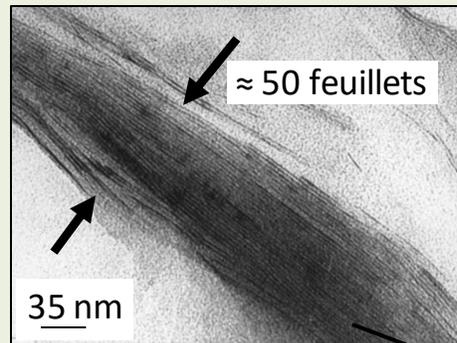
..... en 1928 .....

<b>granulométrie</b>	sable grossier siliceux (200 – 2000 $\mu\text{m}$ )	2,6	%
	sable fins (20 – 200 $\mu\text{m}$ )	61,3	%
	limon (2 – 20 $\mu\text{m}$ )	15,2	%
	argile (< 2 $\mu\text{m}$ )	15,3	%
<b>acidité</b>	pH	6,4	
	calcaire	traces	
<b>matières organiques</b>	matières organiques	3,9	%
	azote	0,19	%
	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> soluble dans l'acide citrique (2%)	0,18	%
<b>complexe d'échange</b>	CaO échangeable	3,88	%
	MgO échangeable	0,30	%
	K <sub>2</sub> O échangeable	0,105	%

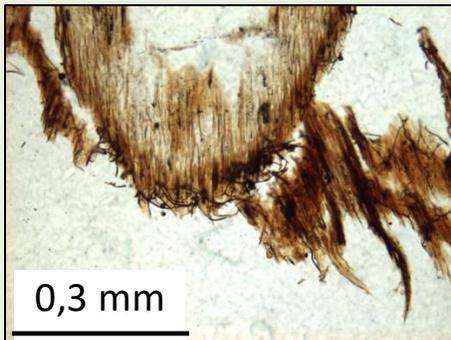
Source : Burgevin et Hénin (Annales Agronomiques, 1939)

# 42 parcelles – composition & propriétés

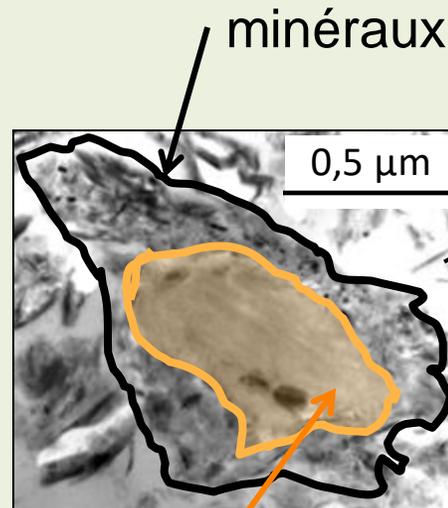
## ❖ Le sol : un système hétérogène - organisé à différentes échelles



**argile** (smectite)  
CEC : 80 – 150 cmol<sup>+</sup> kg<sup>-1</sup>



**matière organique** (résidu)  
CEC : 200-400 cmol<sup>+</sup> kg<sup>-1</sup>

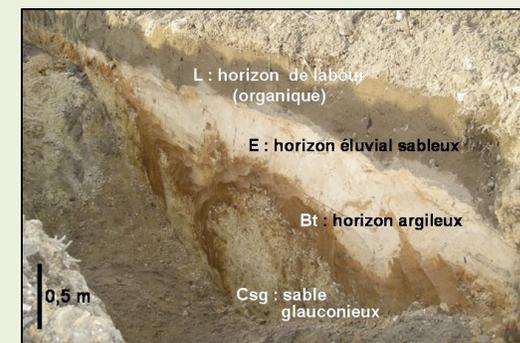


**matière organique**

**complexe organo-minéral**  
agrégation, stabilité  
structurale, microporosité,  
réserve en eau



**agrégation** - macrostructure  
porosité, transfert eau, drainage

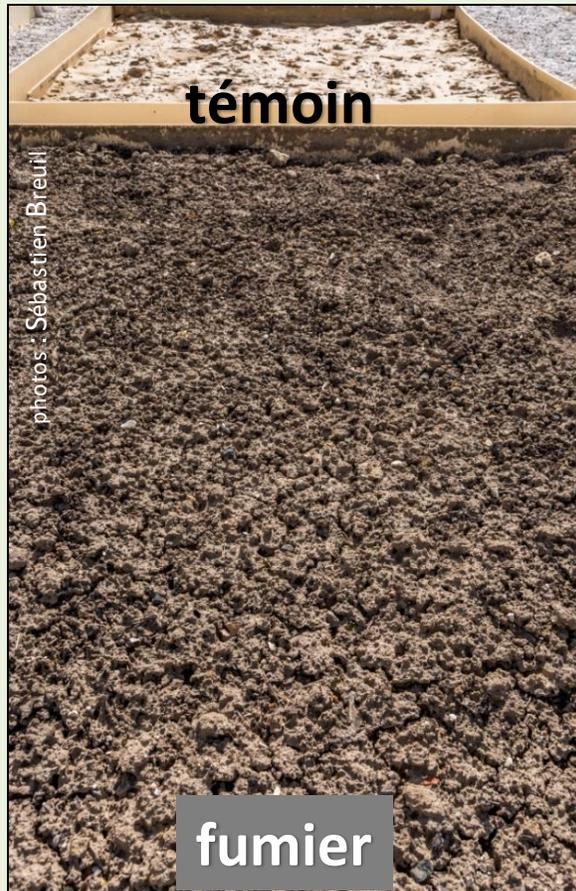


**solum** – horizons, substrat géologique  
propriétés chimiques & physiques

# Les 42 parcelles – faits marquants *(liste non-exhaustive....)*

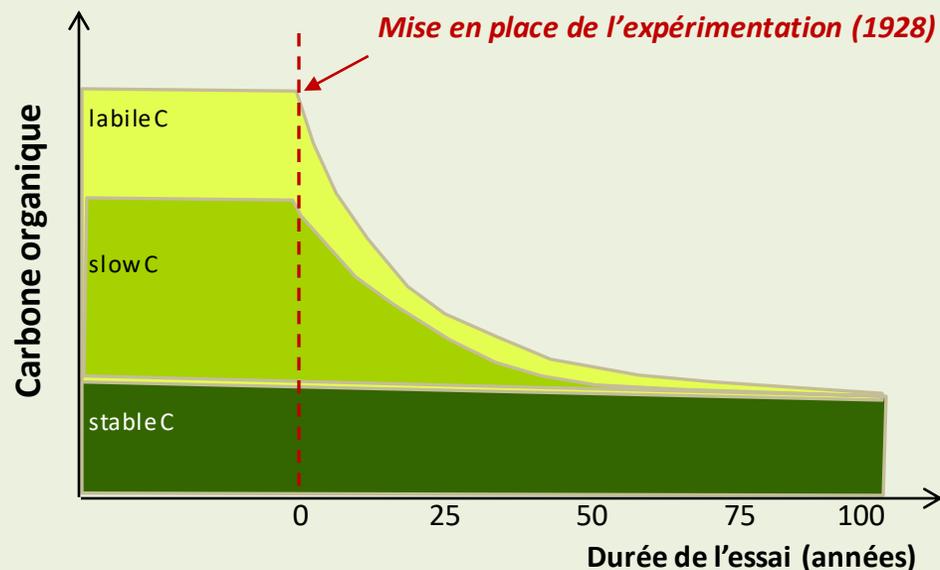
**Objectif initial** : suivi à long-terme des propriétés chimiques (N, P, K, S, majeurs, traces, acidité, complexe d'échange), et physiques (texture, porosité, agrégation)

→ *Annales Agronomiques >1935...*



# Les 42 parcelles – faits marquants...

**Modélisation de processus** : dynamique & propriétés du carbone organique ;  
mobilité/fixation de pesticides ; activités enzymatique et microbienne

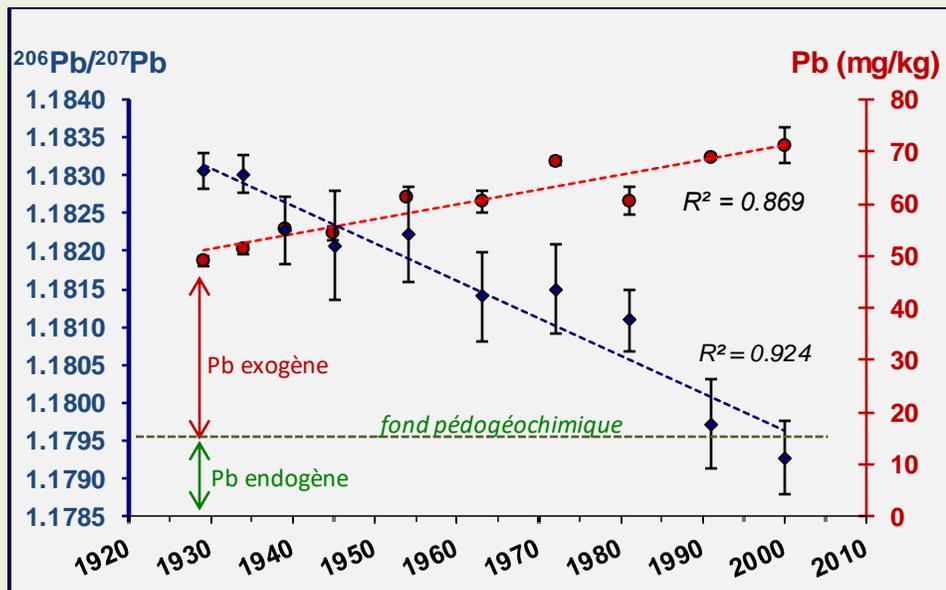


- cinétique de minéralisation du carbone organique dans différents des essais de longue durée en Europe
- quantité, nature, localisation et stabilité du C « récalcitrant »
- dispersibilité d'argile, stabilité de l'agrégation, protection physique du carbone organique

→ travaux de C. Chenu, P. Barré, R. Paradelo et al. (2010-2021)

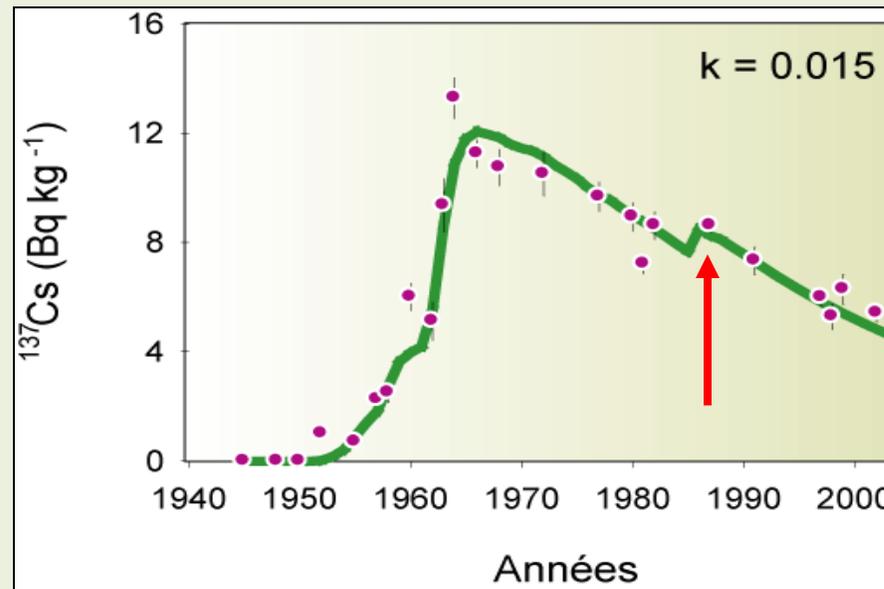
# Les 42 parcelles – faits marquants...

**Observatoire Qualité Environnement** : quantification des apports d'éléments polluants par les engrais ou retombées atmosphériques (ETM, radionucléides)



- Semlali et al., 2004

origine de retombées de Pb



- Monna et al., 2009

historique de retombées de <sup>137</sup>Cs (activité)

# Les 42 parcelles – les recherches

## Au menu du jour : questions d'ordre pédologique

- évolution centenaire des propriétés pédogéochimiques et minéralogiques
- 100 ans → *long-terme pour les agronomes, mais court-terme en pédologie...*

- ❖ échantillonnage > 2014 : l'ensemble des 42 parcelles / horizon de surface
- ❖ sondages tarière 2015 : sélection de 12 parcelles / horizons en profondeur
- ❖ collection historique : mêmes 12 parcelles / surface, sélection de 20 années > 1929
- ❖ soutien financier : INRAE, Département-AgroEcosystem, Ademe
- ❖ analyses pédogéochimiques : Laboratoire d'Analyses des Sols (LAS), INRAE-Arras  
→ travaux de van Oort, Paradelo, Delarue, Breuil, Proix, et al. (2016-2020) .. et c'est pas fini!!

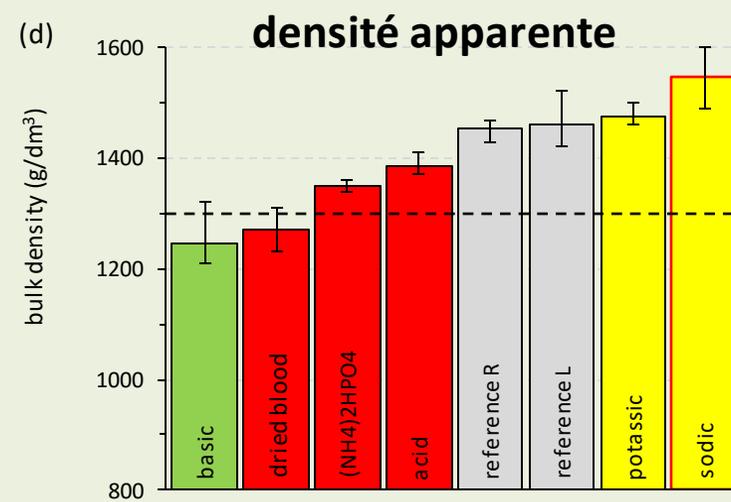
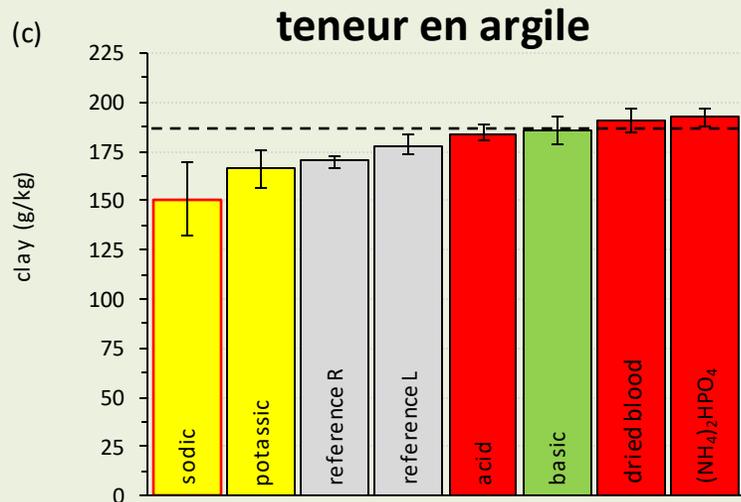
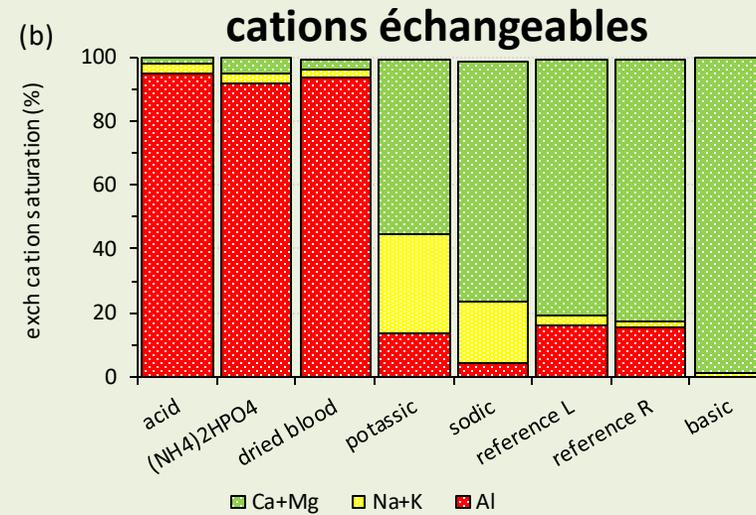
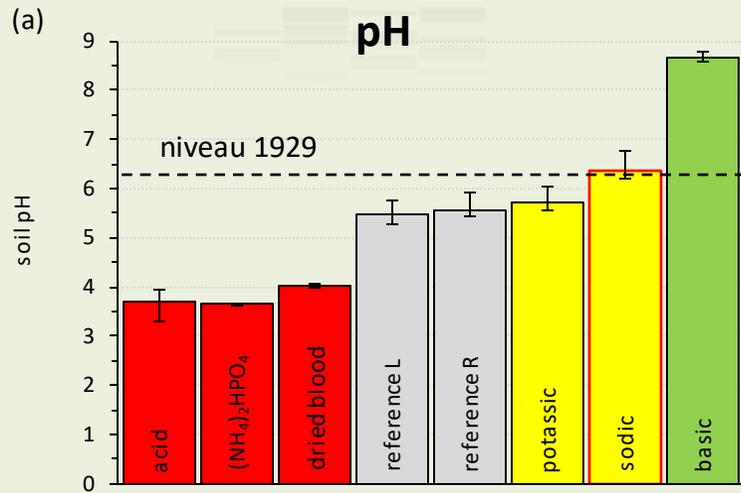
# Les 42 parcelles – les recherches

❖ faciliter la lecture des résultats (× 42), regrouper des traitements, même code couleur

Groupe / Code couleur	apport fertilisant / amendement	N° parcelles	n
Témoins	○ sans traitement	1, 9, 11, 13, 21, 22, 30, 32, 34, 42	10
Acides	● (NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> , (NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub> , NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub> , NH <sub>4</sub> Cl, sang desséché	2, 19, 3, 14, 6, 20, 7, 15, 8, 18	10
Nitrate de calcium	● Ca(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	5, 16	2
Monovalents	● NaNO <sub>3</sub> , (Na,K)Cl ( <i>sylvinite</i> )	4, 17, 29, 36,	4
	● KCl, K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> ,	23, 37, 25, 41	4
Fumier	● fumier de cheval	10, 12	2
Phosphates	● superphosphate, phosphate naturel	27, 38, 28, 33	4
Scories	● scories de déphosphoration	24, 35	2
Basiques	● CaO, CaCO <sub>3</sub>	26, 40, 31, 39	4

> 15 000 déterminations : → sélection de résultats

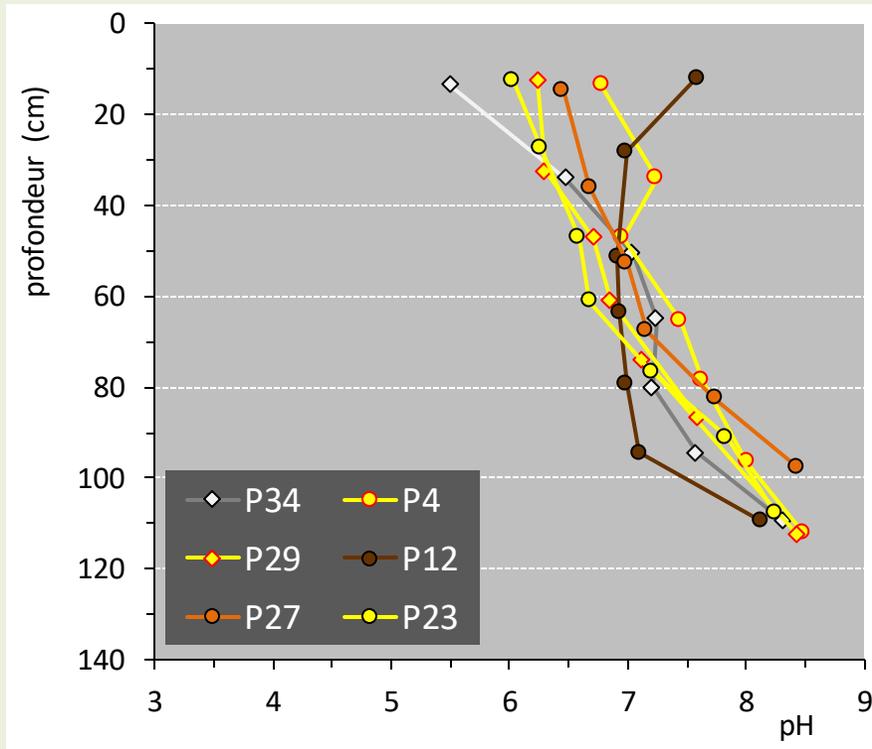
# Les 42 parcelles – état en surface en 2014



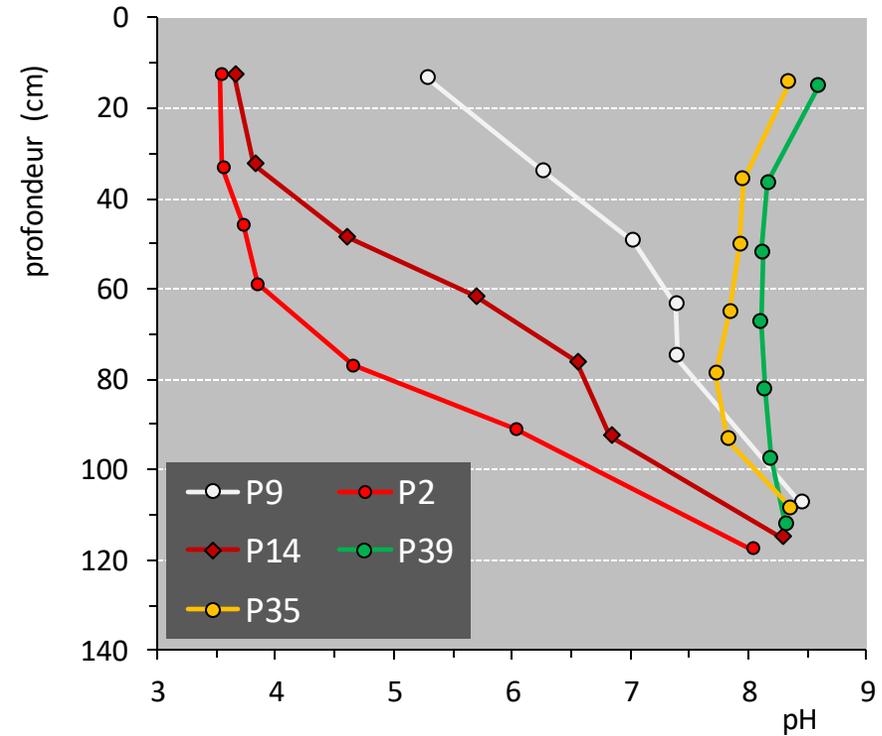
processus majeurs : acidification & lessivage

# Les 42 parcelles – impacts en profondeur ?

...profils de pH en 2015...

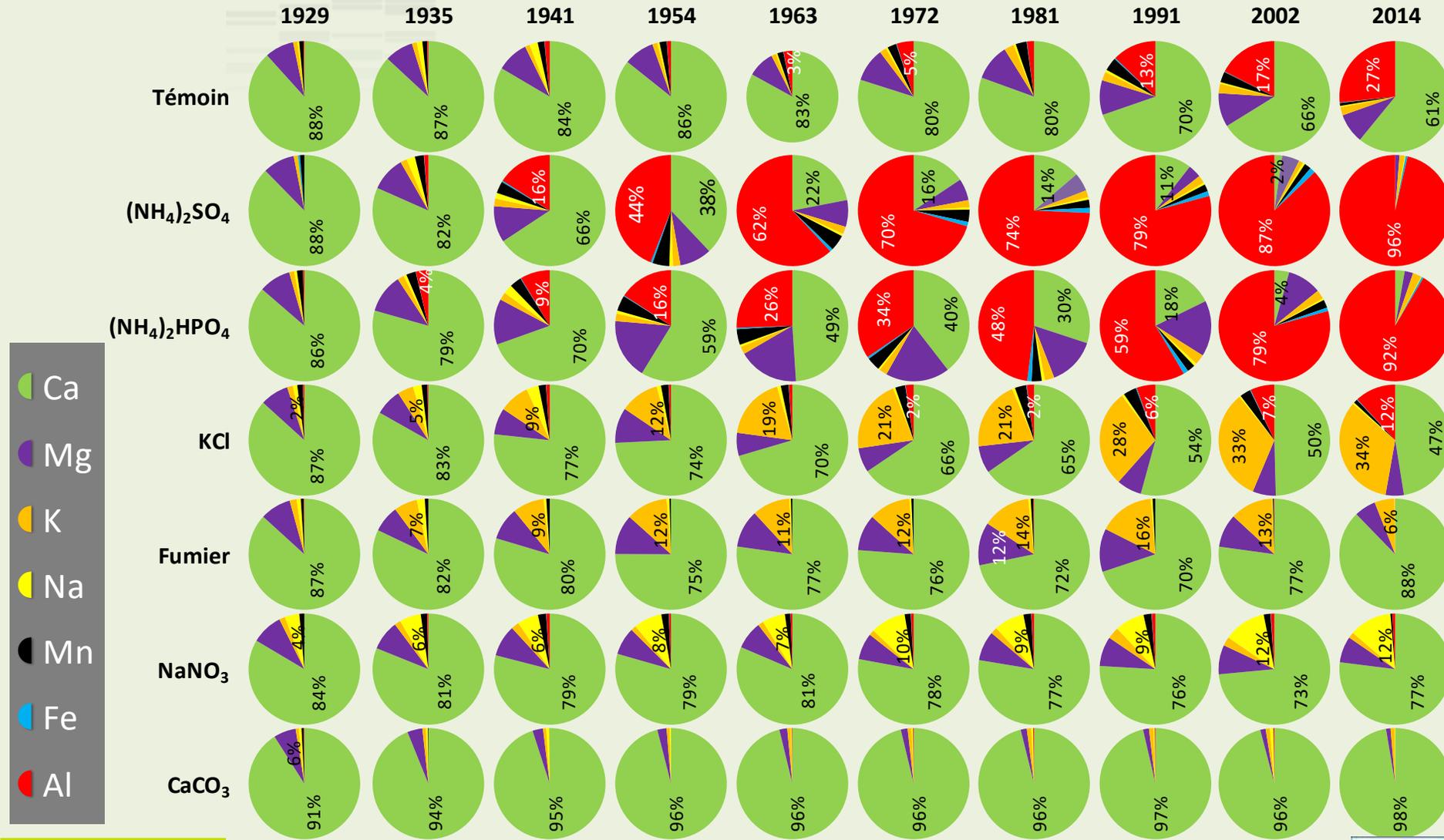


P34 - témoin  
 P29 - sylvinite  
 P27 - super-P  
 P4 -  $\text{NaNO}_3$   
 P12 - fumier  
 P23 - KCl

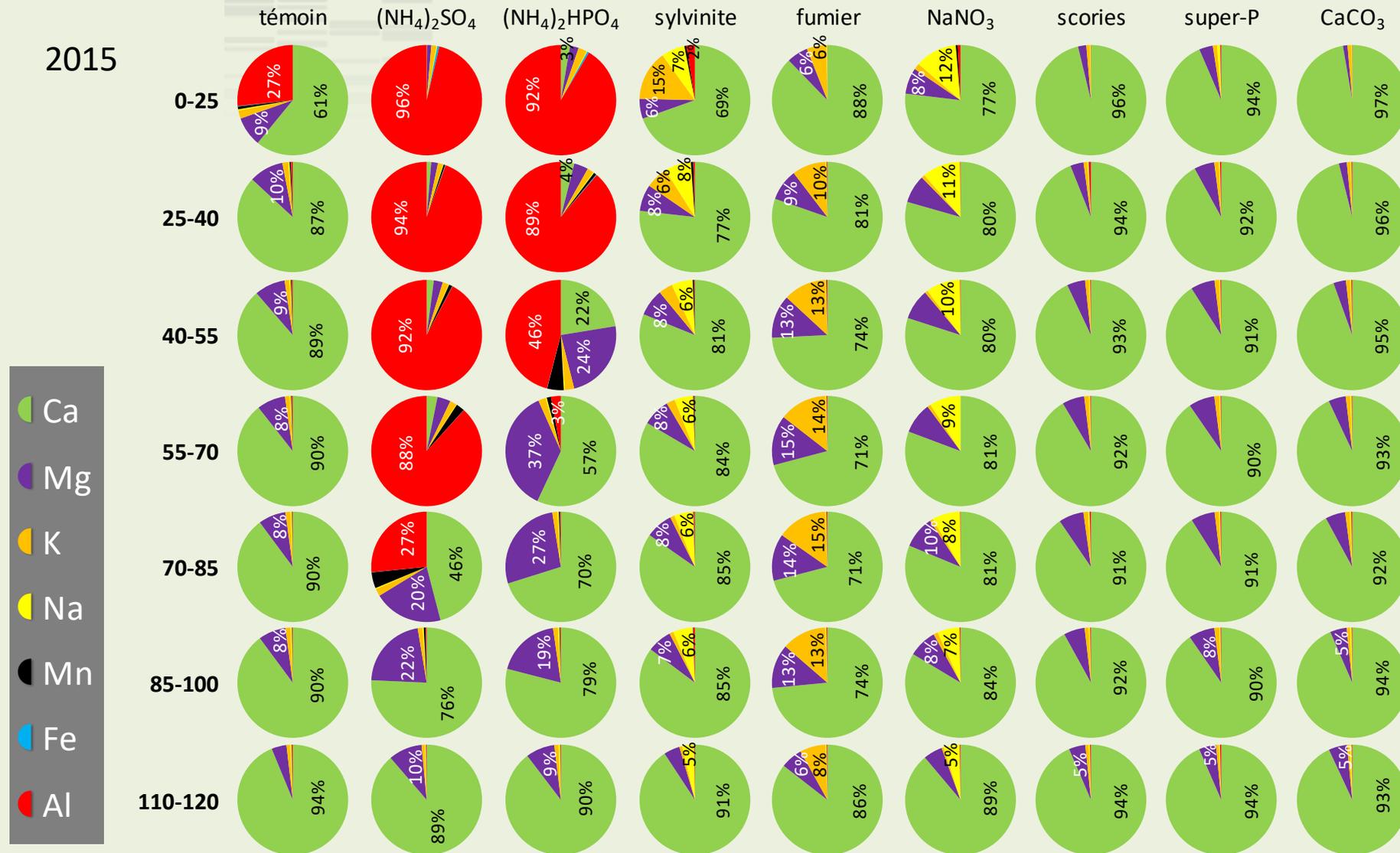


P9 - témoin  
 P14 -  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$   
 P35 - scories  
 P2 -  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$   
 P39 -  $\text{CaCO}_3$

# Les 42 parcelles – garniture cationique ...chronologie en surface...

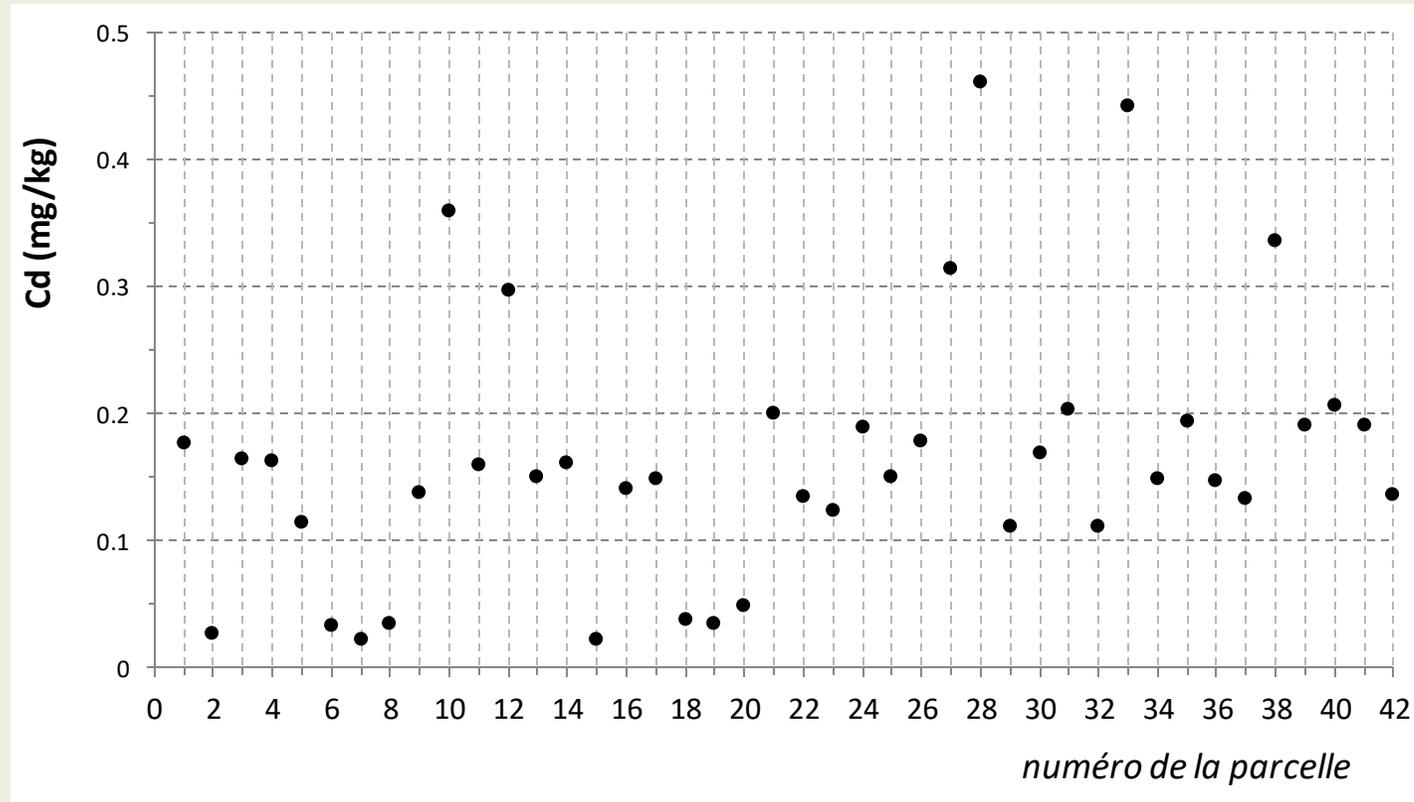


# Les 42 parcelles – garniture cationique ...en profondeur...



# Les 42 parcelles – teneurs totales en 2014 (surface)

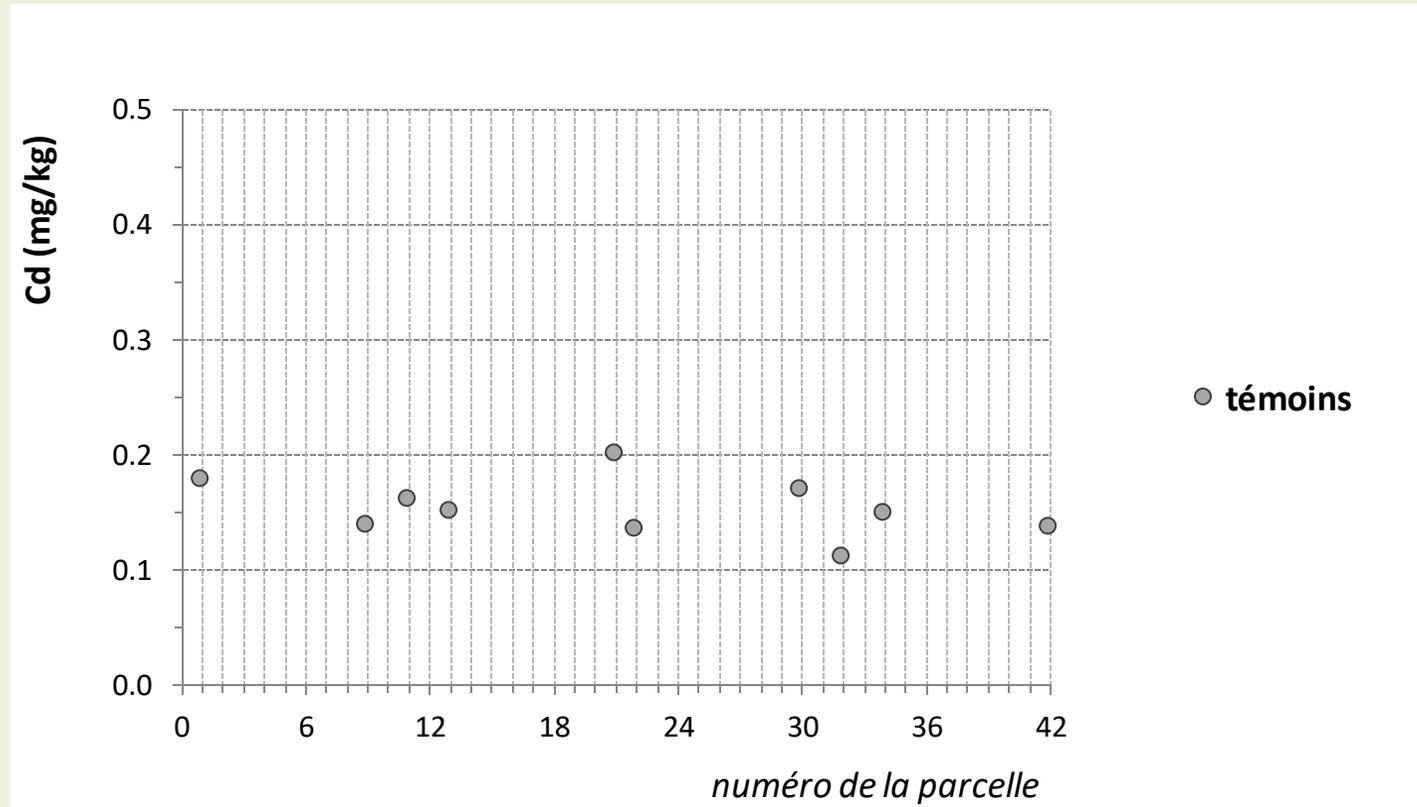
...du chaos à l'ordre -> exemple du Cadmium



→ grande dispersion des teneurs, mais...

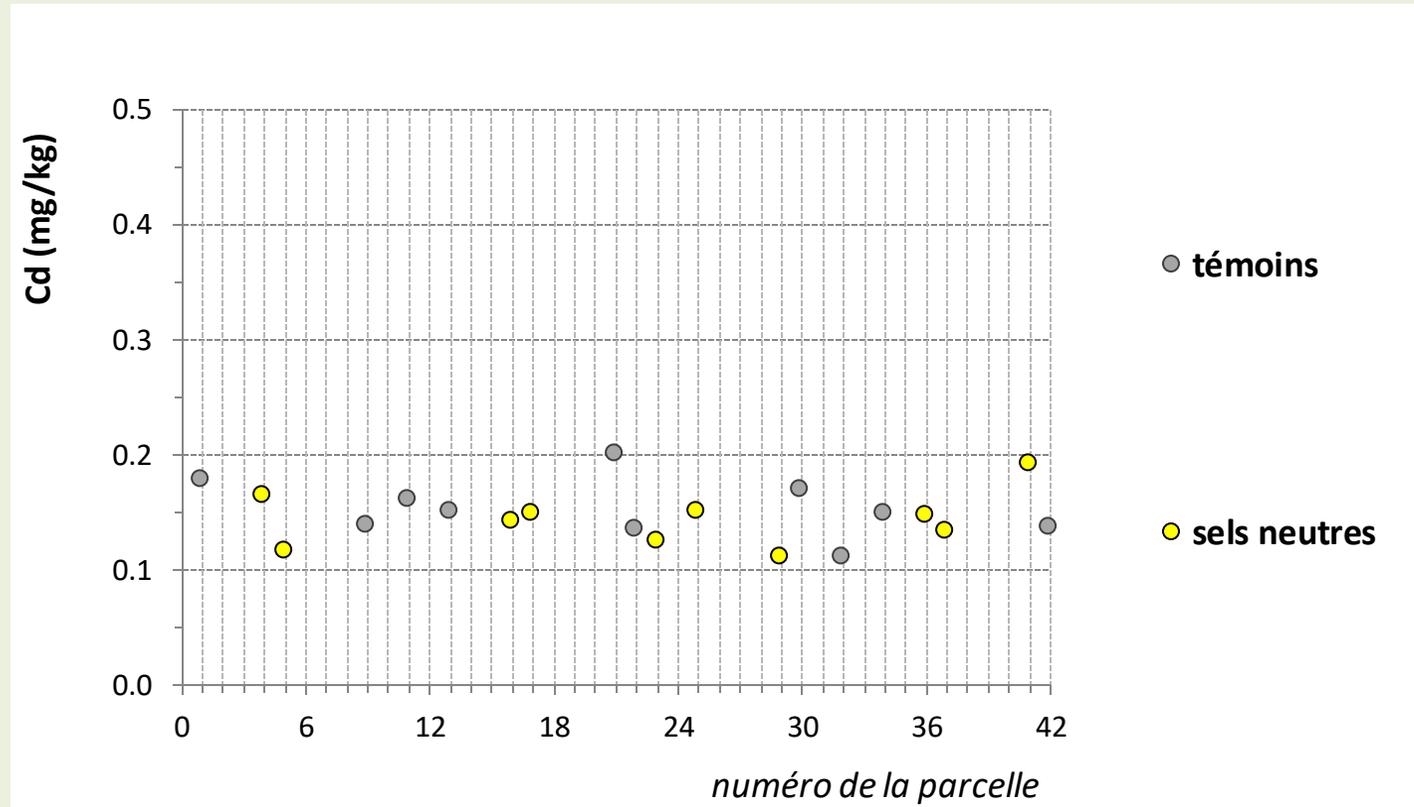
# Les 42 parcelles – teneurs totales en 2014 (surface)

...du chaos à l'ordre -> exemple du Cadmium



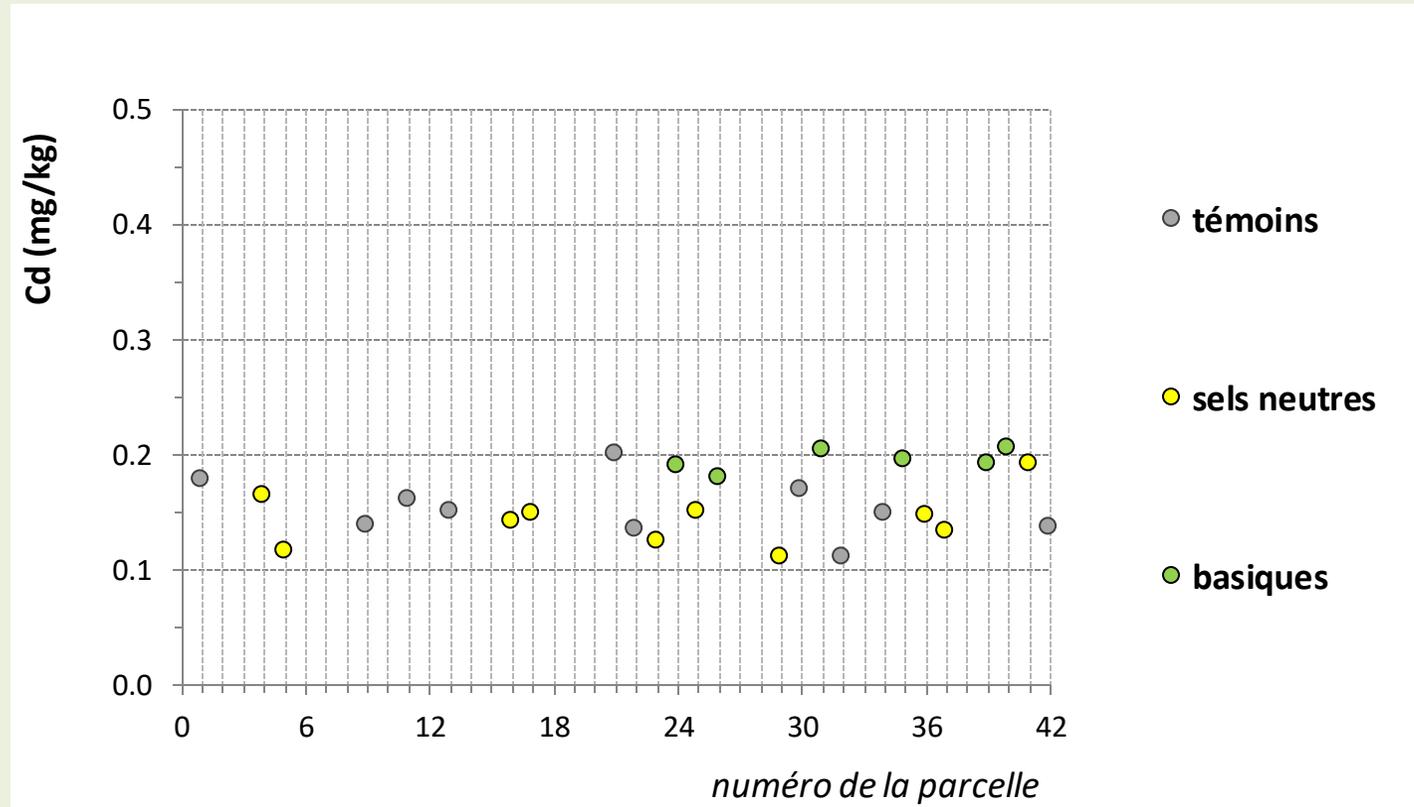
# Les 42 parcelles – teneurs totales en 2014

...du chaos à l'ordre -> exemple du Cadmium



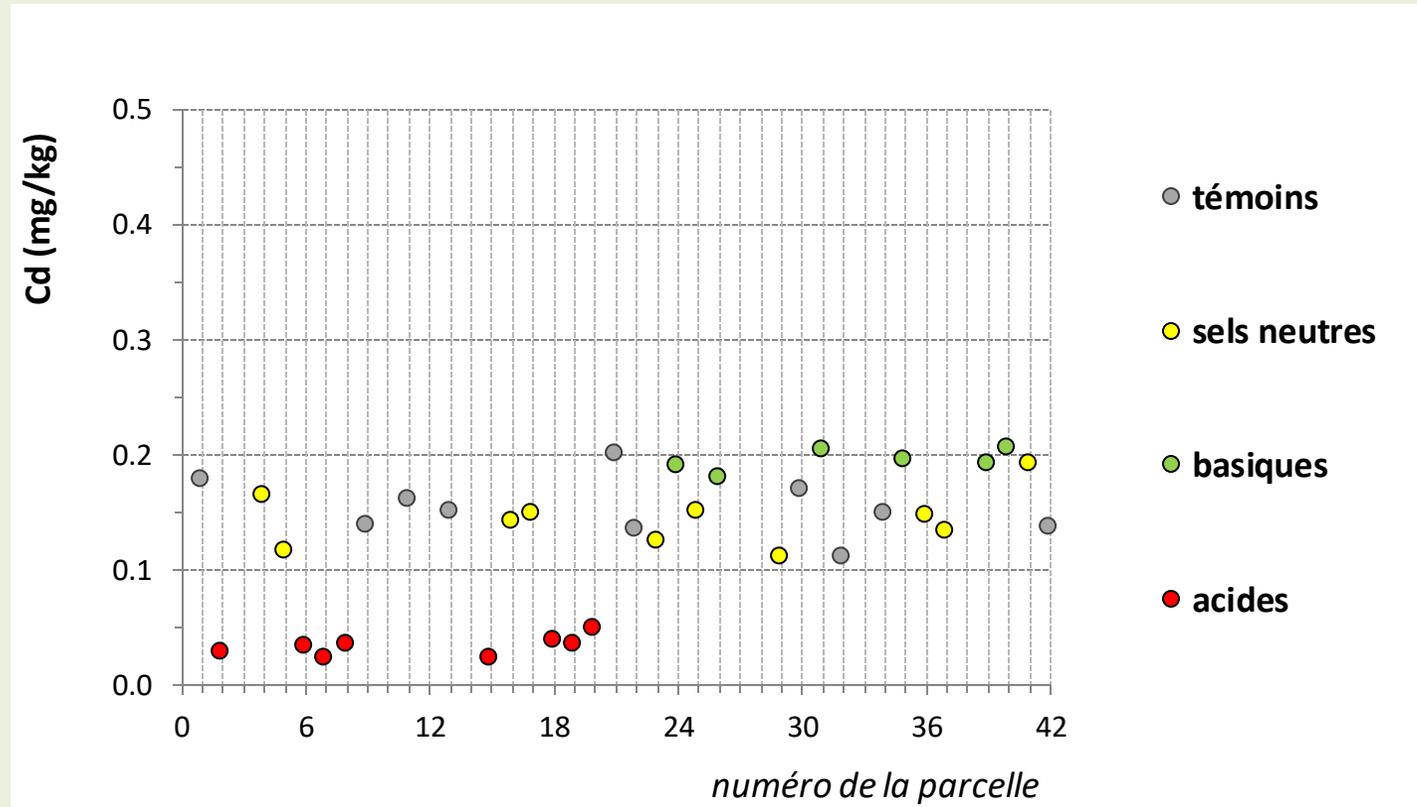
# Les 42 parcelles – teneurs totales en 2014

...du chaos à l'ordre -> exemple du Cadmium



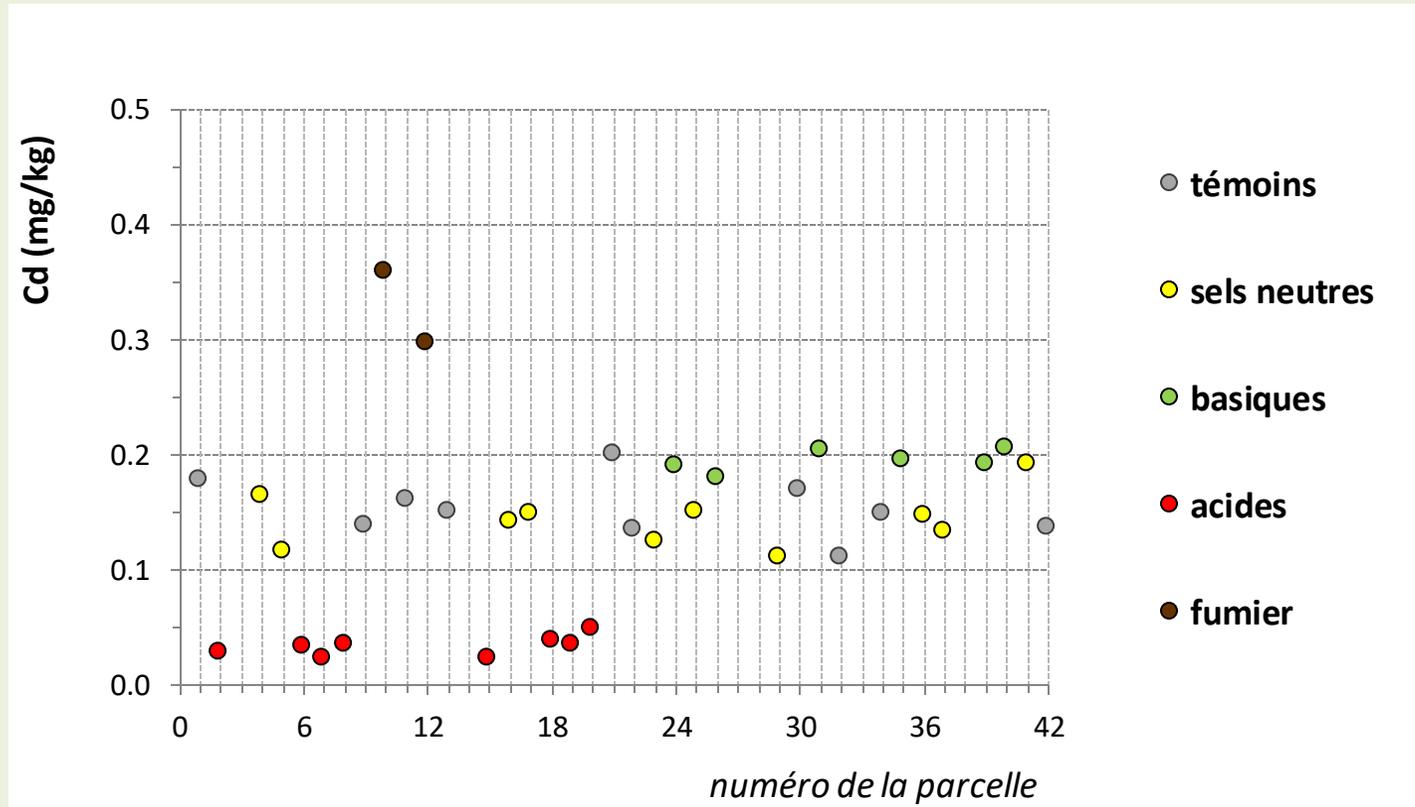
# Les 42 parcelles – teneurs totales en 2014

...du chaos à l'ordre -> exemple du Cadmium



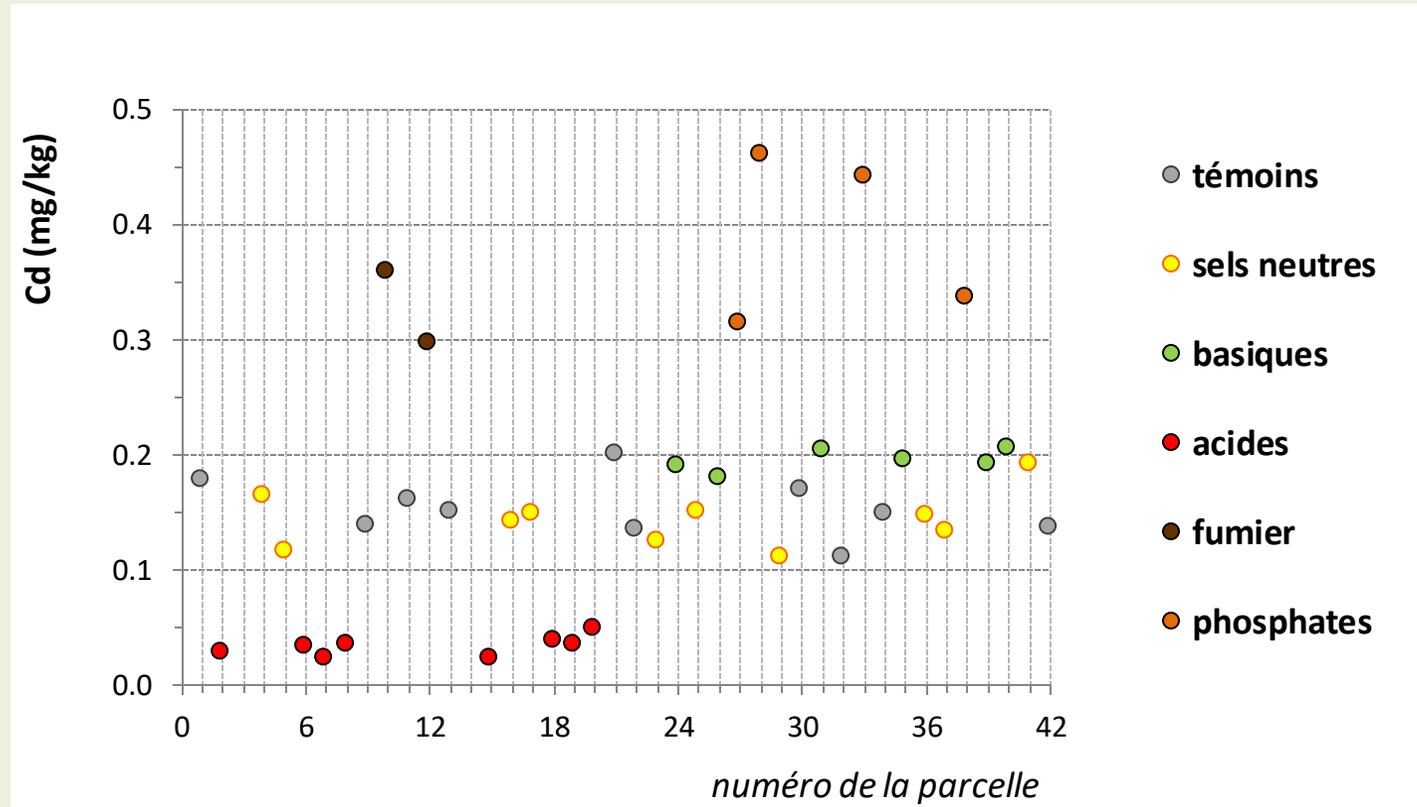
# Les 42 parcelles – teneurs totales en 2014

...du chaos à l'ordre -> exemple du Cadmium



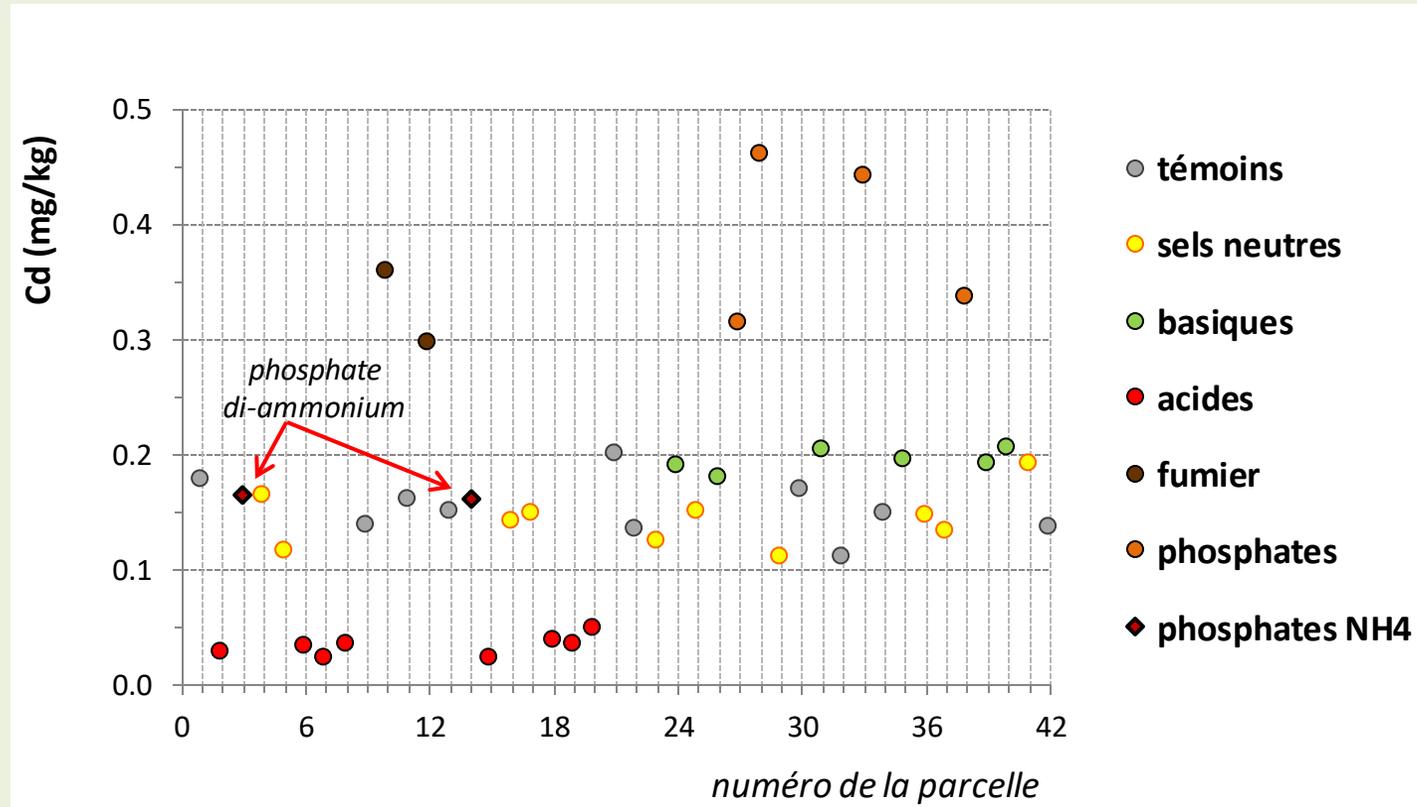
# Les 42 parcelles – teneurs totales en 2014

...du chaos à l'ordre -> exemple du Cadmium



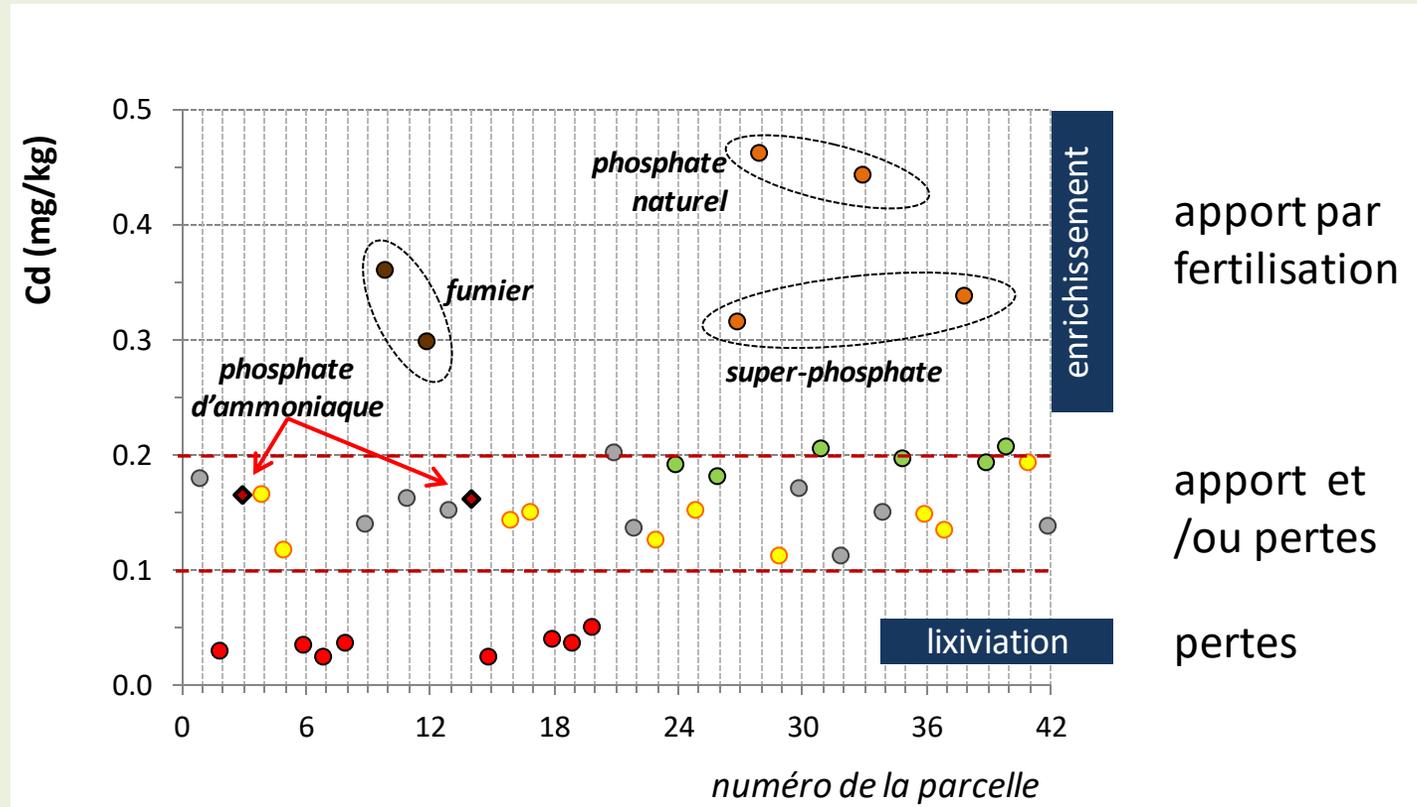
# Les 42 parcelles – teneurs totales en 2014

...du chaos à l'ordre -> exemple du Cadmium

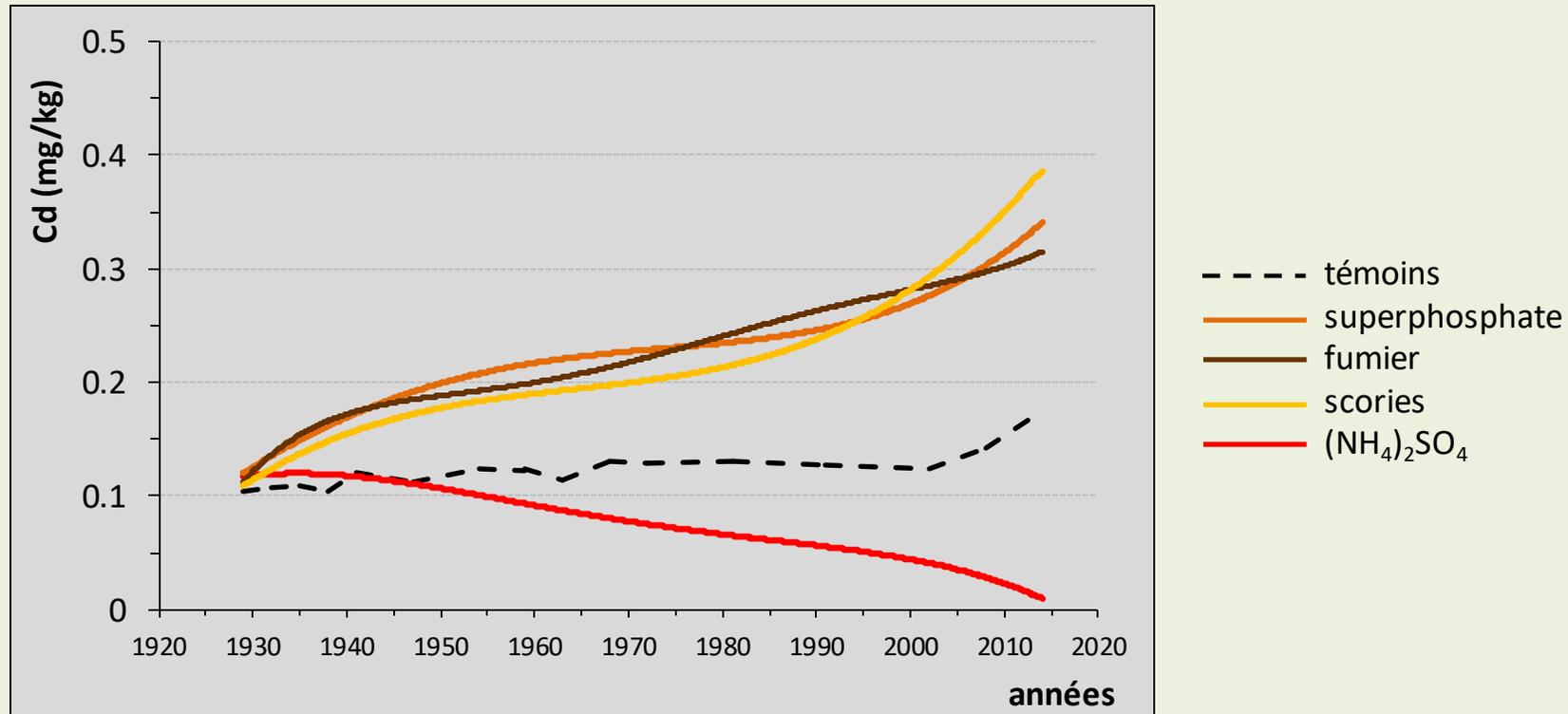


# Les 42 parcelles – teneurs totales en 2014

...du chaos à l'ordre -> exemple du Cadmium

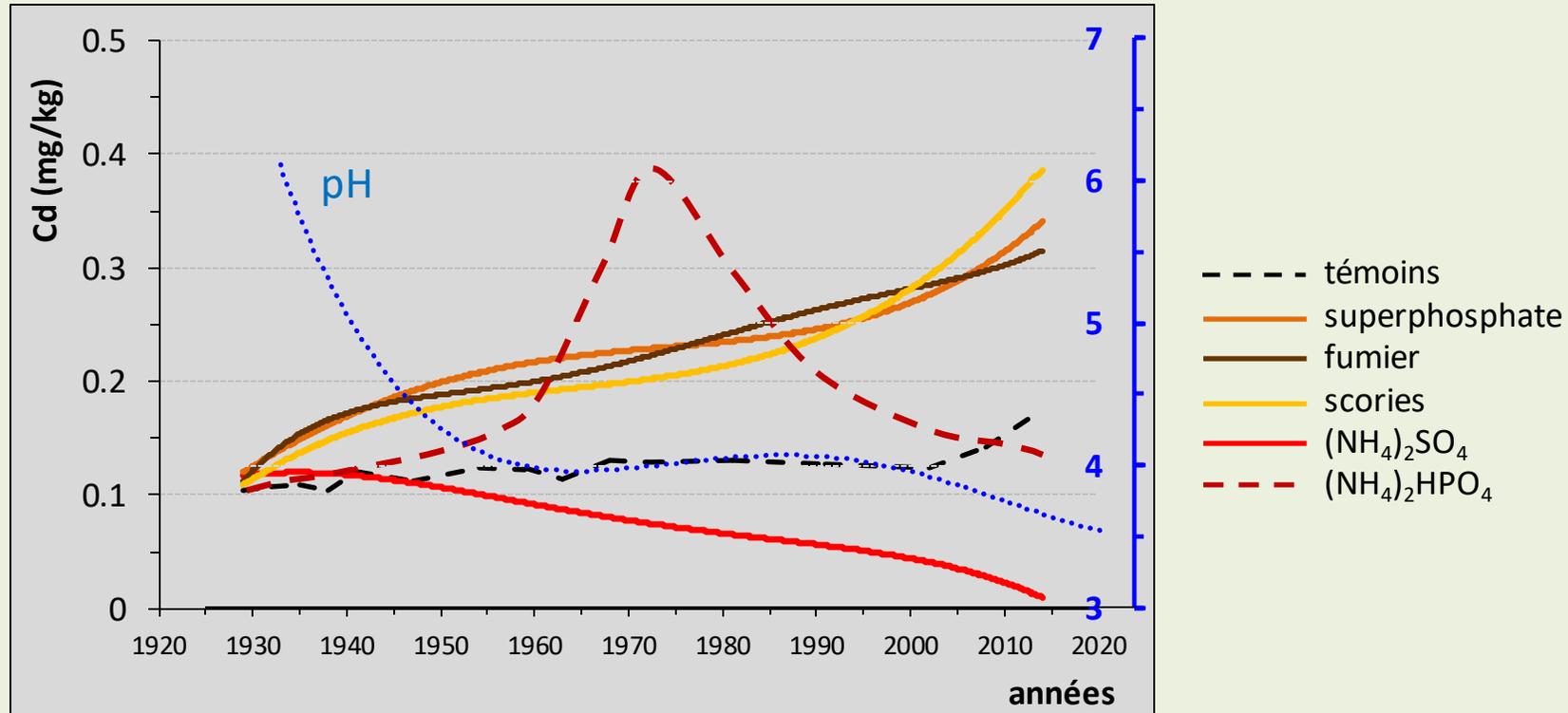


# Les 42 parcelles – teneur en Cd, chronologie



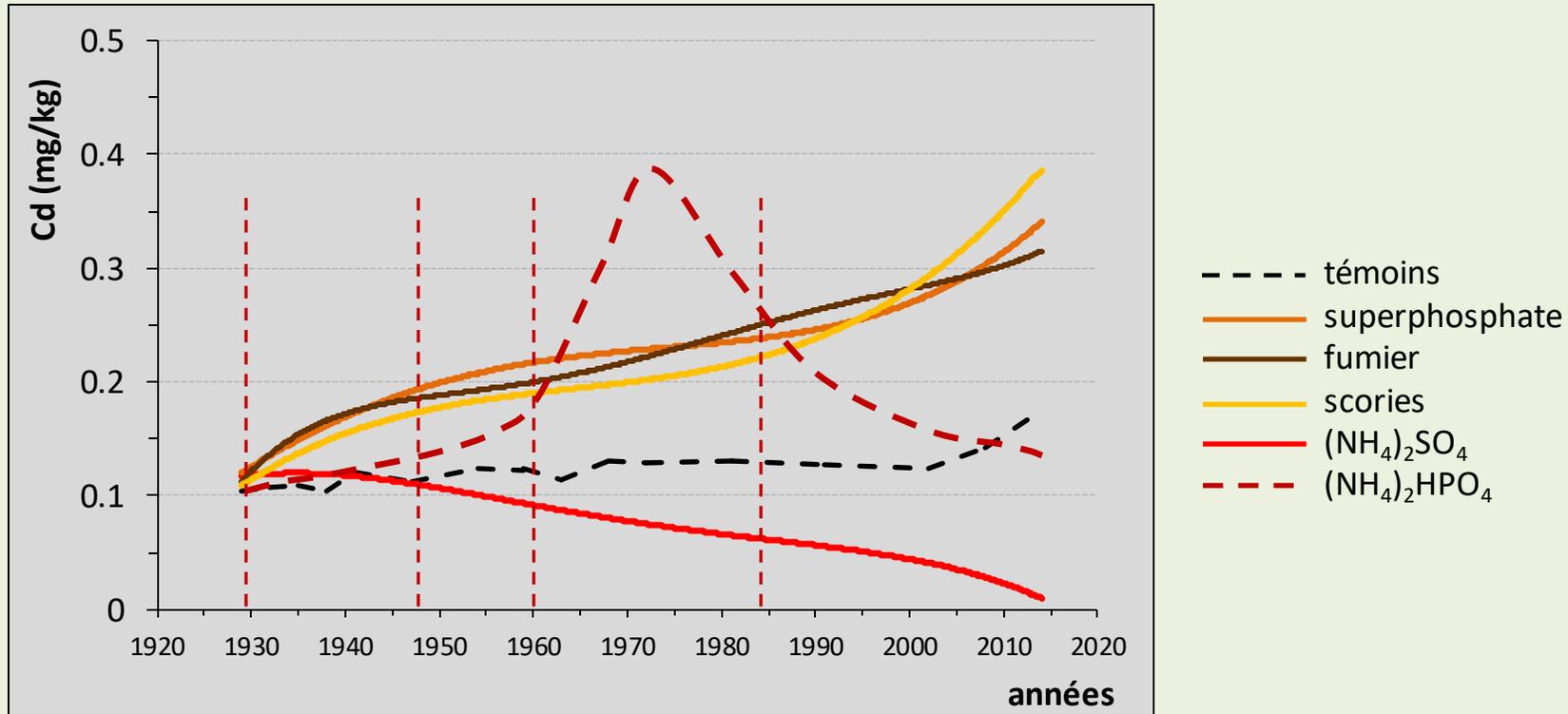
# Les 42 parcelles –teneur en Cd, chronologie

...du chaos à l'ordre -> exemple du Cadmium



# Les 42 parcelles –teneur en Cd, chronologie

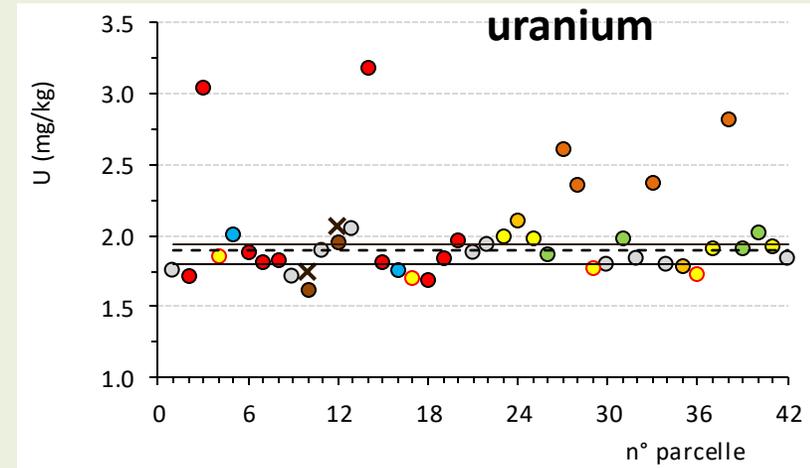
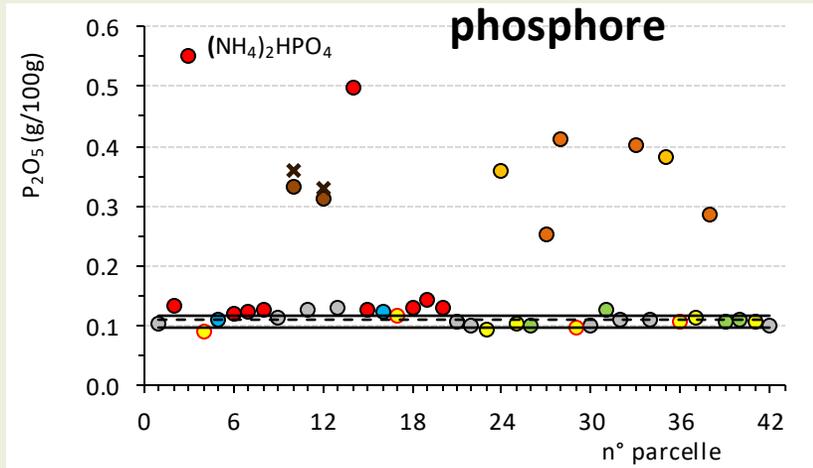
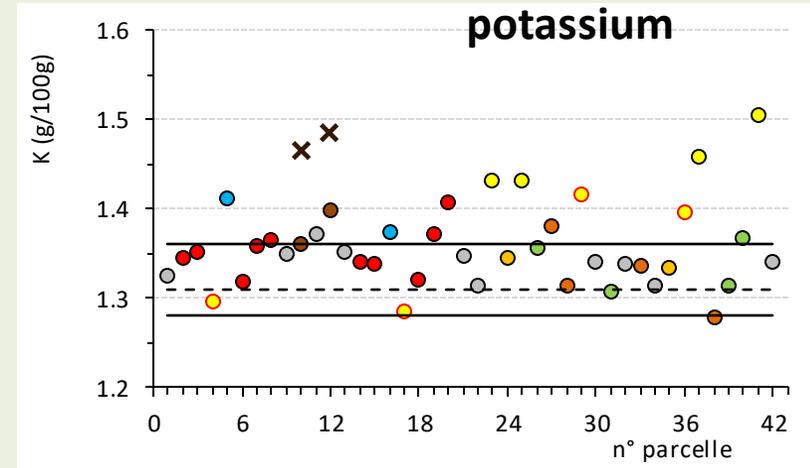
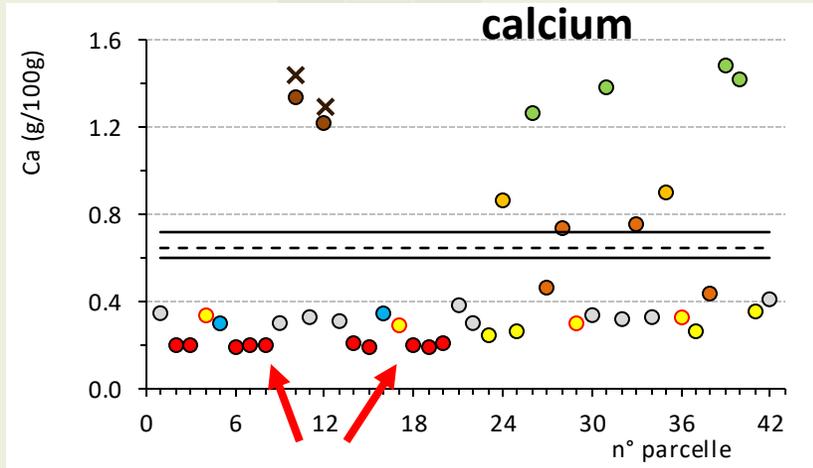
...du chaos à l'ordre -> exemple du Cadmium



(Juste et Tauzin, 1986) : analyse Cd en 1929, 1947, 1960, 1984 , parcelle phosphate di-ammonium 0,21 - 0,21 - 0,21 - 0,34 g/kg, soit un gain de **+284 g/ha en 56 ans**

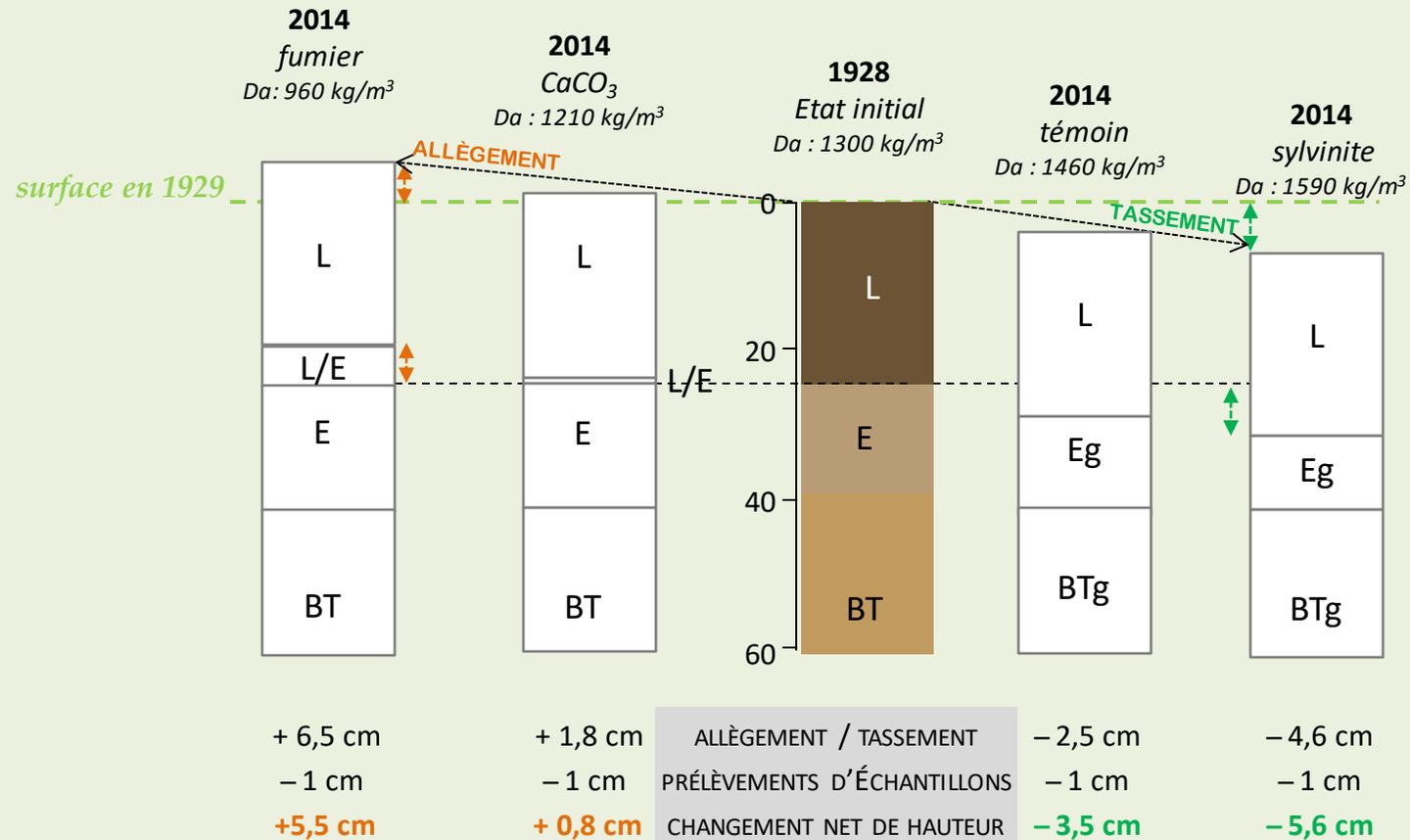
l'interprétation de teneurs en éléments dans un échantillon de sol à un temps "t", est conditionnée par son histoire ...

# Les 42 parcelles – teneurs totales en 2014 (surface)



# Les 42 parcelles – quantifier les changements

bilan des différences de stocks d'éléments en 1929 et 2014 :  
→ postulats à la base des calculs



# Les 42 parcelles – bilan apports/pertes (2014)

- ❖ **7 majeurs** : Ca, Mg, K, Na, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, Al, Fe // **13 traces** : As, Cd, Co, Cr, Cu, Mn, Mo, Ni, Pb, Sc, Tl, U, Zn
- ❖ stocks en 1929 :  $C_{el(1929)} \times Mv \times E$  ( $Mv = 1300 \text{ kg/m}^3$ ,  $E = 25 \text{ cm}$ )
- ❖ stocks en 2014 :  $C_{el(2014)} \times Mv \times E$  ( $C_{el}$ ,  $Mv$ ,  $E$  variables)
- ❖ **parcelles témoins** : gains/pertes en conditions climatiques locales →  
retombées atmosphériques

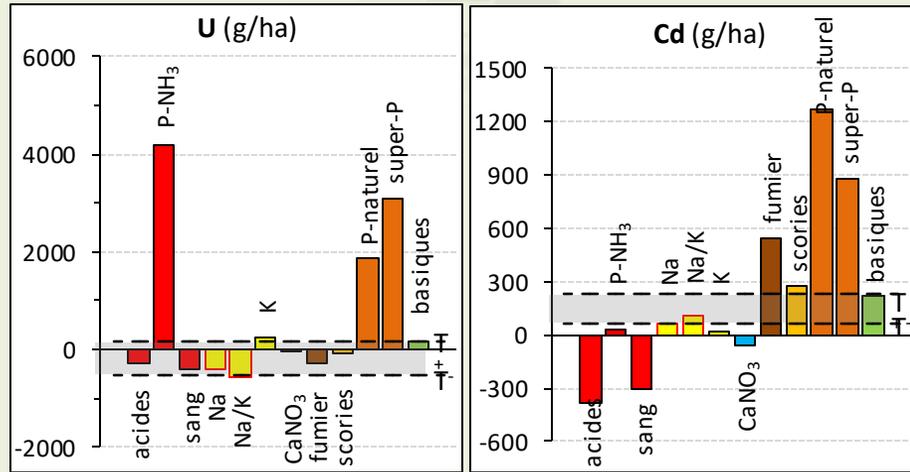
Major elements	Ca	Mg	K	Na	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Al	Fe
S <sub>1929</sub> (g/m <sup>2</sup> )	2069	918	4250	1766	358	11823	5913
S <sub>2014</sub> (g/m <sup>2</sup> )	876	862	4248	1877	361	12006	6091
p-value	<0.01**	<0.01**	0.15	<0.01**	0.64	0.25	0.055
B <sub>2014-1929</sub> (kg/m <sup>2</sup> )	-1.2	-0.05	-	+0.1	-	-	-

→ pertes de Ca et Mg : ≈ 12 et 0,5 t/ha ; apport : 1 t/ha de Na en 85 ans....

Trace elements	As	Cd	Co	Cr	Cu	Mn	Mo	Ni	Pb	Sc	Tl	U	Zn
S <sub>1929</sub> (mg/m <sup>2</sup> )	2583	39.5	2062	13312	6530	113923	161	5328	16753	1781	129	615	15380
S <sub>2014</sub> (mg/m <sup>2</sup> )	2539	52.0	2492	18374	6895	128719	178	5285	25856	1743	128	593	20437
p-value	0.31	<0.01**	<0.01**	<0.01**	0.31	0.31	<0.01**	0.55	<0.01**	0.11	0.55	0.31	<0.01**
B <sub>2014-1929</sub> (mg/m <sup>2</sup> )	-	+12.5	+430	+5026	-	-	+17	-	+9103	-	-	-	+5057

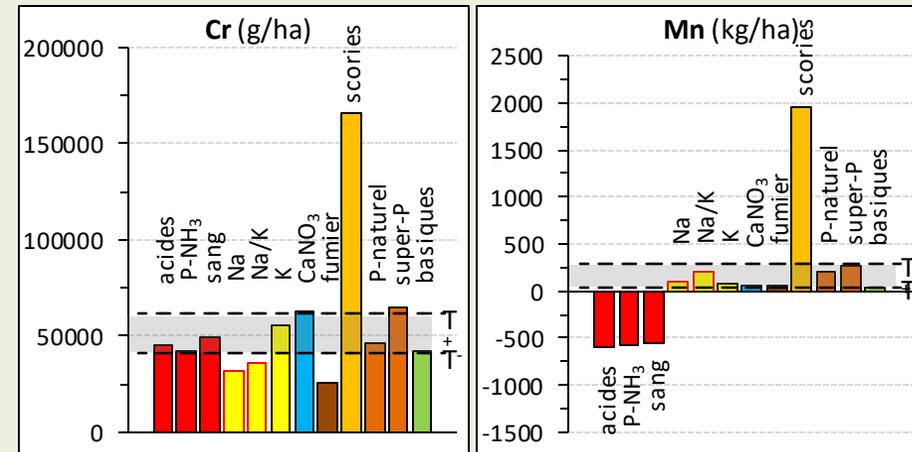
→ dépôts atmosphériques d'ETM : ≈ 200 kg/ha [Pb+Zn+Cr+Co] en 85 ans.... (20 g/m<sup>2</sup>)!!!

# Les 42 parcelles – bilan apports/pertes (2014)

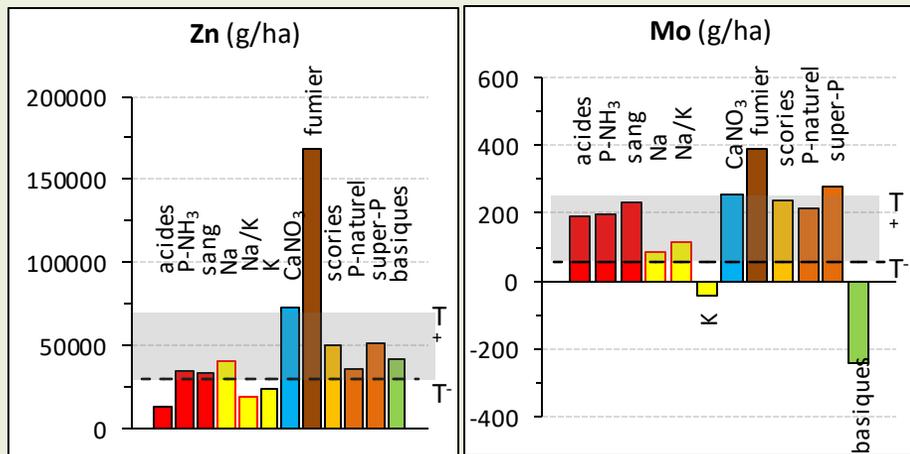


*phosphates*

parcelles fertilisées :  
*apports d'éléments par les traitements*



*scories*

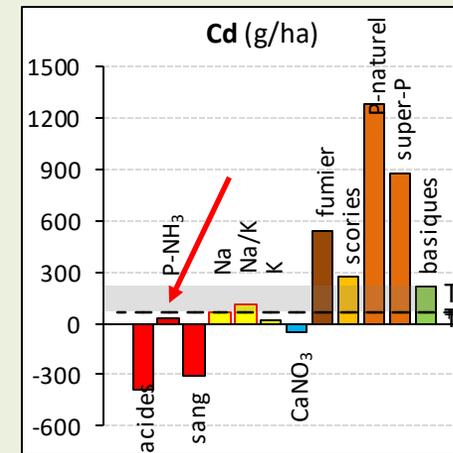
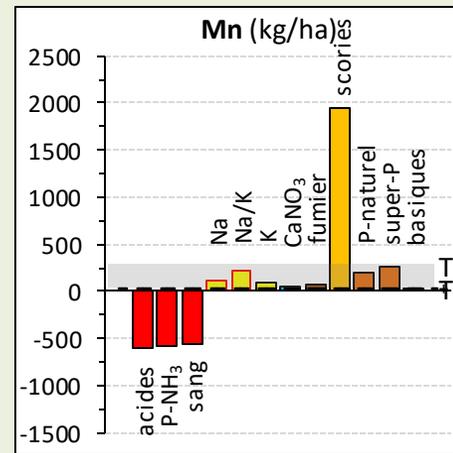
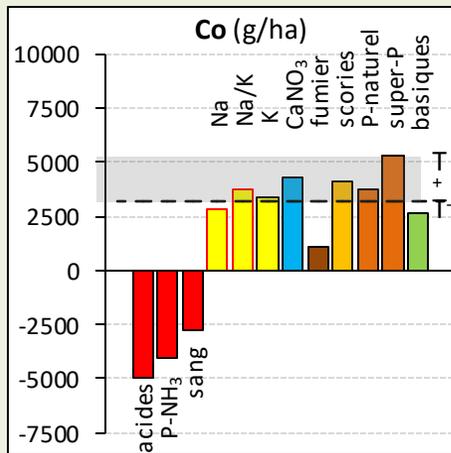


*fumier*

# Les 42 parcelles – bilan apports/pertes (2014)

parcelles fertilisées :

pertes d'éléments par processus induits :  
→ acidification

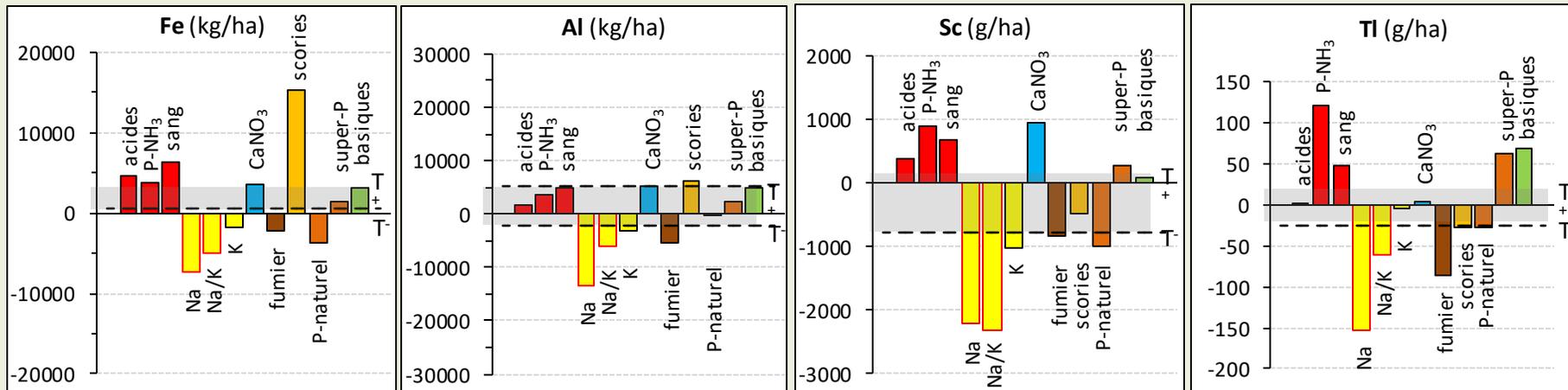


*lixiviation dans les conditions acides  
(traitements ammoniacaux et sang)*

# Les 42 parcelles – bilan apports/pertes (2014)

parcelles fertilisées :

*perdes d'éléments par processus induits :*  
→ lessivage



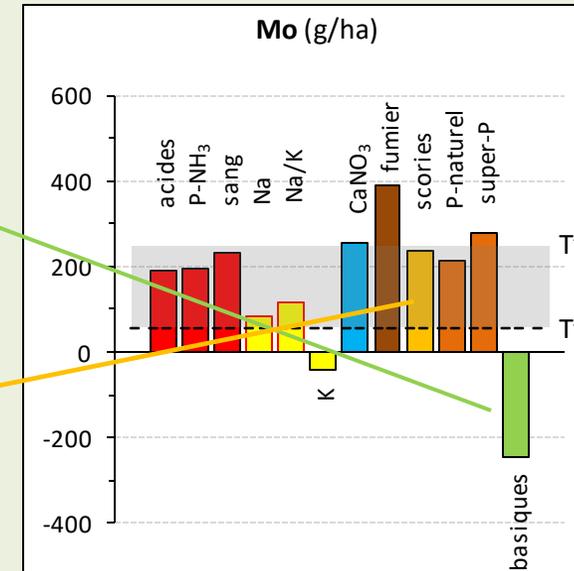
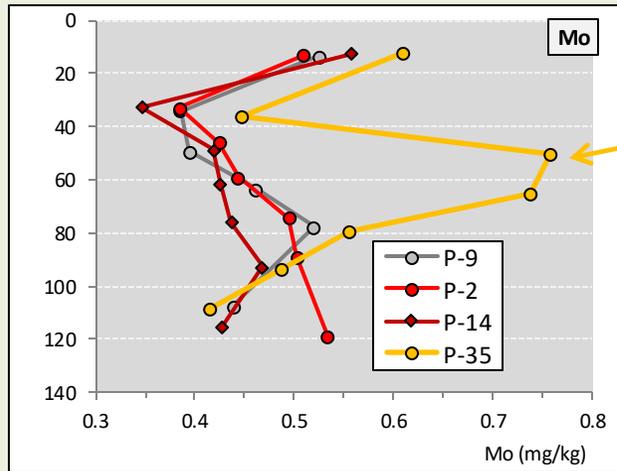
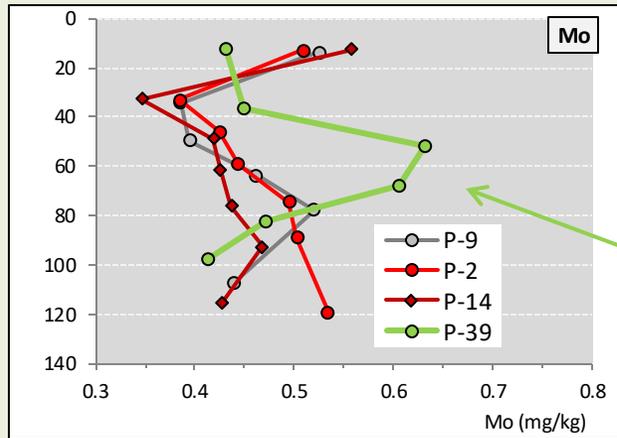
→ migration d'éléments par lessivage d'argile (aussi Ca, Mg, Ni!)  
(traitements sodiques et potassiques)

mais aussi ...

→ ... accumulation relative d'éléments constitutifs des phyllosilicates (Fe, Sc, Tl...)  
(traitements ammoniacaux et sang)

# Les 42 parcelles – bilan apports/pertes (2014)

la comparaison de bilans dans l'horizon de surface, est-elle suffisante pour un diagnostic pertinent des évolutions 'centenaires' ???  
 → l'exemple de molybdène



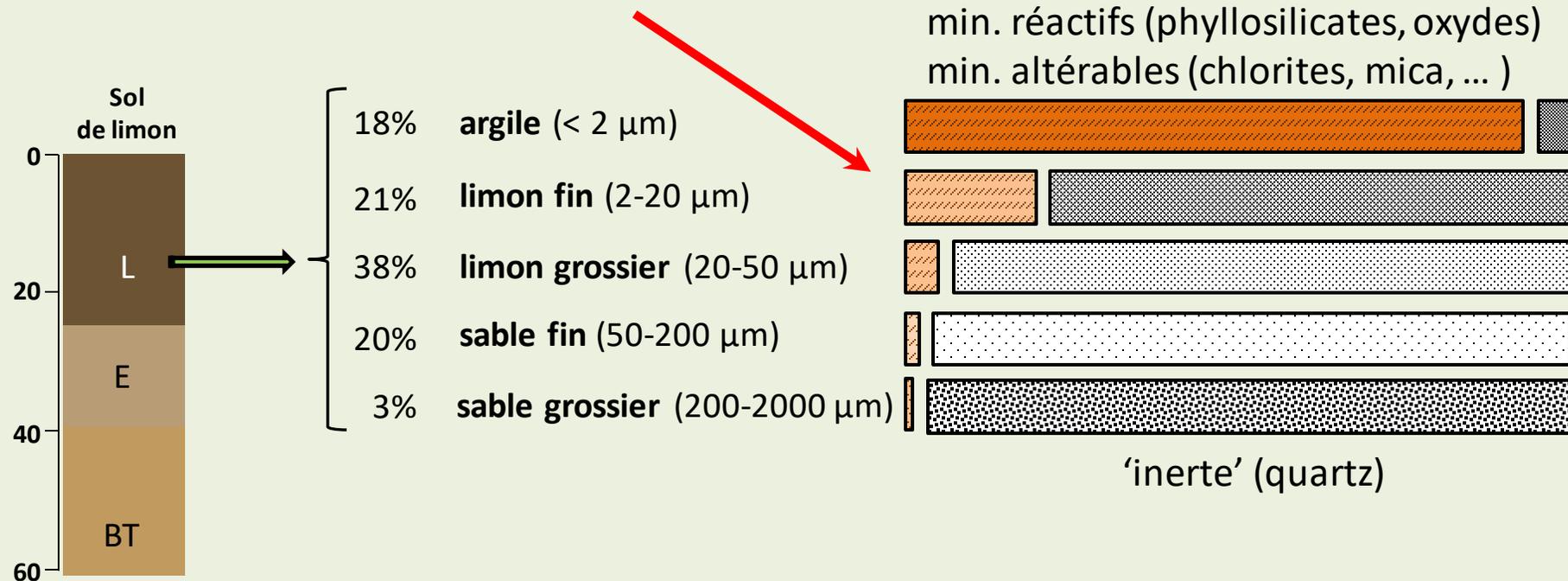
Le "sol" ne se limite pas à l'horizon de labour!!!

apport et migration de Mo imprévisibles en se basant sur le seul bilan géochimique dans l'horizon de surface...

# Les 42 parcelles – impacts sur la phase solide ?

*évolution minéralogique visibles à l'échelle du siècle?*

- ❖ évaluer l'action des engrais, à l'échelle 'centenaire' sur la réserve naturelle des sols → capacité à fournir des éléments nutritifs par les fractions limoneuses



# Les 42 parcelles – impacts sur la phase solide ?

*évolution minéralogique visibles à l'échelle du siècle?*

*Durée de vie d'un cristal de 1 mm de diamètre, à 25°C et pH=5 (modélisation!)*

*(Lasaga, 1984)*

Minéral	durée de vie (années)
quartz	34 000 000
mica (muscovite)	2 700 000
feldspath potassique (microcline)	520 000
feldspath sodique (albite)	80 000
feldspath calcique (anorthite)	112

# Les 42 parcelles – impacts sur la phase solide ?

évolution minéralogique visibles à l'échelle du siècle?

Traceur : le scandium (Sc)

→ rayon ionique de  $\text{Sc}^{3+}$  : 0,073 nm

→ substitution avec  $\text{Fe}^{2+}$  et  $\text{Mg}^{2+}$

(ou, en hexa-coordination, avec  $\text{Fe}^{3+}$  et  $\text{Al}^{3+}$ )

Aluminosilicates ferromagnésiens primaires dans les sols de loess (limons):

➤ phyllosilicates en « feuillets »

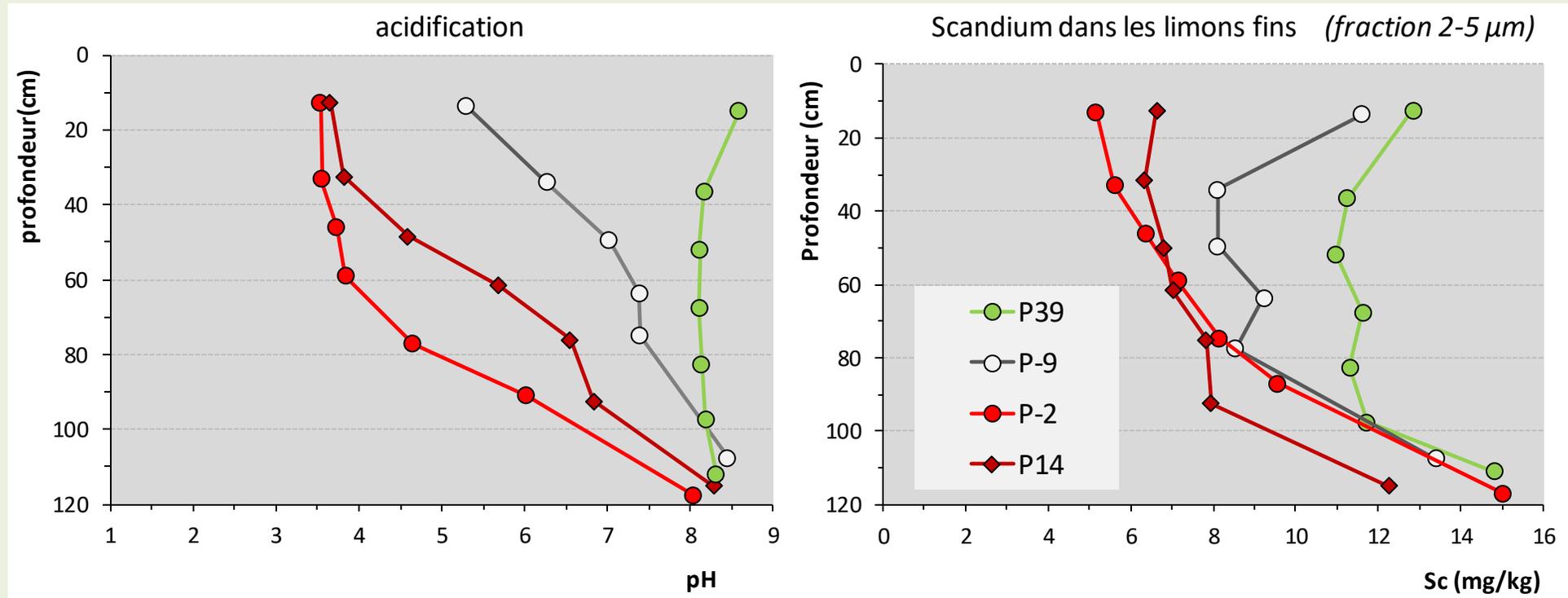
	<i>type</i>	<i>formule</i>
- chlorite	T-O-T (1,4 nm)	$(\text{Fe}, \text{Mg}, \text{Al})_6(\text{Si}, \text{Al})_4\text{O}_{10}(\text{OH})_8$
- biotite	T-O-T (1,0 nm)	$\text{K}(\text{Mg}, \text{Fe})_3(\text{Si}_3\text{Al})\text{O}_{10}(\text{OH})_2$
- muscovite	T-O-T (10 nm)	$\text{KAl}_2(\text{Si}_3\text{Al})\text{O}_{10}(\text{OH})_2$

➤ inosilicates en « chaînes » (*Amphiboles*)

- (magnésio)hornblende  $\text{Ca}_2(\text{Mg}_4\text{Fe})\text{Si}_7\text{AlO}_{22}(\text{OH})_2$

# Les 42 parcelles – impacts sur la phase solide ?

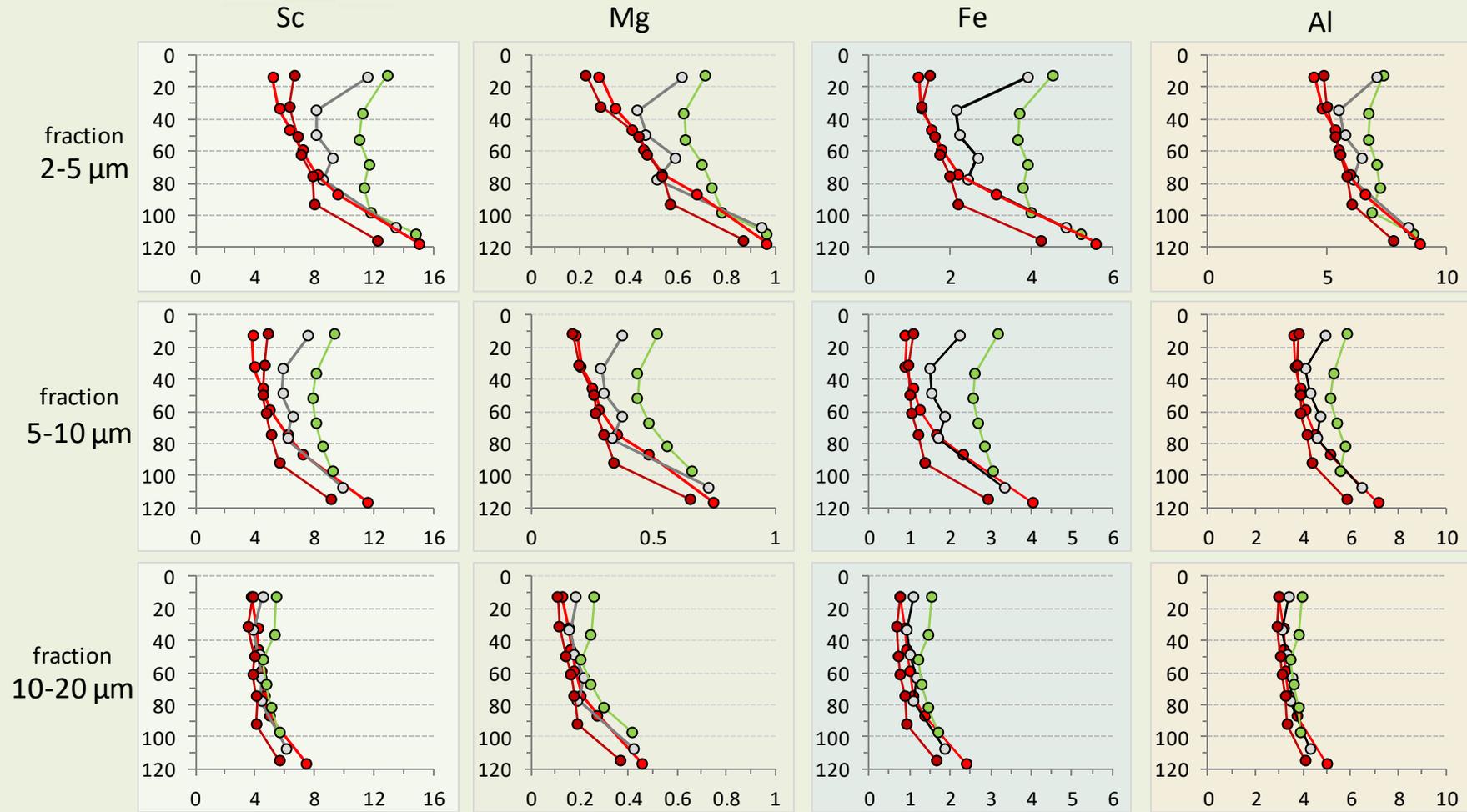
étude minéralogique fine des fractions limoneuses par Sc  
→ altération des minéraux ferromagnésiens en conditions acides?



→ dissolution de minéraux primaires, ressource naturelle d'éléments nutritifs

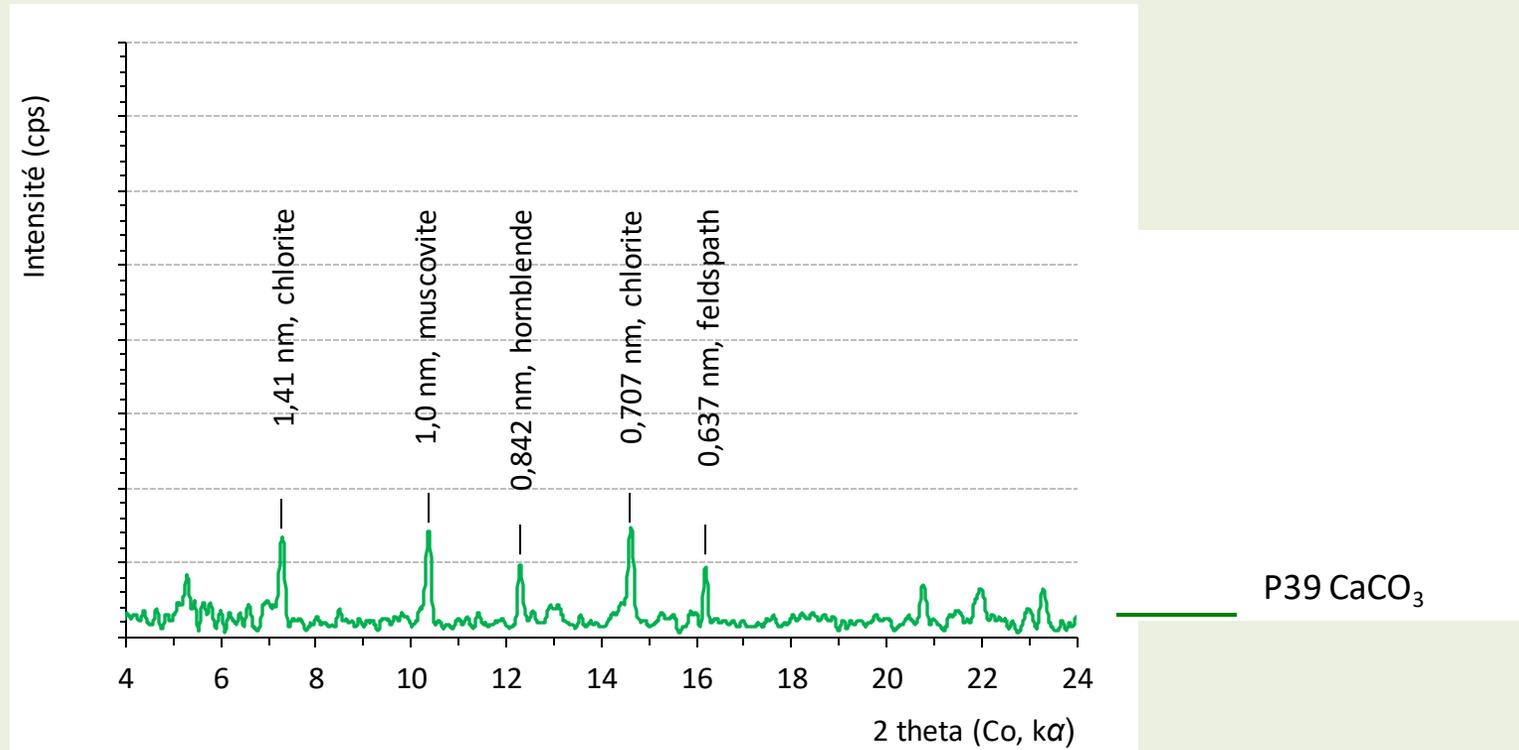
# Les 42 parcelles – impacts sur la phase solide ?

étude minéralogique fine des fractions limoneuses par Sc  
→ altération des minéraux ferromagnésiens en conditions acides?



# Les 42 parcelles – impacts sur la phase solide ?

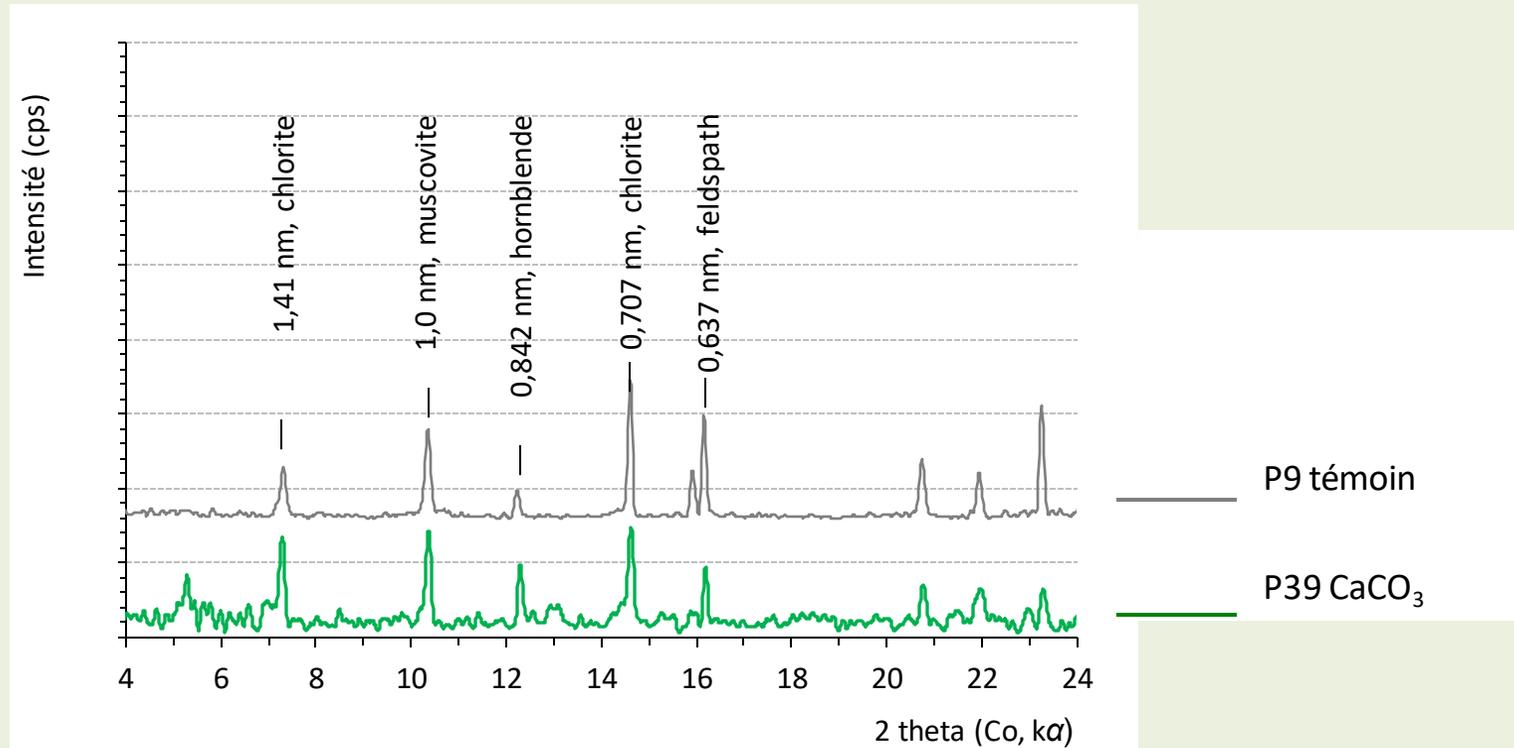
Confirmation par la diffraction-X ??



présence de minéraux aluminosilicatés dans la fraction 2-5  $\mu\text{m}$   
*diffraction des rayons-X, dépôt orienté*

# Les 42 parcelles – impacts sur la phase solide ?

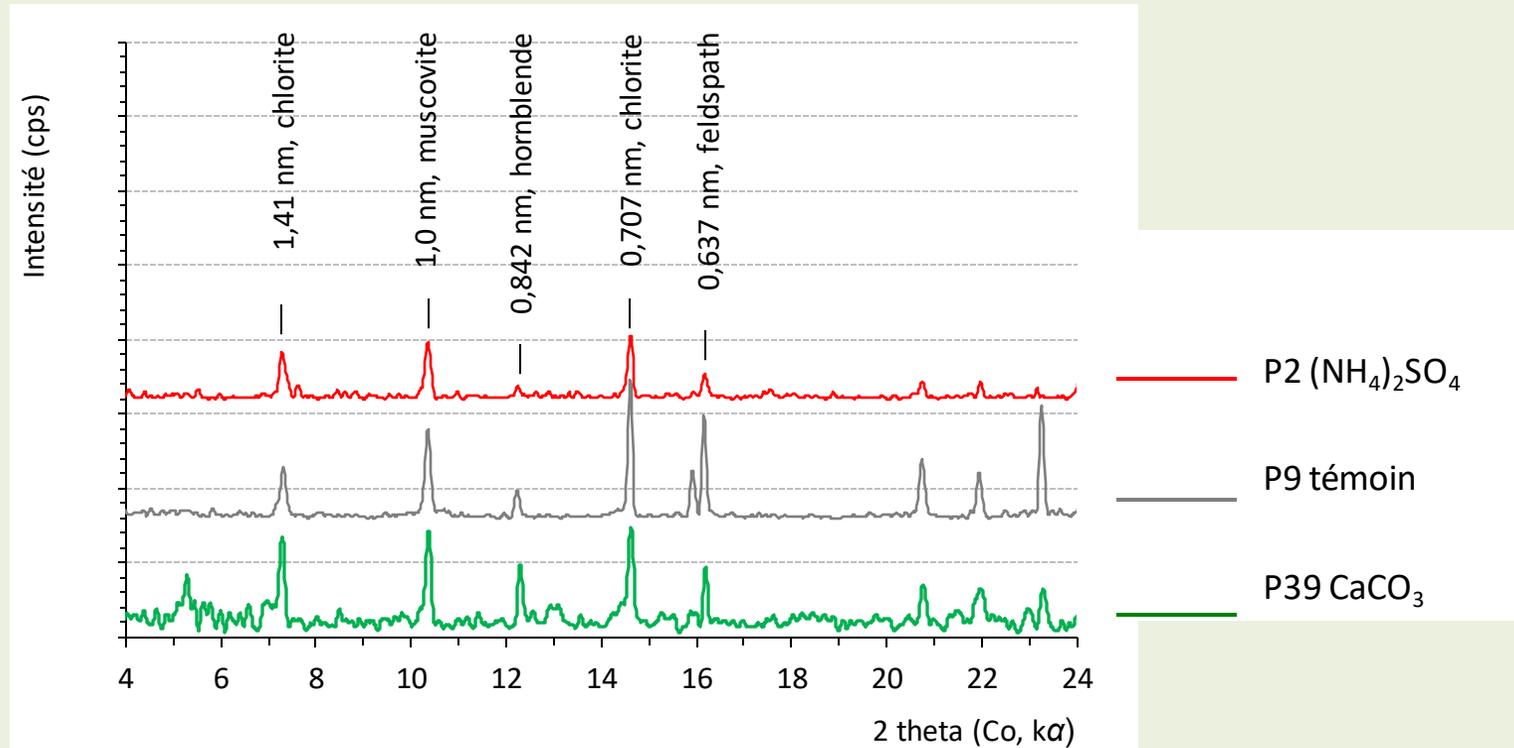
Confirmation par la diffraction-X ??



présence de minéraux aluminosilicates dans la fraction 2-5  $\mu\text{m}$   
*diffraction des rayons-X, dépôt orienté*

# Les 42 parcelles – impacts sur la phase solide ?

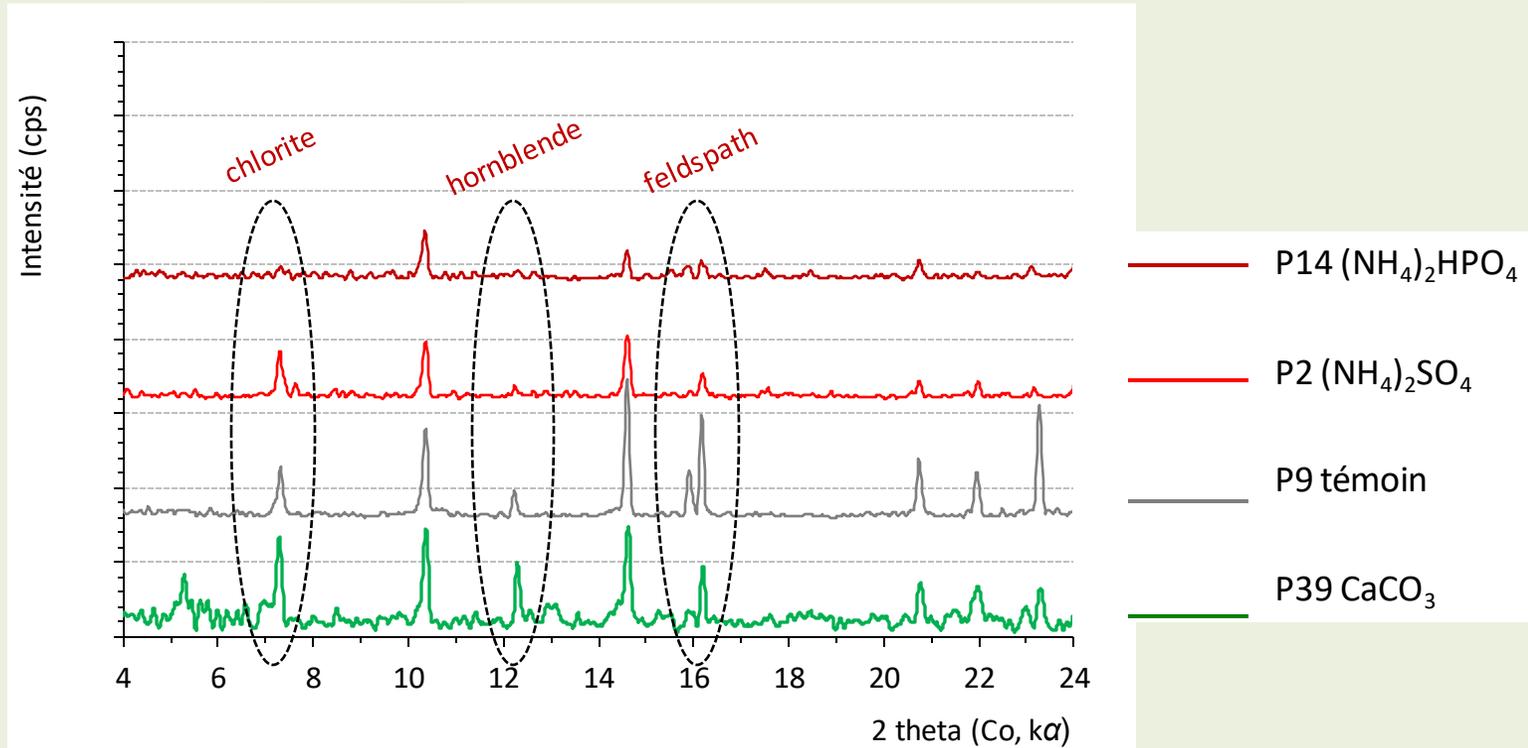
Confirmation par la diffraction-X ??



présence de minéraux aluminosilicates dans la fraction 2-5  $\mu\text{m}$   
*diffraction des rayons-X, dépôt orienté*

# Les 42 parcelles – impacts sur la phase solide

Confirmation par la diffraction-X ??

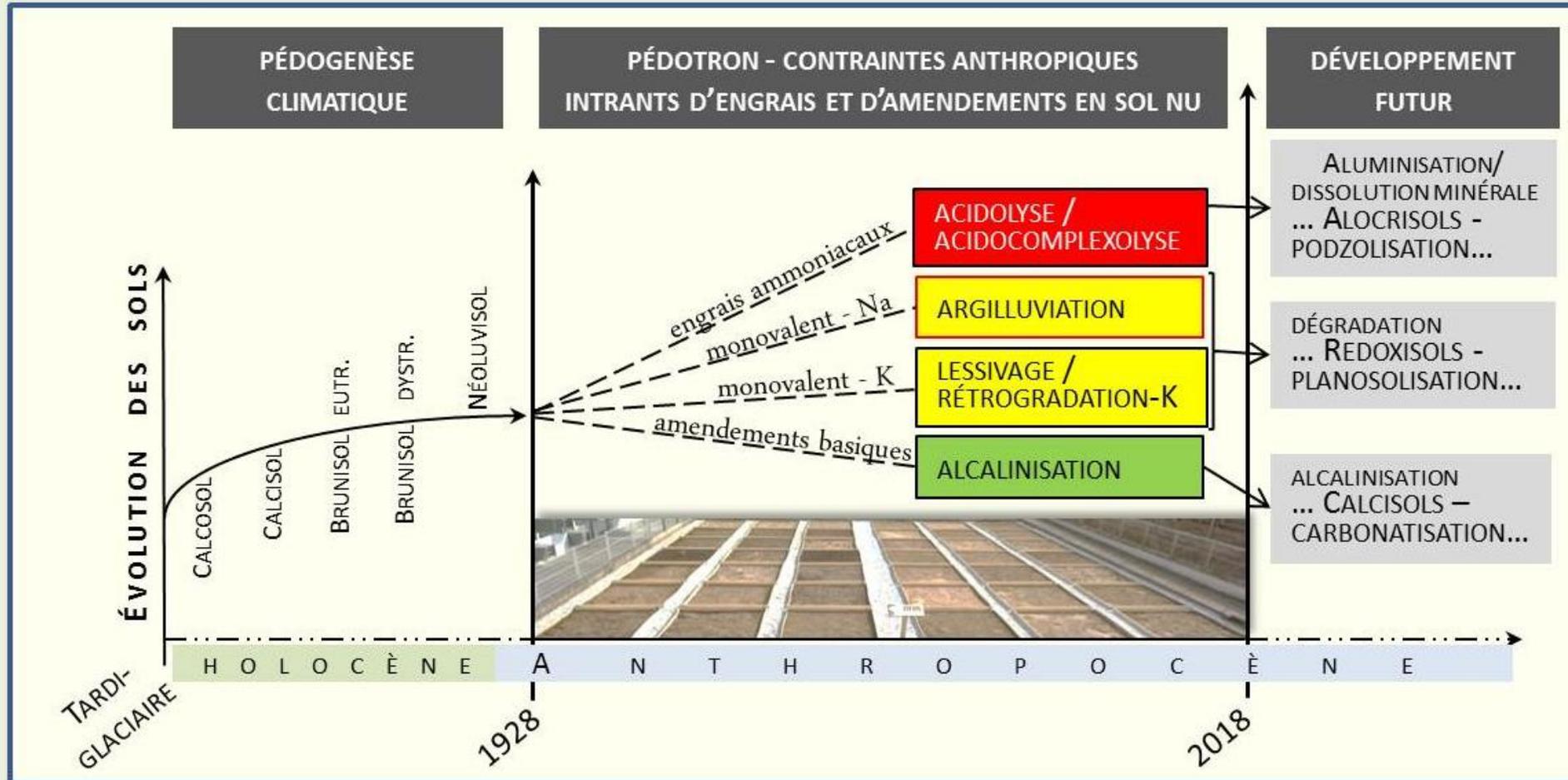


présence de minéraux aluminosilicates dans la fraction 2-5  $\mu\text{m}$   
*diffraction des rayons-X, dépôt orienté*

↘ disparition partielle de : phyllosilicates ferromagnésiens (chlorite)  
amphiboles (hornblende)  
feldspaths (plagioclases)

# Les 42 parcelles – impacts sur la pédologie !

dispositif des 42 parcelles : un « pédotron » en conditions réelles, à longue terme »



# Merci à Louis

*... pour prêter un lopin de terre dans son jardin "royal" ...*



*..... et tous les collaborateurs de près ou de loin .....*

## *pour en savoir plus...*

- **van Oort F, Proix N, Paradelo R, Breuil S, Delarue G, Trouvé A, Baize D, Monna F, Richard A.** 2016. Dernières nouvelles de 42 vieilles parcelles. Etats et bilans géochimiques dans l'horizon de surface d'un NÉOLUVISOL de loess nu avec ou sans apports de matières fertilisantes depuis 1928. *Étude et Gestion des Sols*, **23**:143-162.
- **van Oort F, Paradelo R, Proix N, Breuil S, Delarue G, Trouvé A, Baize D, Monna F, Richard A.** 2017. Arsenic et Vieilles Parcelles. Etats et bilans géochimiques dans l'horizon de surface d'un NÉOLUVISOL de loess nu, avec ou sans apports de matières fertilisantes depuis 1928. *Étude et Gestion des Sols*. **24**:99-126.
- **van Oort F, Paradelo R, Proix N, Baize D, Breuil S, Foy E, Guérin A, Monna F.** 2020. En direct de l'essai patrimonial des 42 parcelles de l'INRA de Versailles : les impacts de fertilisations centenaires en profondeur du Néoluvisol de loess. *Etude et Gestion des sols*, **27**:163-187.
- **van Oort F, Paradelo R, Monna F, Chenu C, Guérin A, Breuil S, Delarue G, Thoisy JC, Proix N.** 2020. La collection historique d'échantillons de l'essai patrimonial dit des 42 parcelles d'INRAE à Versailles : une machine à remonter le temps... *Etude et Gestion des sols*, **27**:321-350.
- **van Oort F, Paradelo R, Baize D, Chenu C, Delarue G, Guérin A, Proix N.** 2022. Can long-term fertilization accelerate pedogenesis? Depicting soil processes boosted by annual NPK-inputs since 1928 on bare loess Luvisol (INRAE-Versailles). *Geoderma*, <https://doi.org/10.1016/j.Geoderma.2022.115808>

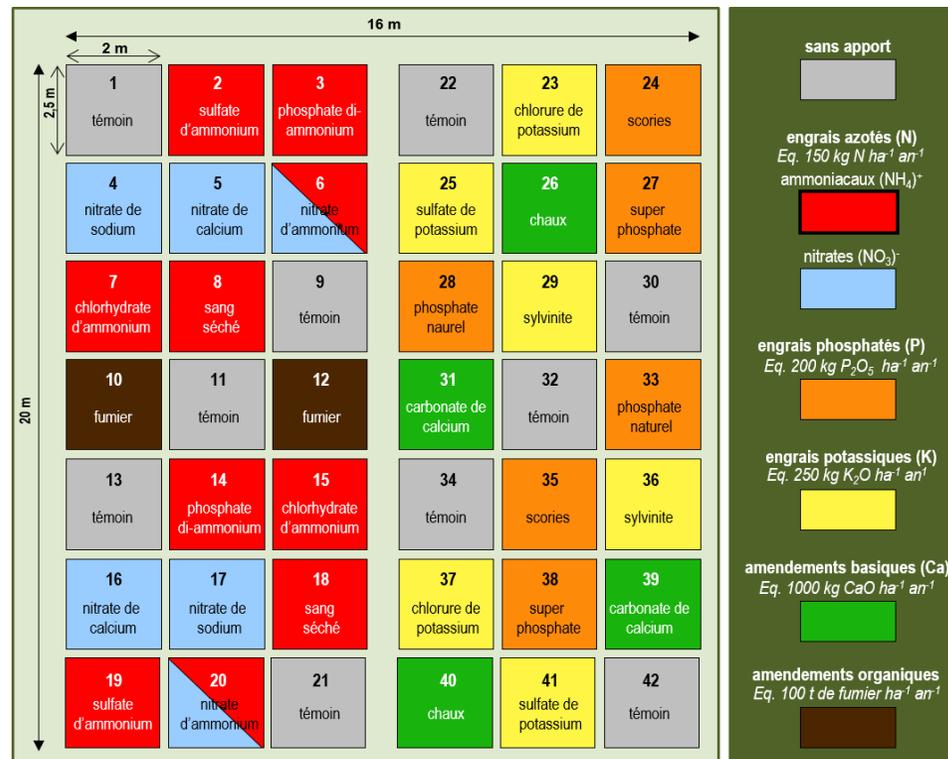
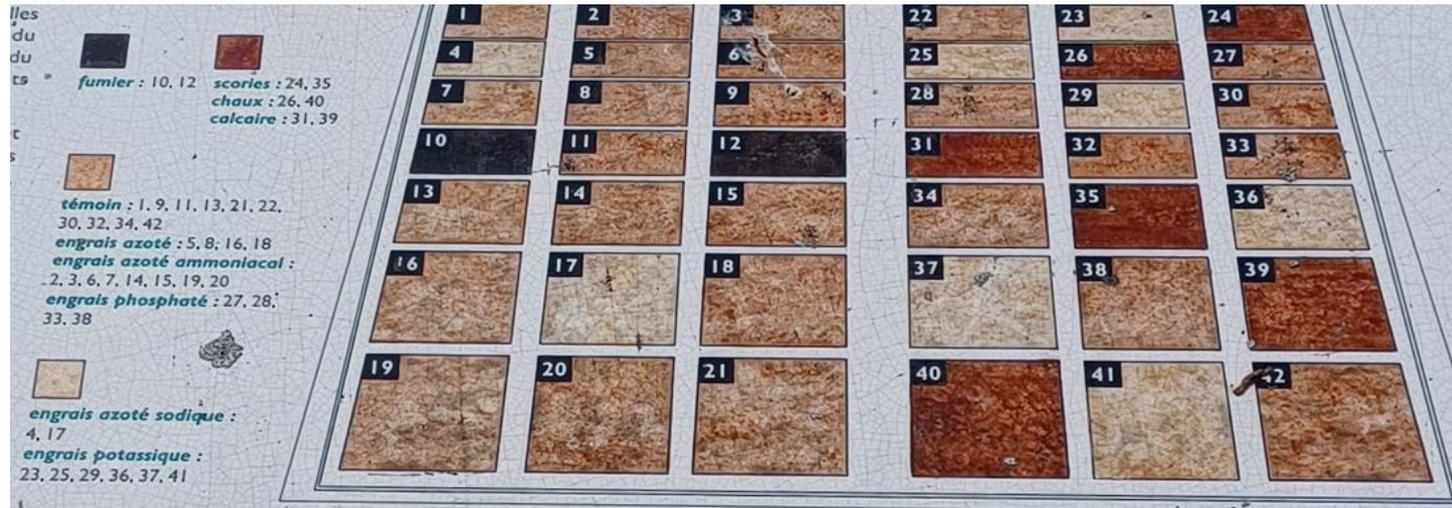


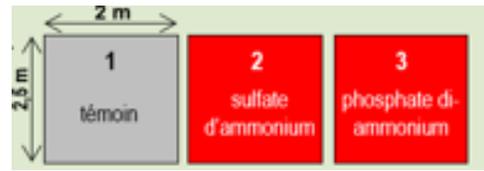
**Comité Français d'Étude et de Développement  
de la Fertilisation Raisonnée**

Photos des 42 parcelles le 19/05/2022









4 nitrate de sodium	5 nitrate de calcium	6 nitrate d'ammonium
---------------------------	----------------------------	----------------------------



7  
chlorhydrate  
d'ammonium

8  
sang  
séché

9  
témoin



10 fumier	11 témoin	12 fumier
--------------	--------------	--------------



**13**  
témoin

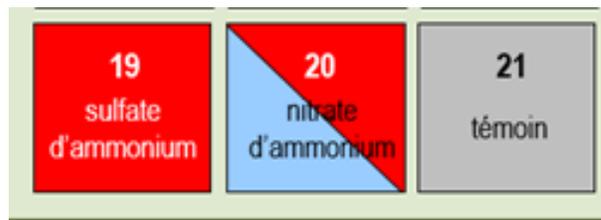
**14**  
phosphate  
di-ammonium

**15**  
chlorhydrate  
d'ammonium



16 nitrate de calcium	17 nitrate de sodium	18 sang séché
-----------------------------	----------------------------	---------------------

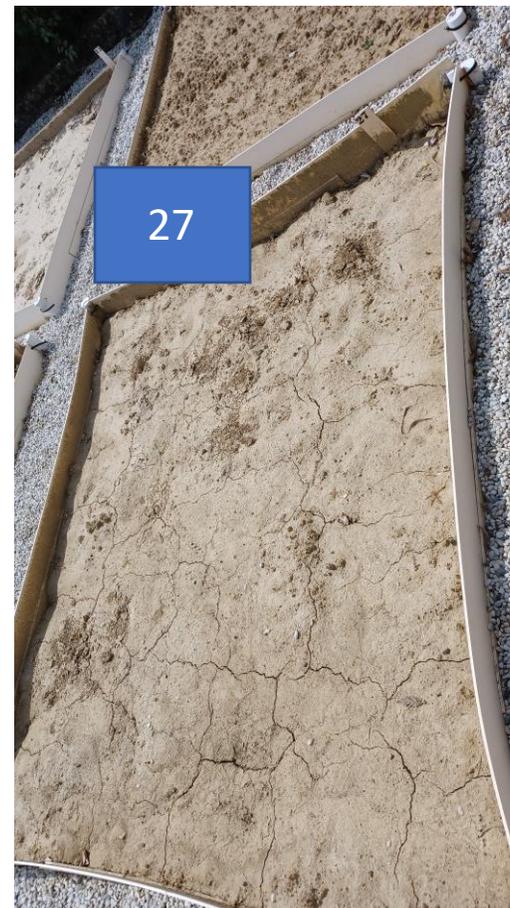




22 témoin	23 chlorure de potassium	24 scories
--------------	-----------------------------	---------------



25 sulfate de potassium	26 chaux	27 super phosphate
-------------------------------	-------------	--------------------------



28 phosphate naurel	29 sylvinite	30 témoin
---------------------------	-----------------	--------------



31 carbonate de calcium	32 témoin	33 phosphate naturel
----------------------------	--------------	-------------------------



34  
témoin

35  
scories

36  
sylvinite



37 chlorure de potassium	38 super phosphate	39 carbonate de calcium
--------------------------------	--------------------------	-------------------------------



40 chaux	41 sulfate de potassium	42 témoin
-------------	-------------------------------	--------------





**Comité Français d'Étude et de Développement  
de la Fertilisation Raisonnée**

## ACTUALITÉS DU COMIFER

## LES GROUPES DE TRAVAIL

- **NS**
  - Un réunion récente en mars : outils de pilotage partiel et intégral
  - Prochaine réunion : 9 juin
- **P-K-Mg**
  - Réunion en décembre du Sous-GT sur la rénovation des seuils de Phosphore et de potassium
  - Prochaine réunion : 2 juin
- **PRO**
  - Réunion récente en mars: Usage des PRO en AB, recyclage des urines, risques liés aux MAFOR
- **FOrBS**
  - Réunion initialement prévue début avril
  - Reportée pour juin (ou septembre)

## LA JOURNÉE TECHNIQUE OLIGO-ÉLÉMENTS

- 12 avril 2022 : webinaire, 154 participants
- Taux de satisfaction : 92%
- Suggestion de créer un GT Oligo-éléments : question à l'étude



## CHOIX DES PROCHAINES JOURNÉES THÉMATIQUES ?

- **Sur la base**
  - des réponses à l'enquête de satisfaction des R21 et JT Précédentes
  - des suggestions des animateurs des GT
  - des sujets traités lors des JT précédentes
  
  - Choix d'un sujet porteur, rassembleur, d'actualité
  - Disponibilité de pilotes
  
- **4 Thématiques soumises au vote du CA**
  - **Raisonnement de la fertilisation dans les systèmes de cultures innovants (2023)**
  - Biostimulants : mécanismes d'action, efficacité, perspectives /et santé des plantes
  - Fertilisation et émissions de GES
  - Fertilisation entre Green Deal et prix énergie
  - Les produits résiduaux organiques (sujet pressenti pour 2024)

## VIE ASSOCIATION : CA DU 31/03

- **Accueil des administrateurs élus et élection du bureau 2022**
- **Projet Journée Thématique 2023**
- **Projet présentation étude Parangonnage NPK - EJP Soil - automne 2022**
- **Site internet**
- **Calendrier des réunions du Conseil d'Administration en 2022-2023**
- **Questions diverses**
  - Dossier Cadmium Anses
  - Partenariat Enseignement agricole
  - JMS – Afes – Déc 2022

## AUTRES ACTUALITÉS

- **Sollicitation du COMIFER par MAA pour la rénovation de la liste HVE des outils de raisonnement de la fertilisation azotée**
  - Sous GT du groupe NS
  
- **Sollicitation par le MAA dans le cadre du plan de résilience face à la hausse du prix des engrais azotés : Action azote**
  - Groupe COMIFER / RMT BOUCLAGE
  
- **Lancement du comité d'organisation des R23**
  - Prochaine réunion : 19/05/2022



**Comité Français d'Étude et de Développement  
de la Fertilisation Raisonnée**

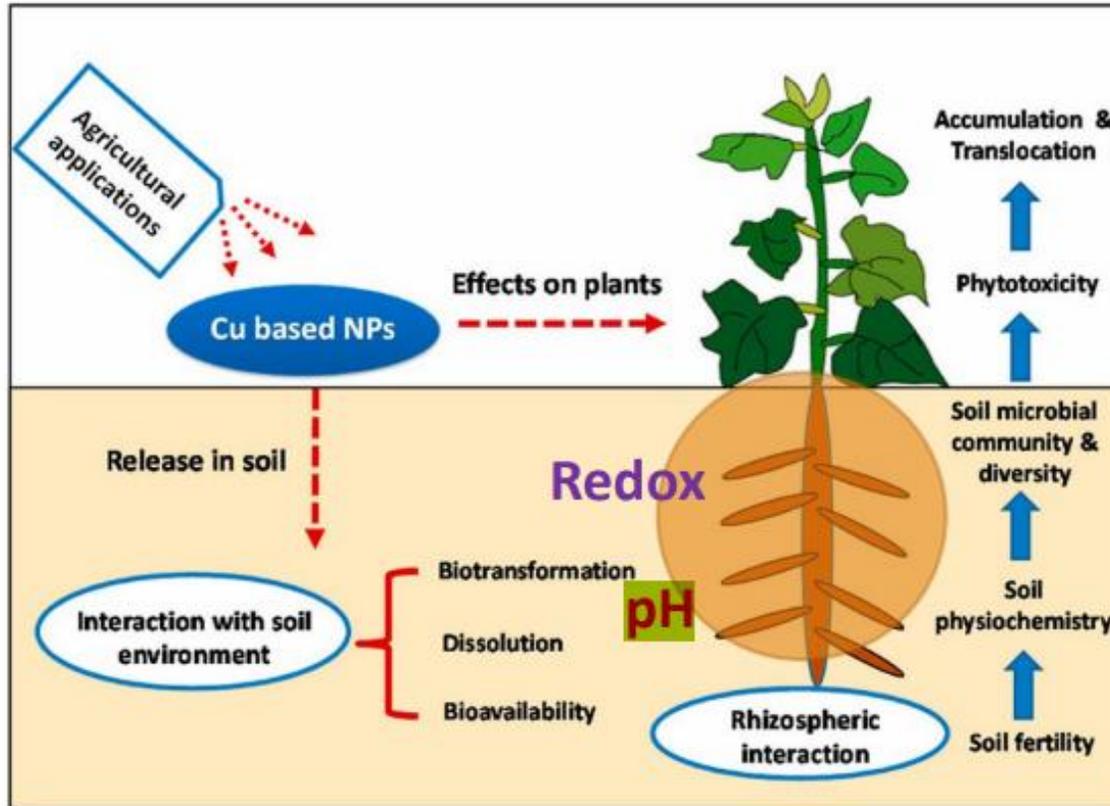
## **POINTS DIVERS DES PARTICIPANTS?**



Comité Français d'Étude et de Développement  
de la Fertilisation Raisonnée

# RETOUR SUR LA JOURNÉE OLIGO : LES THÉMATIQUES DU GROUPE SAB ÉTAIENT-ELLES PRÉSENTES LORS CETTE JOURNÉE ?

# Rôle du pH sur la disponibilité et la toxicité du cuivre



Présentation de Gwenael Infeld (CNRS)  
Accumulation, disponibilité et toxicité du cuivre (Cu) dans les sols viticoles dans un contexte d'évolution réglementaire - exemple du vignoble de Rouffach (68)

Rappel sur l'impact du pH : La disponibilité et le risque de toxicité du cuivre augmente avec la diminution du pH

# La valeur du pHeau: un facteur de risque de carence en manganèse

## La carence en Mn L'analyse de terre

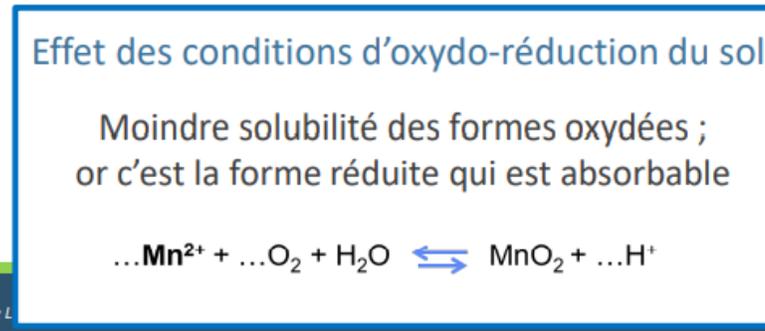
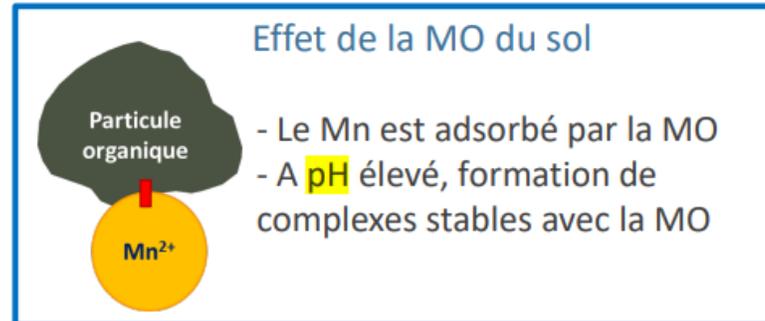
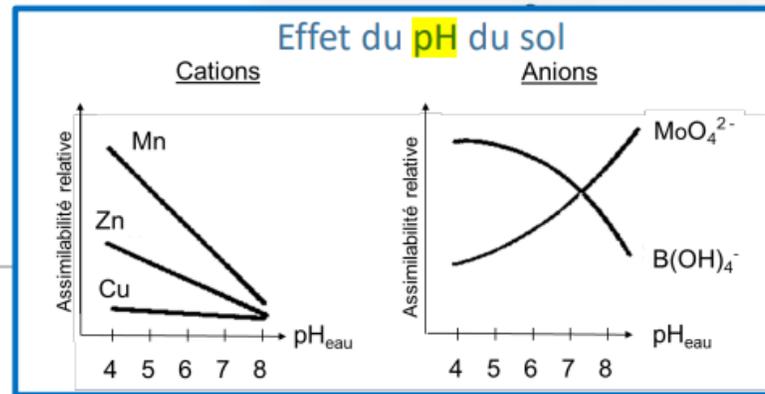
Carence en Mn : essentiellement une carence induite par des conditions de milieu

A l'analyse de terre sur la parcelle étudiée :

- Mn EDTA : 4,2 mg/kg (souvent peu pertinent)
- pHeau : pHeau = 6,8 (élevé)
- %MO : MO = 4,9 % (élevé)
- Texture limon sableux : %Sg = 30 %

→ conditions de milieu à risque pour Mn (1)

(1) Réseau de parcelles étudiés en Bretagne (Arvalis, Auréa)

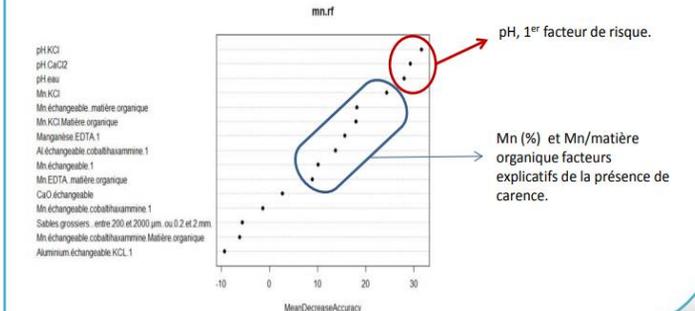


Christine le Souder – Arvalis  
Cas d'étude 1 : Exemple de carence en manganèse (Mn) sur blé

Une valeur de pHeau élevée (6.8 – signif 5%) augmente le risque de carence en manganèse.

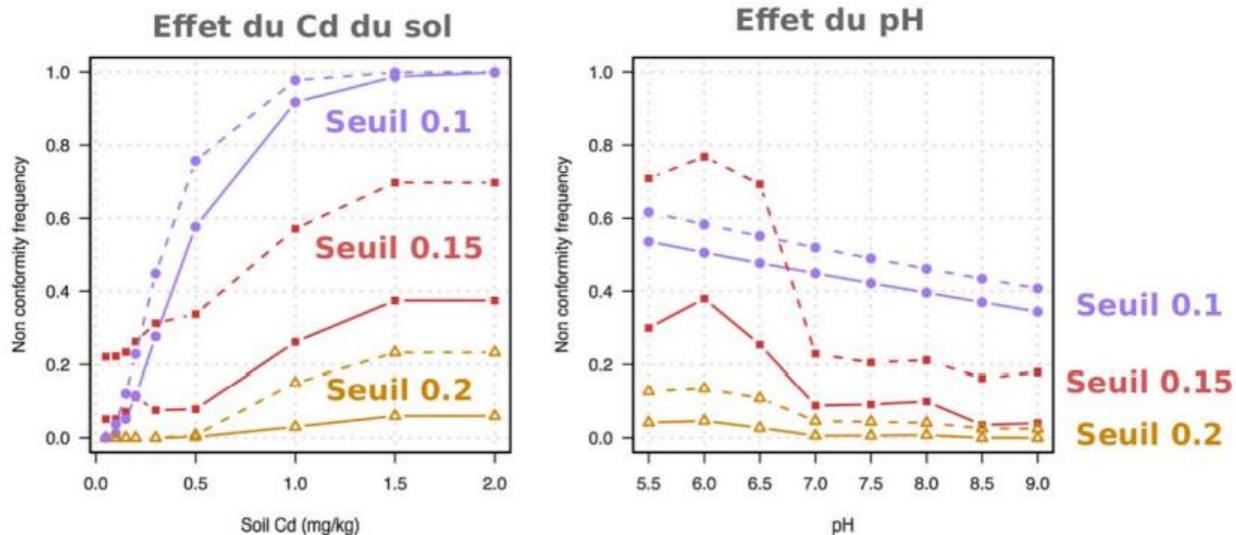
### (1) Le pH principal facteur de risque de carence

Le classement des variables des plus explicatives aux moins explicatives de la présence de carence en utilisant la méthode des forêts aléatoires a mis en évidence une forte prédominance du pH parmi les facteurs de risque. Viennent ensuite la teneur en manganèse (extractifs KCl ou EDTA) et le rapport Mn / matière organique.



# Rôle du pH sur la disponibilité du Cadmium

## Biodisponibilité du Cd pour le blé dur: Effet du Cd du sol et du pH



Relief

Miradoux

Nguyen et al., 2012

Présentation de Christophe Nguyen  
(INRAE)

Eléments traces et sécurité sanitaire des  
produits alimentaires : le cas  
emblématique du Cadmium et du blé dur

Impact du pH : la biodisponibilité du Cd  
augmente avec la diminution du pH



Pas de points en 6.5 et 7?

Est-ce des classes? Ou des mesures  
exacte de ces pHeau?

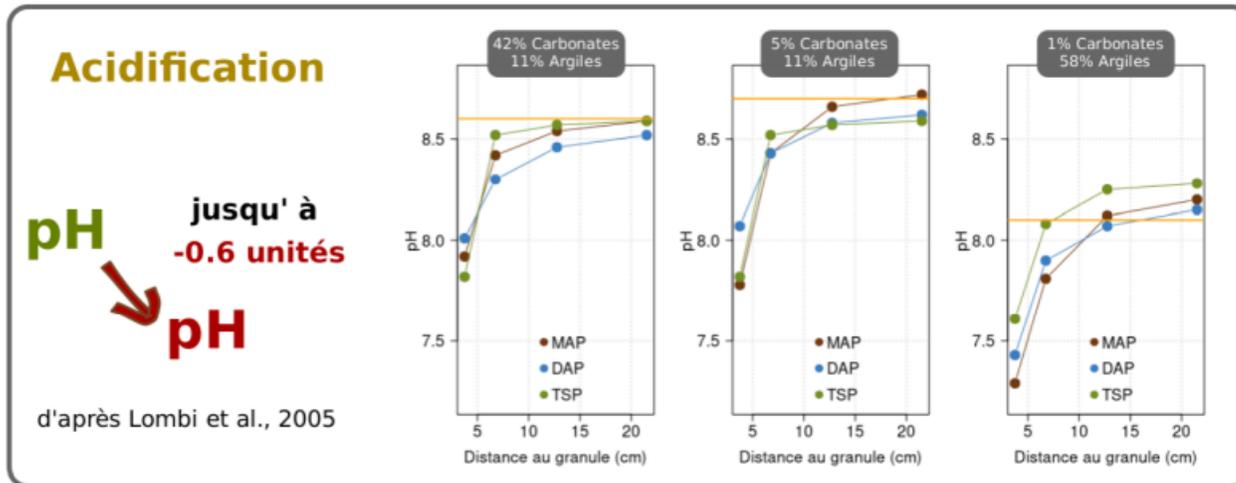
Quelles sources pour cet effet pH?

Chimie du sol ou chimie en solution?

-> **nécessite approfondissement**

# Effets de la fertilisation en phosphore sur la biodisponibilité

## Effet immédiats de la fertilisation P sur la biodisponibilité



Présentation de Christophe Nguyen (INRAE)

Eléments traces et sécurité sanitaire des produits alimentaires : le cas emblématique du Cadmium et du blé dur

La fertilisation en P acidifie le milieu et donc augmente la biodisponibilité du Cadmium

Ce n'est pas systématique  
Bien voir la valeur de départ du pHeau testé, pas forcément le même résultat à un autre pHeau



Extrait cours Turpin:

1.3/  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  contenu dans les superphosphates et nitrophosphates, sous forme de  $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ , évolue lentement dans le sol vers des formes plus stables, donc moins solubles, (« fixation »). Il en résulte un effet qui dépend du pH du sol : **acidifiant** en sols basiques ou **faiblement acides** et **alcalinisant** en sols très acides.

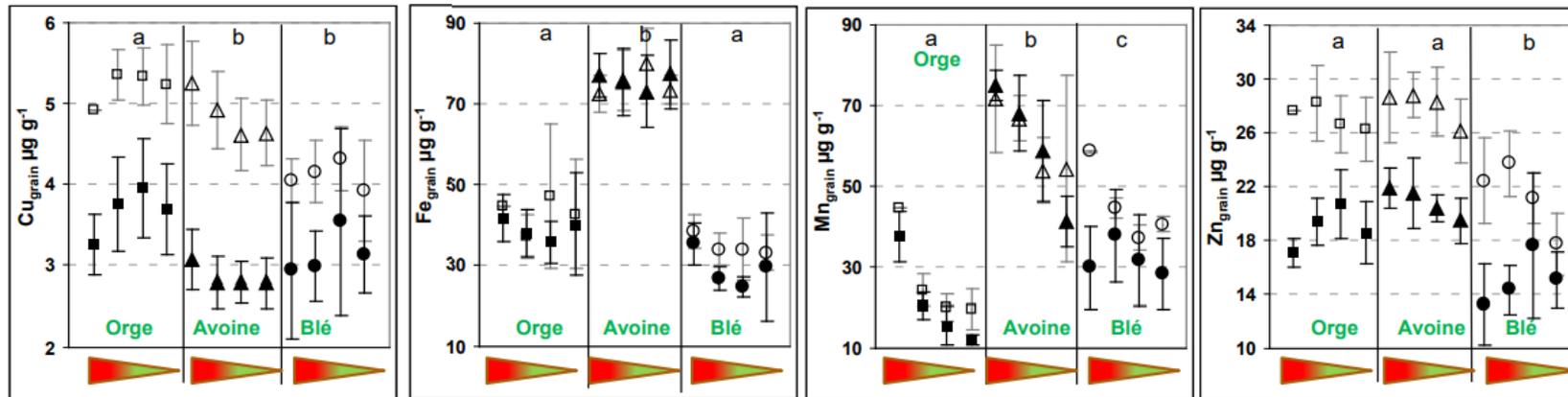


# Variations de la concentrations en oligoéléments

## Facteurs de variation des concentrations en oligoéléments

Plages de pH 4,5 ..... 7,5

■ Sa-Li  
□ Li-A



Jordan-Meille et al., 2021

- ⇒ Effet pH du sol sur qualité des grains dépend de l'espèce
- ⇒ Qualité du grain dépend type de sol (indépendamment du pH)
- ⇒ Effets sol ou pH du même ordre de grandeur qu'effets espèces
- ⇒ La mesure des OE extractibles du sol se corrèle mal avec contenu des grains

Difficultés prédiction  
qualité des récoltes

Présentation de Lionel Jordan-Meille (Bordeaux Sciences Agro)  
Synthèses sur les cas d'études et éléments de généricité



Comité Français d'Étude et de Développement  
de la Fertilisation Raisonnée

LE GROUPE SAB :  
RETOUR SUR LES TRAVAUX HISTORIQUES DU GROUPE  
POUR ÉVALUER LES ACQUIS ET IDENTIFIER LES  
NOUVELLES THÉMATIQUES À TRAVAILLER (*BRUNO*)

# Les avancées majeurs du groupe SAB au fil des années

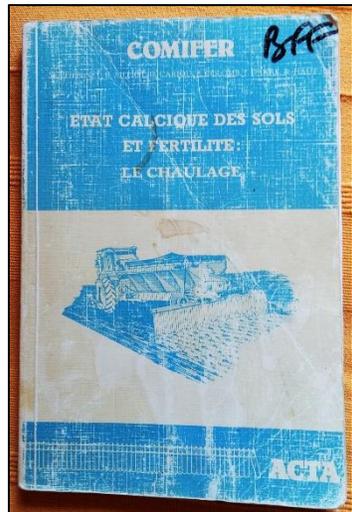
1990

2000

1981 - 1986



Livre bleu :  
Etat calcique des sols  
et fertilité :  
le chaulage  
Coppenet - Colomb et al



# Les avancées majeurs du groupe SAB au fil des années

1990

1995 ↔ 2002 :  
Jean-Luc Julien  
Animateur  
groupe Chaulage



2000

1981 - 1986

1995

↓  
Livre bleu :  
Etat calcique des sols  
et fertilité :  
le chaulage  
Coppenet - Colomb et al

↓  
Essais sur le chaulage  
(Kockman et Fabre, 1989)  
Relance le groupe chaulage

**SUMÉ** **Liming crusty silty soils** **SUMMARY**

résultats d'essais  
s d'un réseau d'expéri-  
mentation mis en place  
cinq ans en Bresse  
trent que le chaulage  
liore la fertilité phy-  
e, chimique et biolo-  
e du sol.

**F. KOCKMANN (CA,71) - B. FABRE (ISARA) -  
R. CHAUSSOD (INRA)**

A network of trials  
carried out during five  
years in Bresse  
shows that liming  
improves physical,  
chemical and biolog-  
cal soil fertility :

• Physical fertility : soil

**B. FF**  
**PERSPECTIVES  
AGRICOLES itf**

- Les maladies des céréales
- **Le chaulage en limons battants**
- Maîtrise de la production :  
qui va payer ?
- Environnement :  
la fuite des nitrates

ISARA  
175, vole du TOFCO  
31300 TOULOUSE  
Tél. 61 49 15 95  
Telex ITAMP 530955 F poste 2 11

# Les avancées majeurs du groupe SAB au fil des années

1995 ↔ 2002 :  
Jean-Luc Julien  
Animateur  
groupe Chaulage

1990

2000

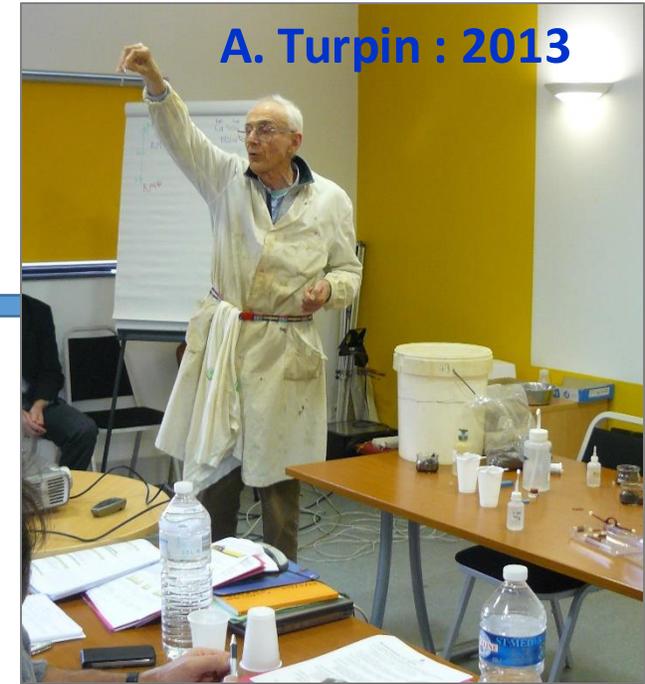
1981 - 1986

1995

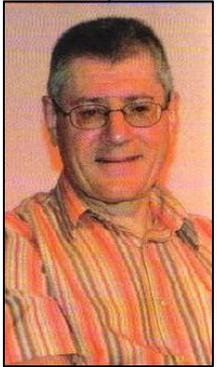
↓  
Livre bleu :  
Etat calcique des sols  
et fertilité :  
le chaulage  
Coppenet - Colomb et al

↓  
Essais sur le chaulage  
(Kockman et Fabre, 1989)  
Relance le groupe chaulage

JL Julien rend de nombreuses visites à Turpin à Toulouse  
et devient acteur de cet nouvelle compréhension du chaulage



1<sup>ère</sup> réunion : André Turpin, professeur chimie à l'ENFA de Toulouse ,  
Reprend la définition : « un acide donne un ion H<sup>+</sup>, une base l'accepte »  
Explique que les cations comme Ca<sup>2+</sup> ne peuvent pas être des bases (CAN = cation d'acidité négligeable)  
Dans un amendement : - chaux vive → élément basique = OH<sup>-</sup>  
- calcaire → élément basique = CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>  
Plusieurs années seront nécessaire au Groupe Chaulage pour en comprendre toutes les conséquences.



Pierre Castillon (Arvalis Baziège 31)  
Il suggère à A. Turpin de participer aux réunions Comifer

"Ce n'est pas le calcium qui chaule,  
mais la base associée au calcium"

# Les avancées majeurs du groupe SAB au fil des années

1995 ↔ 2002 :  
Jean-Luc Julien  
Animateur  
groupe Chaulage

1990

2000

1981 - 1986

1995

↓  
Livre bleu :  
Etat calcique des sols  
et fertilité :  
le chaulage  
Coppenet - Colomb et al

↓  
Essais sur le chaulage  
(Kockman et Fabre, 1989)  
Relance le groupe chaulage

↓  
**Plusieurs années seront nécessaire au Groupe Chaulage pour en comprendre toutes les conséquences suite aux énoncés de Turpin.**

→ Exemples :

● Apport de gypse ( $\text{CaSO}_4$ ) ne permet pas d'augmenter le pH.

Pour l'expliquer les agronomes disaient l'ion sulfate ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) était acidifiant et contrebalançait l'action de  $\text{Ca}^{2+}$ .

● Les pertes par lixiviation de cations dits « basiques » étaient facteur d'acidification du sol.

Dans la réalité c'est la perte d'un ion  $\text{HCO}_3^-$ , ion basique, qui est la cause de l'acidification.

● Dans le sol, l'absorption de  $\text{NO}_3^-$  par les racines s'accompagne de l'absorption de  $\text{H}^+$  :

il y a donc alcalinisation du sol.

La perte de  $\text{NO}_3^-$  par lixiviation engendre donc une acidification du sol.

Les cultures intermédiaires ont donc un triple intérêts environnemental :

- Limiter la pollution nitrique des nappes phréatiques
- Limiter en conséquences les apports d'azote
- Limiter l'acidification et donc l'utilisation d'amendements basiques

Source d'émission de  $\text{CO}_2$

# Les avancées majeurs du groupe SAB au fil des années

1995 ↔ 2002 :  
Jean-Luc Julien  
Animateur  
groupe Chaulage

1990

2000

1981 - 1986

1995

↓  
Livre bleu :  
Etat calcique des sols  
et fertilité :  
le chaulage  
Coppenet - Colomb et al

↓  
Essais sur le chaulage  
(Kockman et Fabre, 1989)  
Relance le groupe chaulage

↓  
**Plusieurs années seront nécessaire  
au Groupe Chaulage pour en comprendre  
toutes les conséquences suite aux énoncés  
de Turpin.**

- **Notion de CEC effective.**

La CEC varie avec le pH.

Notion assez déstabilisante dans un 1<sup>er</sup> temps

## CEC et chaulage / Les différentes CEC

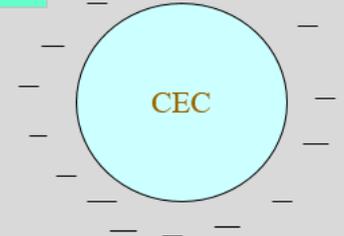
Ionisation des groupements carboxyliques de la M.O. ( R- COOH) au fur et à mesure que le pH ↗ : création de charges (-)

5.0

6.0

7.0

Pour un même sol, la CEC effective augmente avec le pH



CEC effective

CEC cobaltihexammine

CEC au pH du sol



CEC Metson

(labo pH=7,0)

**CEC Effective**  
**CEC Metson**

### B) Statut-Acido-Basique :

- chaulage et augmentation de la CEC effective

Entités **acides** NON ECHANGEABLES du système adsorbant, mais que la **BASE** ( l'ANION ) de l'amendement peut arracher :

- **H** acides covalents (arrachés à l'état de  $H^+$ ),
- $Al^{3+}$ ,  $Fe^{3+}$  fortement complexés sur des sites négatifs de l'humus.

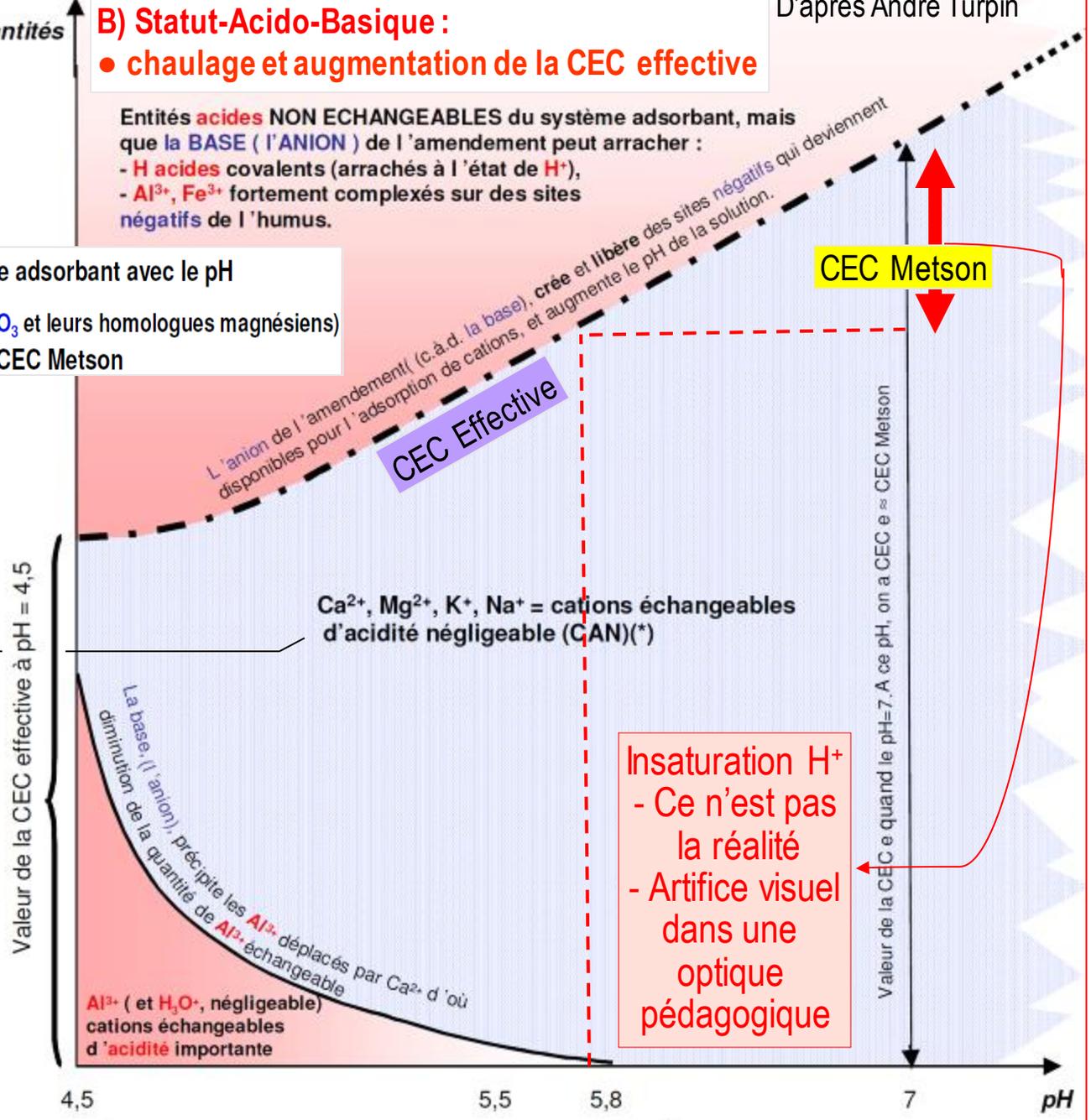
- Évolution de la garniture du système adsorbant avec le pH
- Effet d'un amendement basique (ex :  $CaO$  ;  $CaCO_3$  et leurs homologues magnésiens)
- CEC effective (CEC e) et CEC Metson

Légende :

L'ordonnée de la courbe **— · — · —** représente la CEC effective, (CEC e) c'est à dire la charge cationique échangeable présente dans le sol dont le pH a la valeur portée en abscisse.

$Ca^{2+}$ , $Mg^{2+}$ , $K^+$ , $Na^+$
$Al^{3+}$

(\*) Leur proportion sur le système adsorbant augmente avec le pH. Ils permettent aux sites **négatifs** sur lesquels ils sont adsorbés, d'exprimer leur **basicité** qui est d'autant plus forte que la proportion des CAN est plus forte. Cela explique que le **pH** et le **taux de saturation** par rapport à la CEC mesurée à une valeur quelconque du pH varient dans le même sens (mais sans être proportionnels).



Apport d'amendement basique pour éliminer la toxicité de  $Al^{3+}$  en solution, ( qui est en équilibre avec  $Al^{3+}$  échangeable )

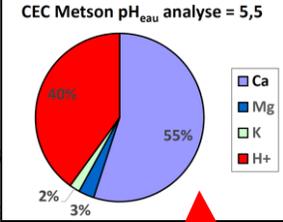
**CEC Effective**  
**CEC Metson**

**B) Statut-Acido-Basique :**

- chaulage et augmentation de la CEC effective

Entités **acides** NON ECHANGEABLES du système adsorbant, mais que la **BASE** ( l'ANION ) de l'amendement peut arracher :

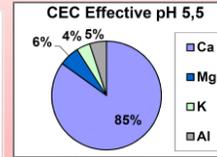
- **H** acides covalents (arrachés à l'état de  $H^+$ ),
- $Al^{3+}$ ,  $Fe^{3+}$  fortement complexés sur des sites négatifs de l'humus.



- Évolution de la garniture du système adsorbant avec le pH

Effet d'un amendement **basique** (ex :  $CaO$  ;  $CaCO_3$  et leurs homologues magnésiens)

- CEC effective (CEC e) et CEC Metson



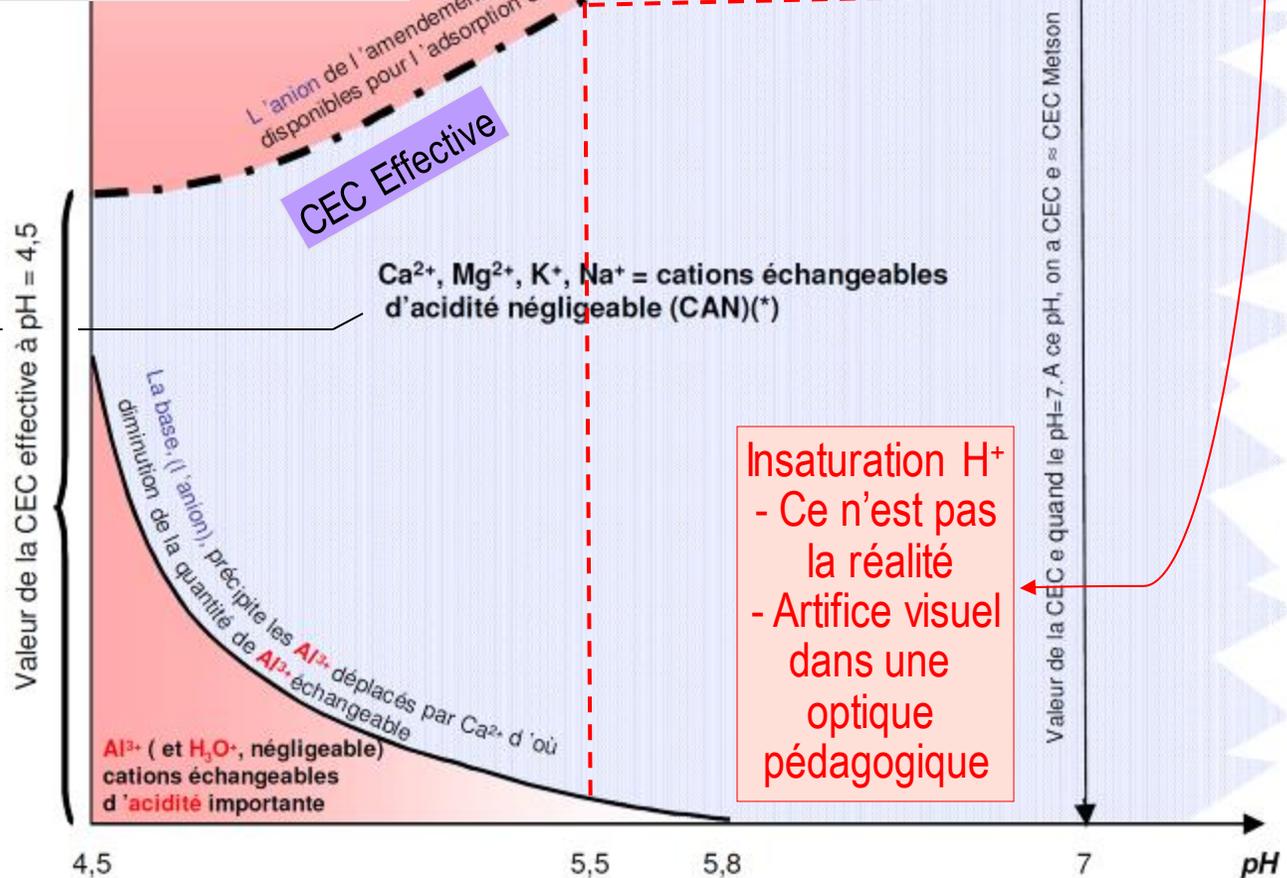
Légende :

L'ordonnée de la courbe **— · — · —** représente la CEC effective, (CEC e) c'est à dire la charge cationique échangeable présente dans le sol dont le pH a la valeur portée en abscisse.

$Ca^{2+}$ , $Mg^{2+}$ , $K^+$ , $Na^+$
$Al^{3+}$

(\*) Leur proportion sur le système adsorbant augmente avec le pH. Ils permettent aux sites **négatifs** sur lesquels ils sont adsorbés, d'exprimer leur **basicité** qui est d'autant plus forte que la proportion des CAN est plus forte. Cela explique que le **pH** et le **taux de saturation** par rapport à la CEC mesurée à une valeur quelconque du pH varient dans le même sens (mais sans être proportionnels).

Valeur de la CEC effective à pH = 4,5



Apport d'amendement **basique** pour éliminer la toxicité de  $Al^{3+}$  en solution, ( qui est en équilibre avec  $Al^{3+}$  échangeable )

# Les avancées majeurs du groupe SAB au fil des années

1995 ↔ 2002 :  
Jean-Luc Julien  
Animateur  
groupe Chaulage

1990

2000

1981 - 1986

1995

2001

↓  
Livre bleu :  
Etat calcique des sols  
et fertilité :  
le chaulage  
Coppenet - Colomb et al

↓  
Essais sur le chaulage  
(Kockman et Fabre, 1989)  
Relance le groupe chaulage

↓  
4 et 5 avril 2001 : (AFES)  
Daniel Tessier organise un colloque  
sur l'acidification des sols  
à l'INRA de Versailles

Cette nouvelle compréhension sur les  
mécanismes d'acidification et sur l'action  
des amendements est présentée.

## Les indicateurs du statut acido-basique des sols

Par N. DAMAY et J.L. JULIEN (Station Agronomique de l'Aisne)

### Introduction

L'amendement agit de manière indirecte, (exposé de J.L. Julien) c'est pourquoi on ne parle pas de facteur de production mais de condition de production. C'est également pour cette raison que le rendement n'est pas un indicateur pertinent des effets du chaulage, qu'il existe plusieurs indicateurs du statut acido-basique des sols et que l'approche de ce statut est plus fiable si l'on dispose de plusieurs indicateurs.

Le statut acido-basique d'un sol peut se caractériser par les variables suivantes :

- Le pH, grandeur intensive (notion de concentration),
- La quantité de sites, grandeur extensive (notion de quantité).
- Le pouvoir tampon. C'est la propriété conférée au sol par certaines espèces chimiques (à l'état solide, adsorbé ou dissous), de modérer une variation de concentration de la solution du sol (en  $H_3O^+$ , potassium, phosphore, ...) à la suite d'apports, de prélèvements, de pertes ou de productions (de  $H_3O^+$ , potassium, phosphore, ...).

Ces 3 variables sont liées par la relation

$Pouvoir\ Tampon = d\ Quantité / d\ pH$

Pour bien caractériser le statut acido-basique d'un sol, il faudrait connaître précisément 2 de ces 3 variables. Il n'existe pas de méthode de mesure normalisée pour ces 3 variables, à l'exception du pH, et encore le pH mesuré n'est pas celui de la solution du sol !

Attention, les définitions sont issues du glossaire COMIFER chaulage ou N-P-K.

# Les avancées majeurs du groupe SAB au fil des années

1995 ↔ 2002 :  
Jean-Luc Julien  
Animateur  
grpe Chaulage

2003 ↔ 2006 :  
Bernard Fabre  
ISARA : Animateur  
grpe Chaulage

1990

2000

2010

1981 - 1986

↓  
Livre bleu :  
Etat calcique des sols  
et fertilité :  
le chaulage  
Coppenet - Colomb et al

1995

↓  
Essais sur le chaulage  
(Kockman et Fabre, 1989)  
Relance le groupe chaulage

2001

↓  
4 et 5 avril 2001 :  
Daniel Tessier organise un colloque  
sur l'acidification des sols  
à l'INRA de Versailles

2005

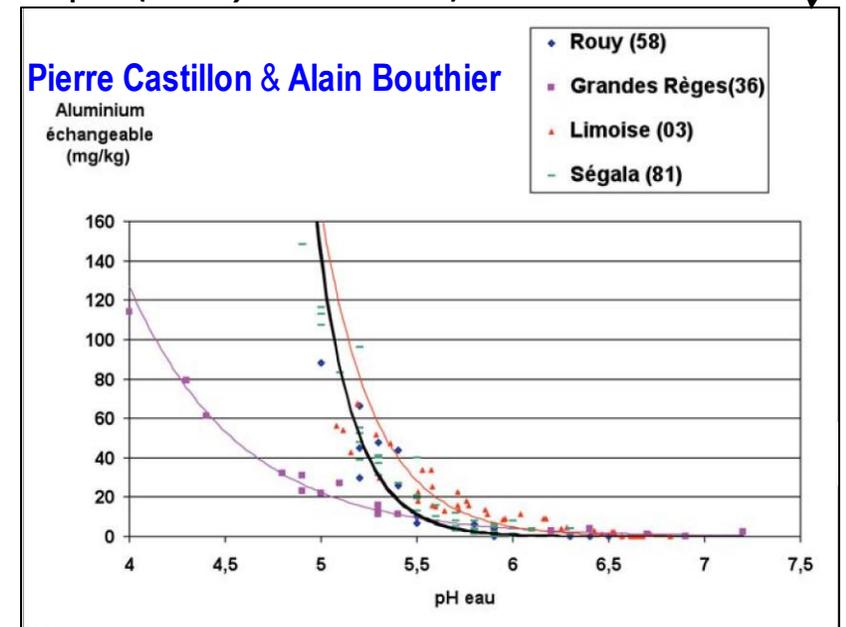
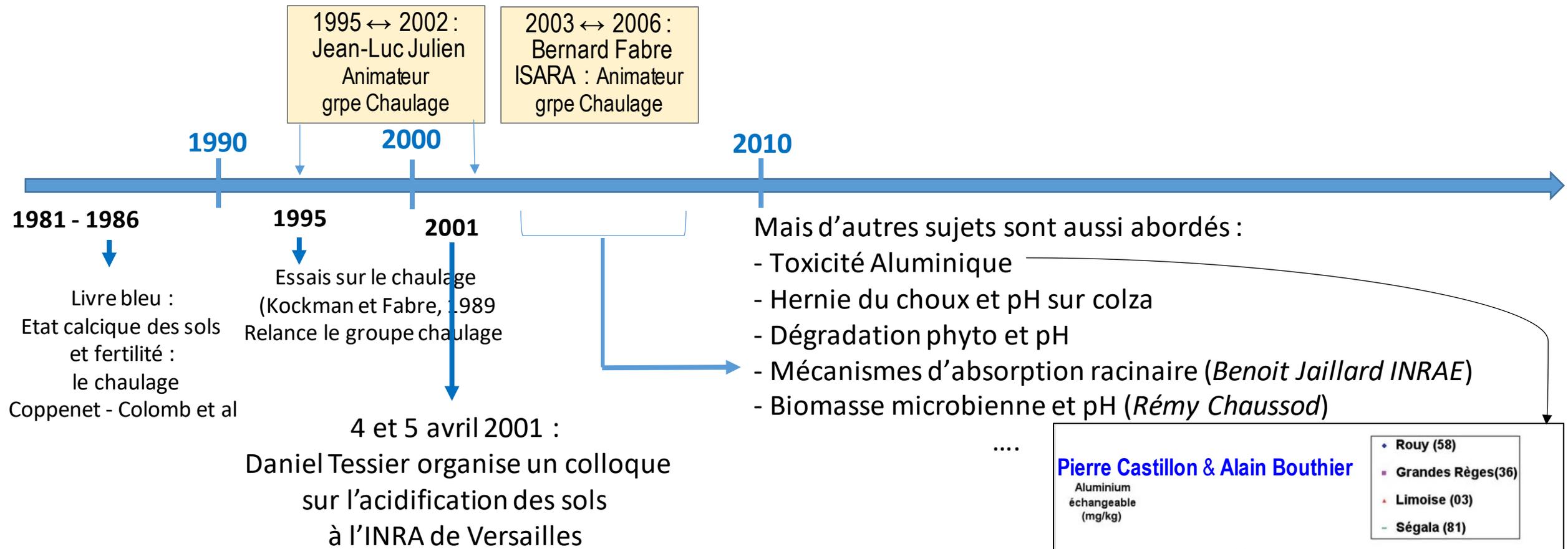


1<sup>ère</sup> version  
Brochure :  
« Le chaulage  
des bases pour  
le raisonner »

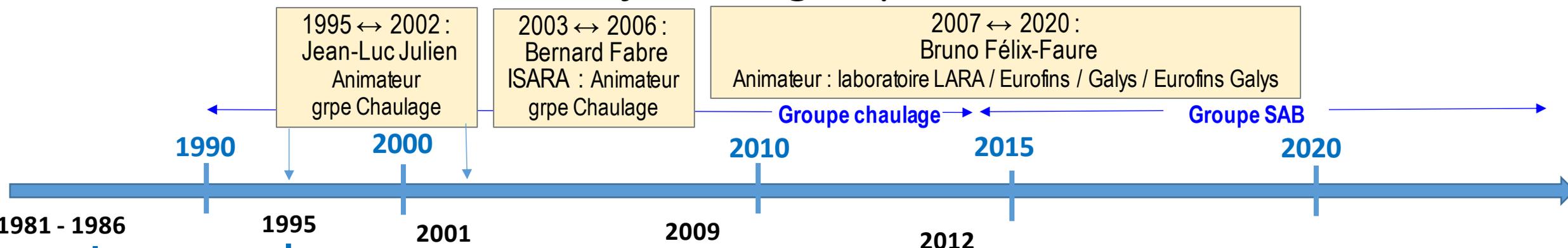
Bernard Fabre lance la rédaction  
d'une brochure « Chaulage » :  
- Rassembler ce que l'on a peu à peu compris  
- Réaliser des fiches techniques selon  
Le sol et les systèmes de cultures.

L'aspect « produit » n'est que peu abordé.

# Les avancées majeurs du groupe SAB au fil des années



# Les avancées majeurs du groupe SAB au fil des années



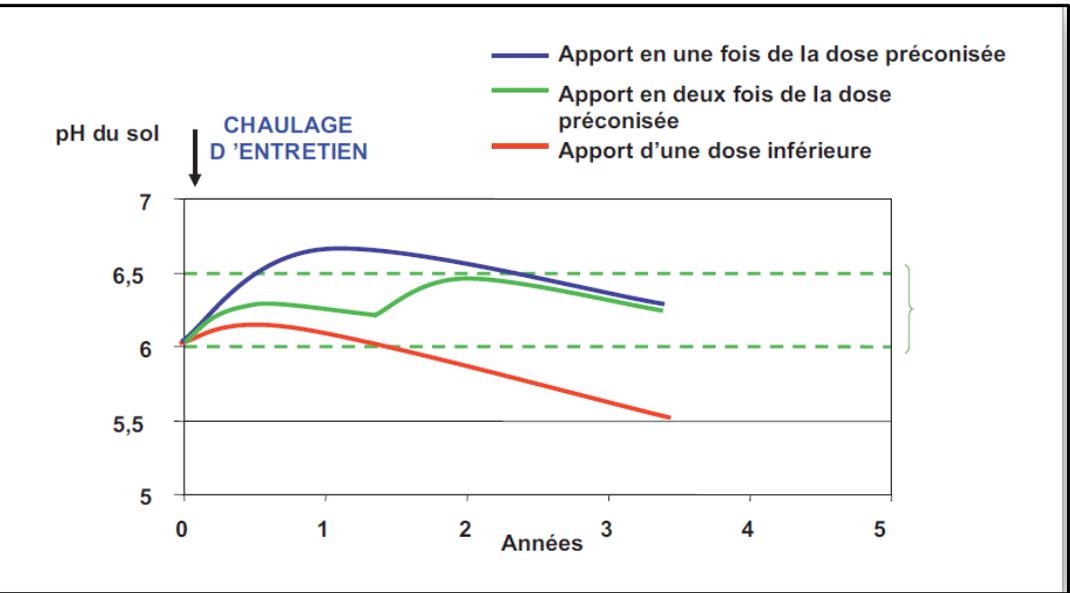
Livre bleu :  
Etat calcique des sols  
et fertilité :

Essais sur le chaulage  
(Kockman et Fabre, 1989)  
Relance le groupe chaulage

## Le Bilan de Protons dans le raisonnement du SAB (FX Gaumont)

- L'effet acidifiant de certains engrais (N, S, P) pour arriver à un anion assimilable ( $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{HPO}_4^-$ )
- Le bilan de cendres
  - Absorption de cations → rejet de  $\text{H}^+$
  - Absorption d'anions → captage de  $\text{H}^+$
- La lixiviation des nitrates  
1 ion nitrate lixivié = 1  $\text{H}^+$  qui reste = ½ unité de VN
- La lixiviation d'hydrogéo-carbonates  
 $\text{HCO}_3^-$  dans les percolats ou le ruissellement

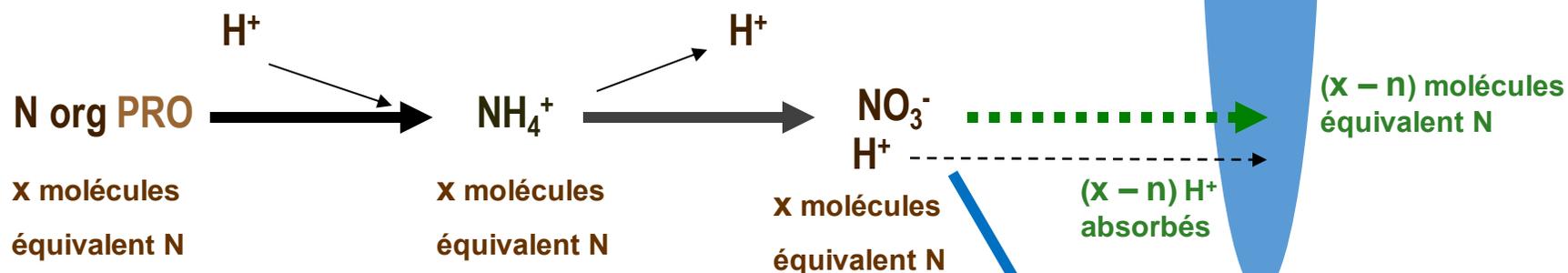
- **Bilan protons** à l'échelle d'une culture
  - Approche intéressante pédagogiquement
  - Modélisation actuellement non réalisable



A permis de reconsidérer le chaulage d'entretien

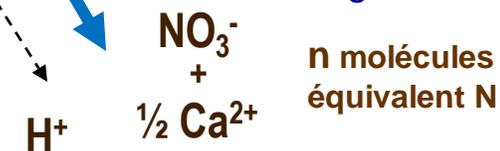
# Schématisation des flux de protons

## ■ Lixiviation d'une fraction des nitrates issus des PRO



Lysimètre - LIXIM →

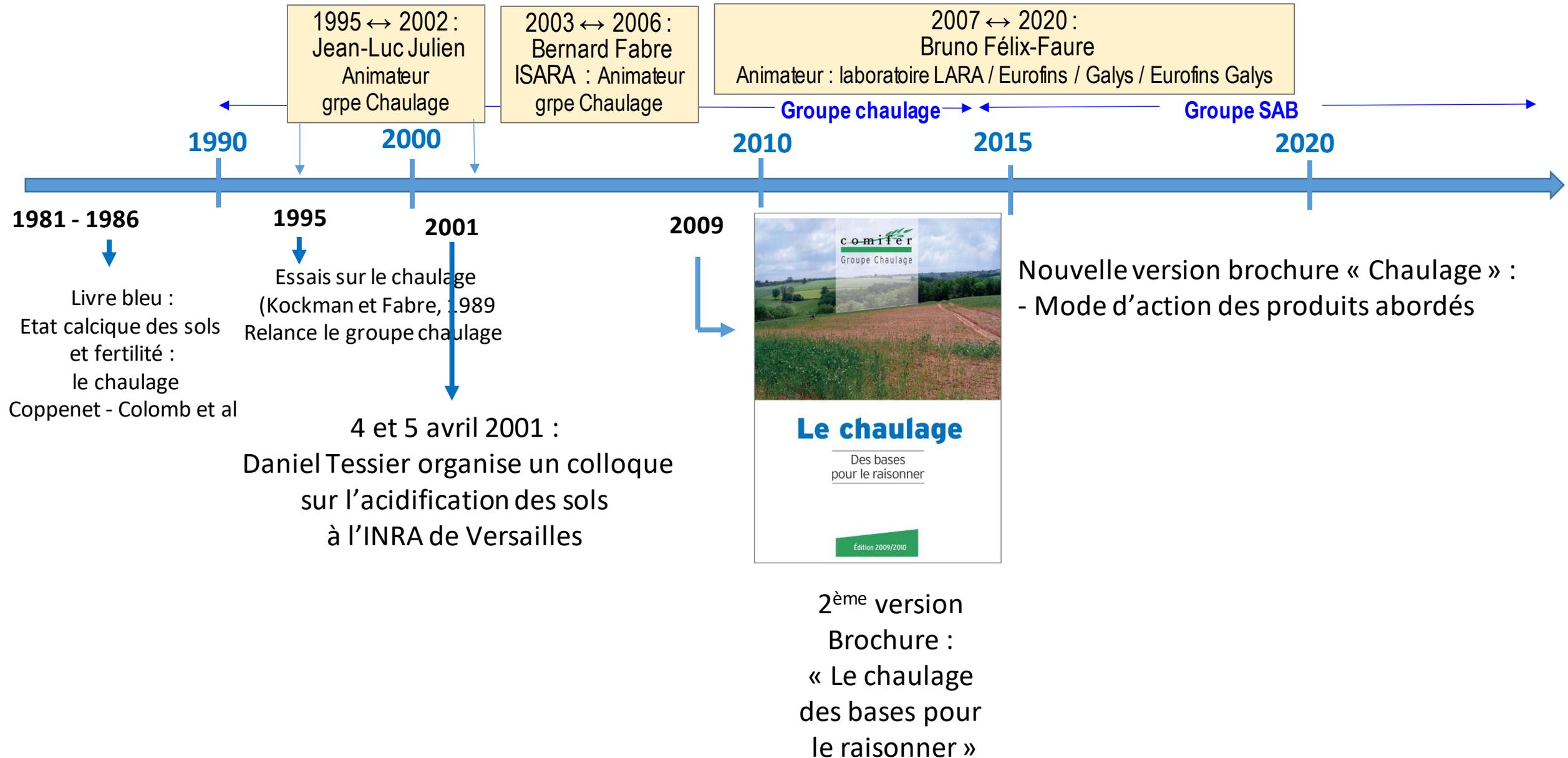
Lixiviation d'ions nitrate sous l'effet du drainage



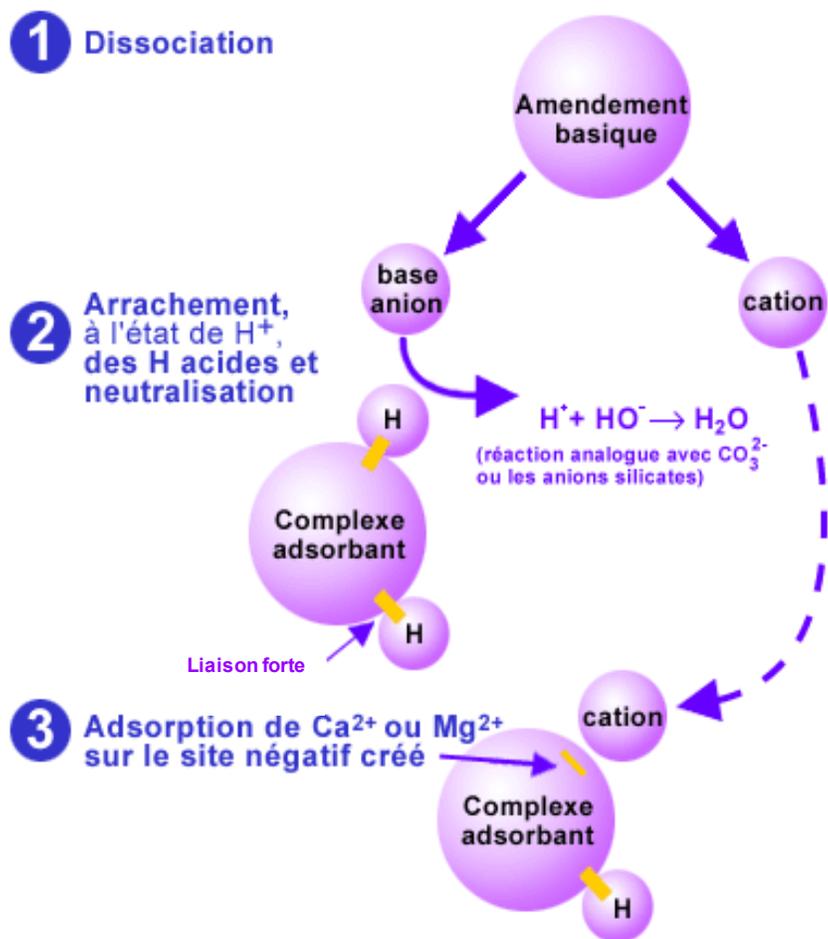
n sites basiques (R-) sont protonés (acidification)

- Chaque ion nitrate lixivié pérennise l'acidité produite au cours de la nitrification
- Chaque ion nitrate lixivié est accompagné d'un cation. Quantitativement, c'est le plus souvent du calcium  $\text{Ca}^{2+}$

# Les avancées majeurs du groupe SAB au fil des années



# Mode d'action des amendements basiques



Explication du mode d'action des amendements basiques

Les « amendements calciques et ou magnésiens s'appellent désormais les « amendements minéraux basiques (AMB) » eu égard aux propriétés du même nom qu'ils apportent.

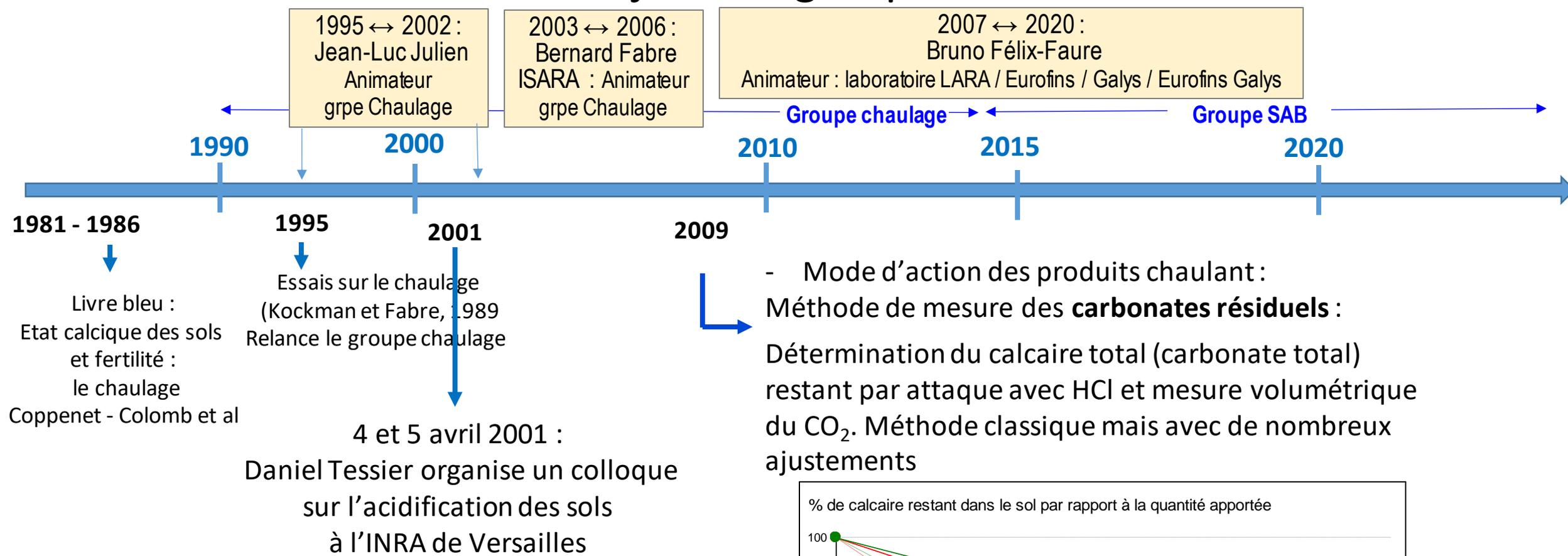
*FX Gaumont* MEAC : norme NF U 44-001 une nouvelle version consolidée référencée avril 2009 a été homologuée par l'AFNOR.

# Critères de choix actuels des Amendements Minéraux Basiques

Critères de choix classiques toujours d'actualité

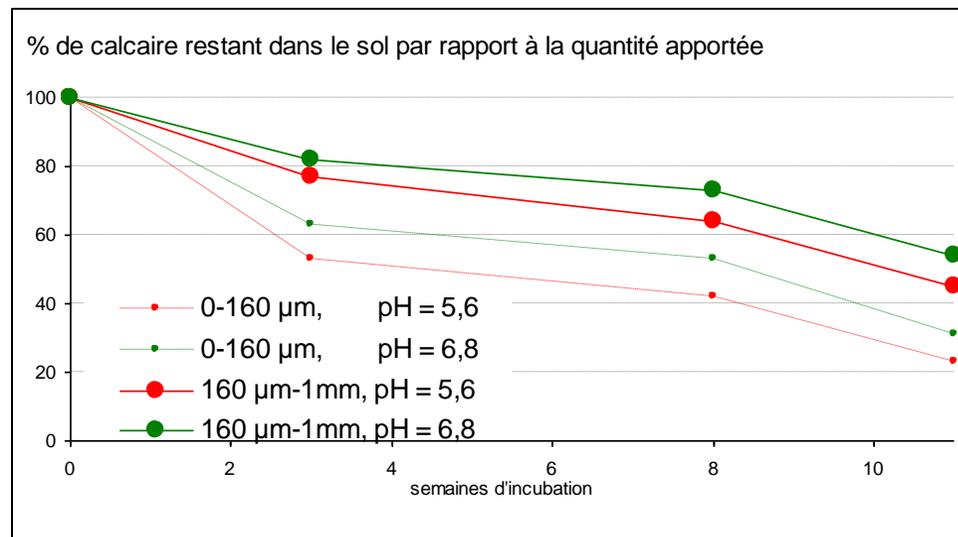
- Valeur neutralisante
- Finesse (produits crus)
- Solubilité carbonique (produits crus)

# Les avancées majeurs du groupe SAB au fil des années



- Mode d'action des produits chaulant :  
 Méthode de mesure des **carbonates résiduels** :  
 Détermination du calcaire total (carbonate total) restant par attaque avec HCl et mesure volumétrique du CO<sub>2</sub>. Méthode classique mais avec de nombreux ajustements

- Dissolution des amendements calcaires est d'autant plus rapide que le pH du milieu est bas
- La vitesse de dissolution d'un amendement calcaire dépend de sa finesse



## ■ Méthode de mesure des carbonates résiduels en plein champs : « mélange dans une bétonnière »

- Mesure des **carbonates résiduels** (2009)

Quantification avec une précision de

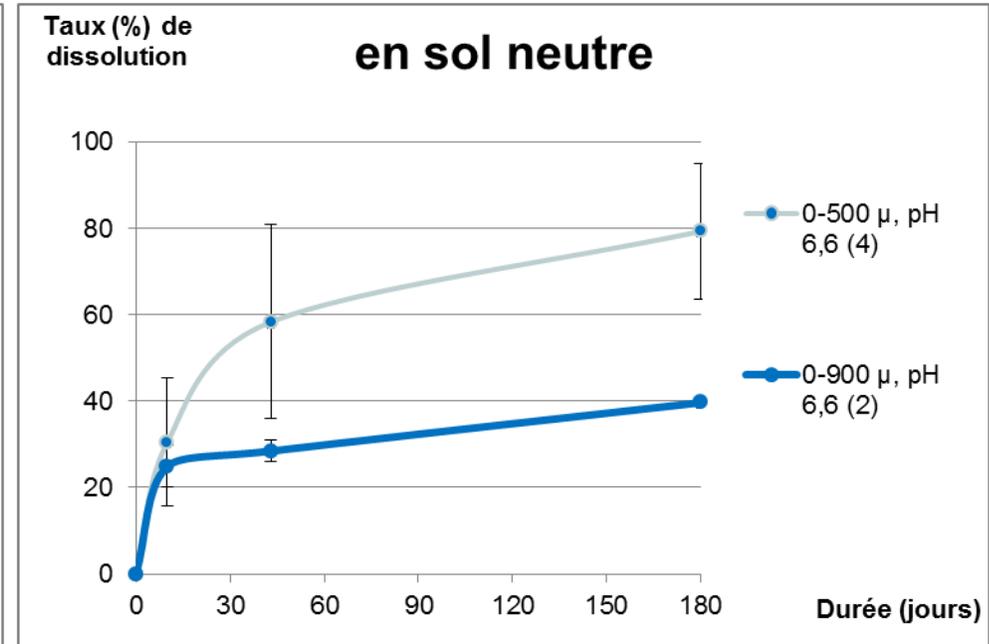
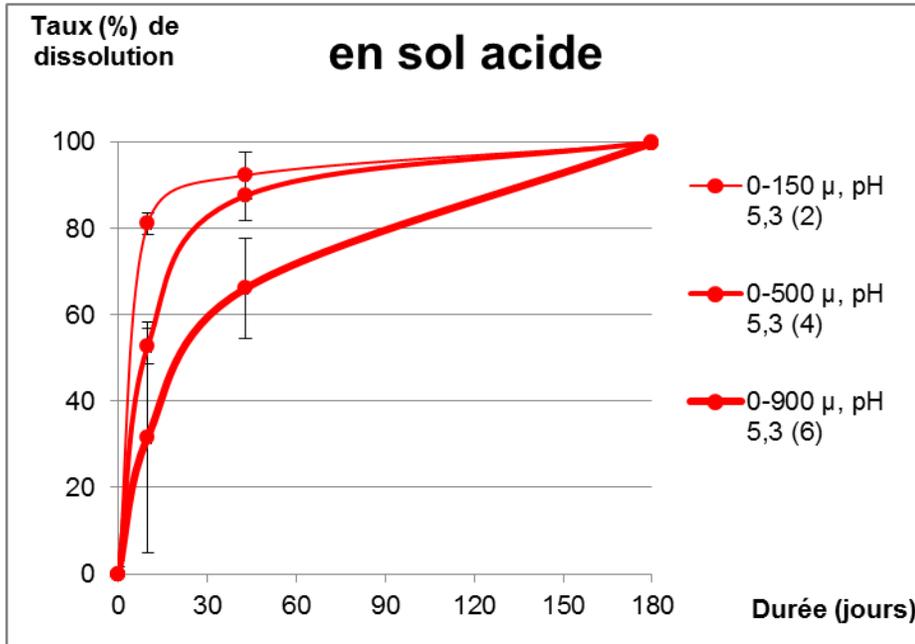
**100 kg de CaCO<sub>3</sub> /ha** offrant d'autres champs d'investigation :

- Vitesse de dissolution des carbonates
- Interprétation des essais chaulage

### Amendements Minéraux Basiques : Carbonates,

Effet de la finesse sur le taux de dissolution

### Effet de la finesse sur le taux de dissolution en fonction du pH du sol



Essai MEAC 2013 : mesure du % de carbonate dissout sur une durée de 6 mois en fonction :

- De la finesse de mouture d'un même carbonate (3 classes de finesse)
- Du type de sol : acide - neutre

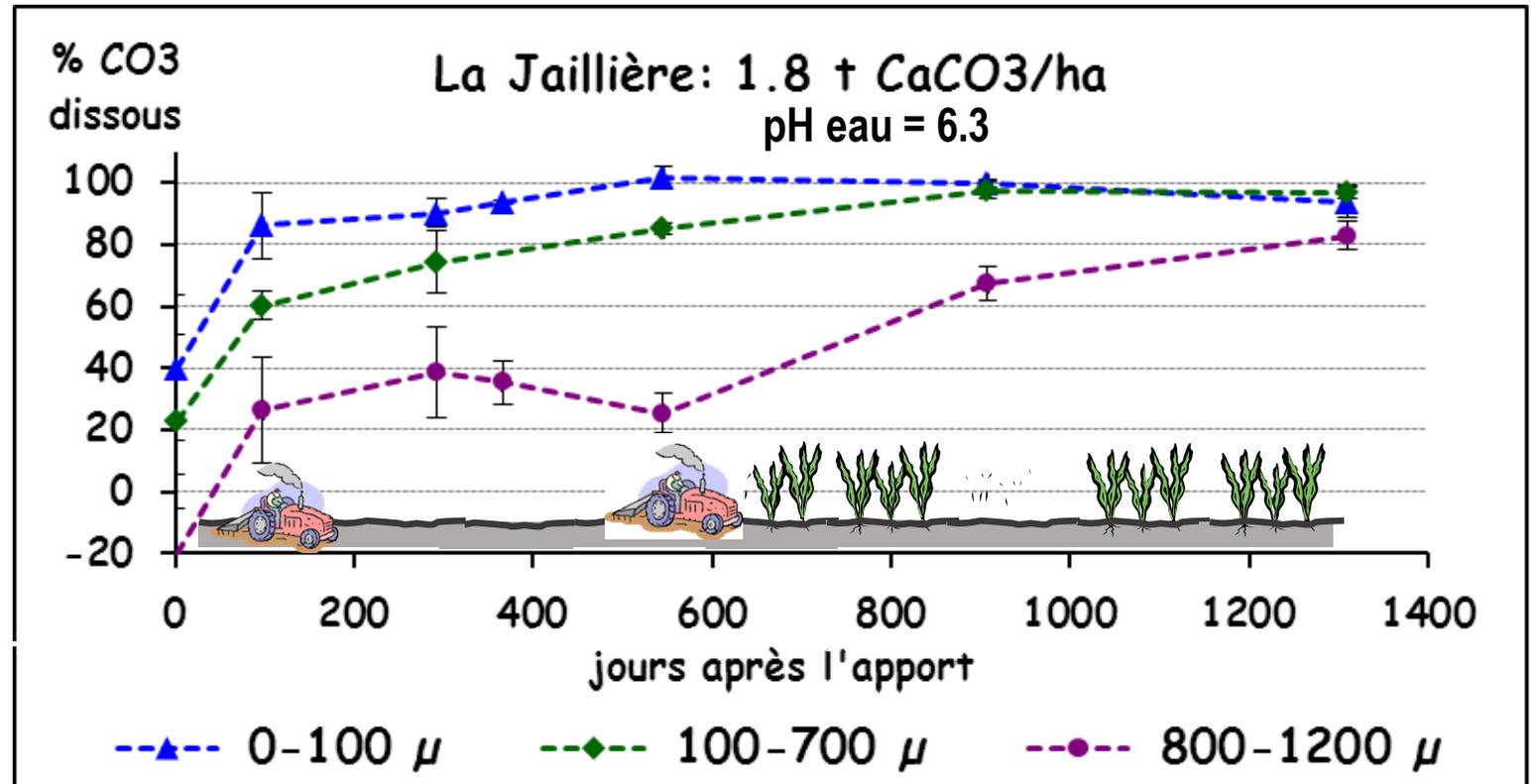
## ■ Méthode de mesure des carbonates résiduels application sur des essais plein champs :

### Amendements Minéraux Basiques : Carbonates,

- Effet de la finesse sur le taux de dissolution
- Influence du travail du sol

- Mesure des **carbonates résiduels** (2009)
- Quantification avec une précision de **100 kg de CaCO<sub>3</sub> /ha** offrant d'autres champs d'investigation :
- Vitesse de dissolution des carbonates
  - Interprétation des essais chaulage

Essai identique sur St Jean de Brevelay  
pH = 5,4

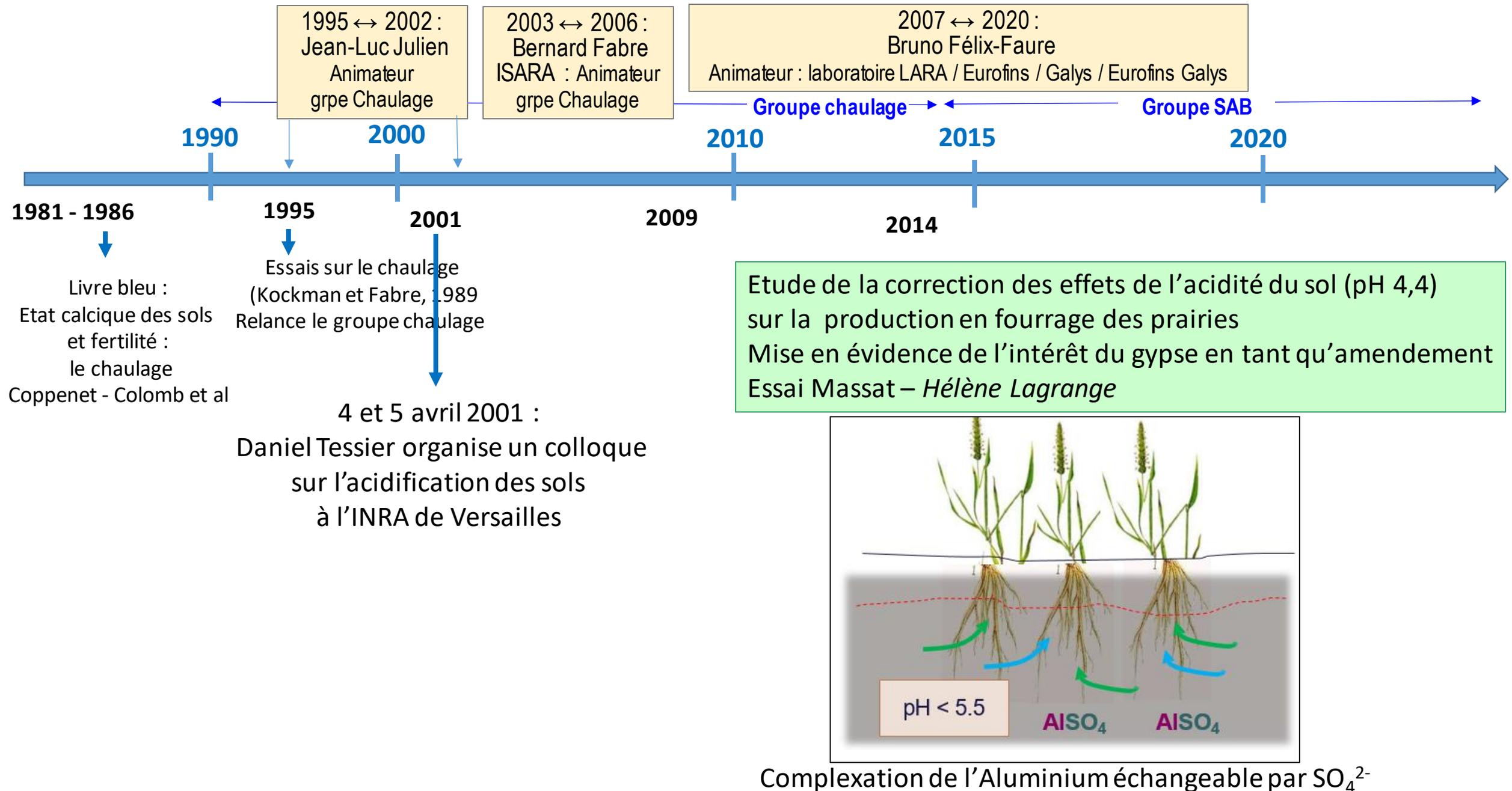


**Poursuite de la dissolution des produits 100-700 µ et 800-1200 µ, au cours des campagnes 2011 et 2012, sur les deux sites**

- en présence de culture
- avec travail du sol

Essais au champ en conditions agricoles (ARVALIS)

# Les avancées majeurs du groupe SAB au fil des années





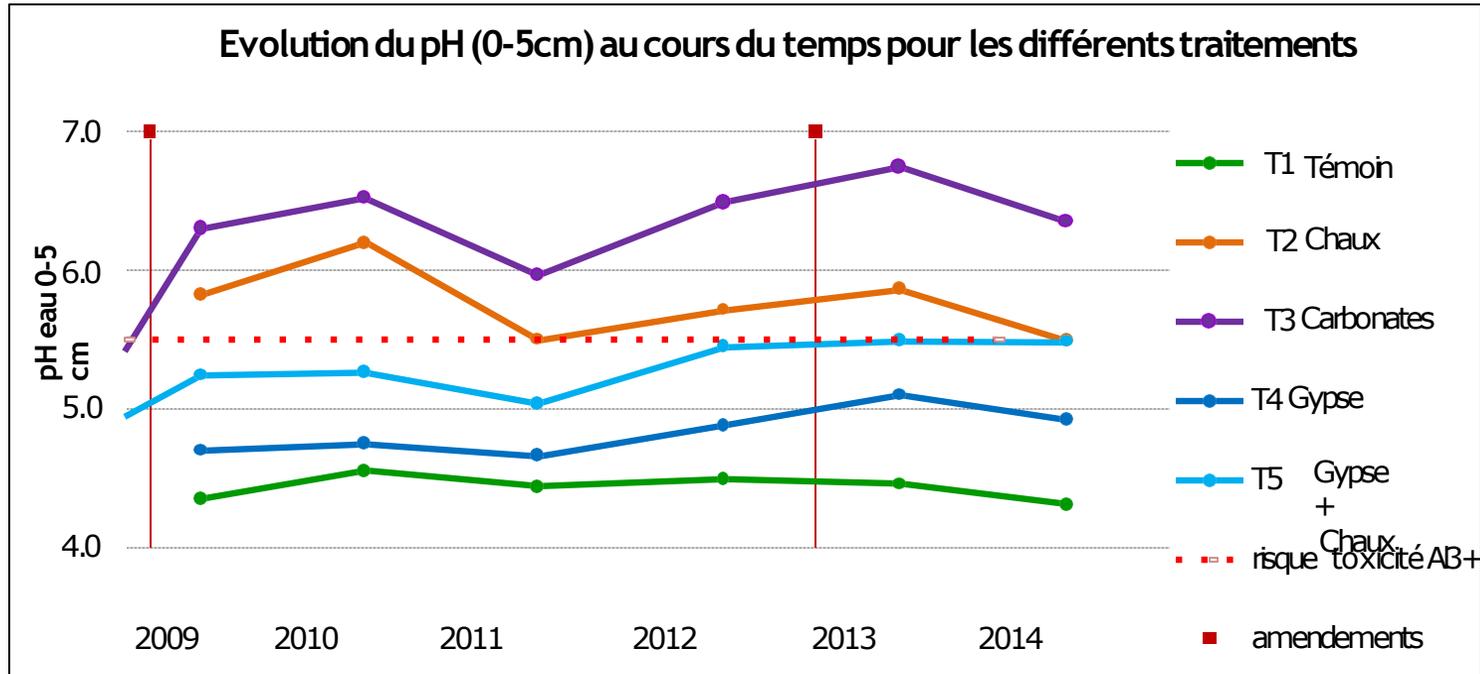
**Etude de la correction des effets de l'acidité du sol sur la  
production en fourrage des prairies  
Mise en évidence de l'intérêt du gypse en tant qu'amendement**

**ARVALIS**  
Institut du végétal

Soutenance de mémoire de  
stage de fin d'étude

Le 26/09/2014 à Paris  
Par Hélène LAGRANGE

**AgroParisTech**  
INSTITUT DES SCIENCES ET INDUSTRIES DU VIVANT ET DE L'ENVIRONNEMENT  
PARIS INSTITUTE OF TECHNOLOGY FOR LIFE, FOOD AND ENVIRONMENTAL SCIENCES



Stat: Test sur l'ensemble des données de pH de 2009 à 2013:

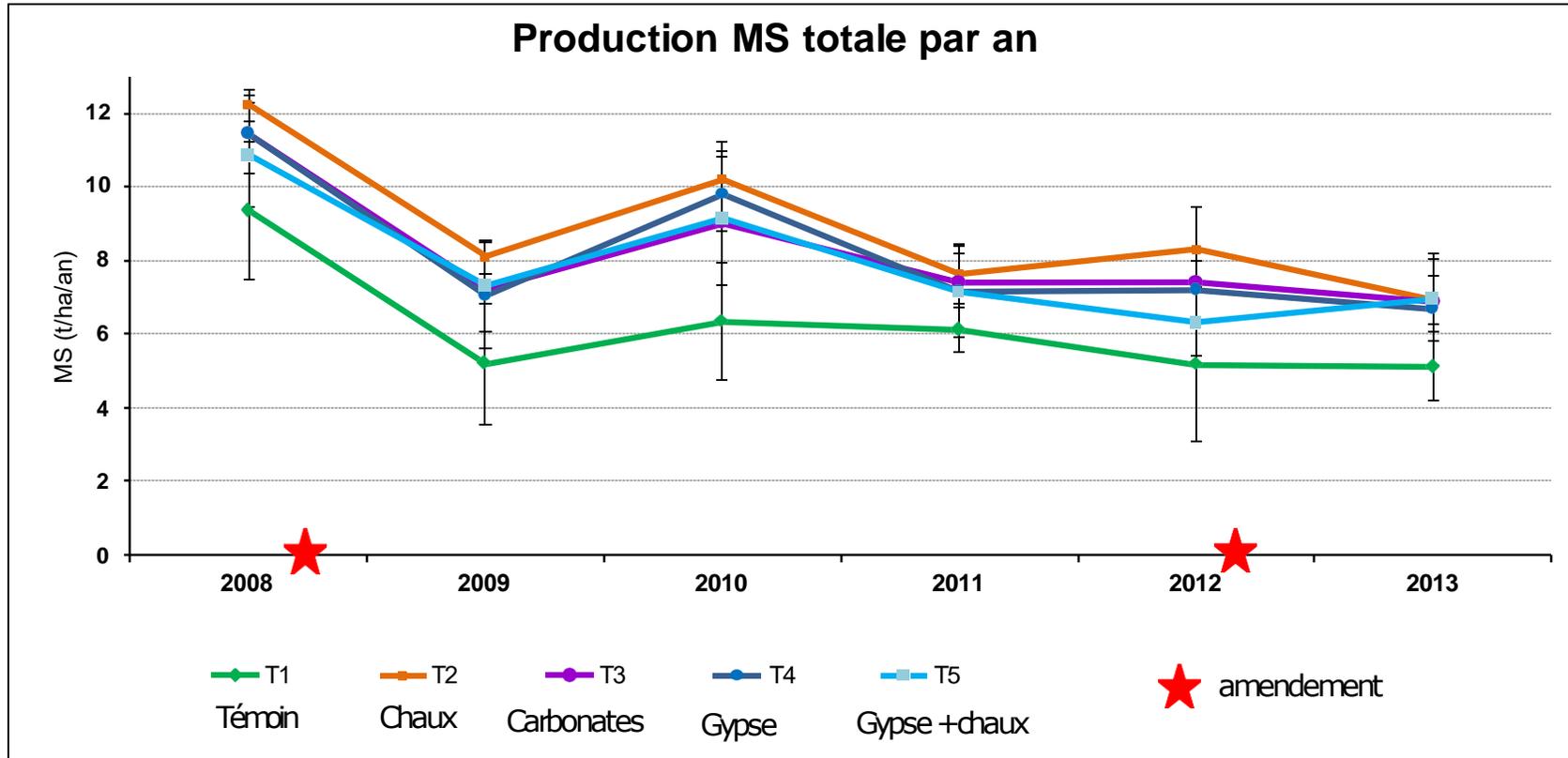
Modèle Mixte :  $\text{pH} \sim \text{Traitement} + \text{Année}$

Effet traitement significatif:  $p\text{-value (trait)} = 2,2 \cdot 10^{-16}$

	T1	T2	T3	T4	T5
Groupede Tukey	a	d	e	b	c
pH estimé (0-5)	4,43	5,77	6,40	4,83	5,33

- Sans amendement: sol très acide
- Classement pH  $\neq$  classement MS
  - $\nearrow$  pH avec chaux et carbonates
  - pH gypse = témoin

Moins de variations de pH en profondeur



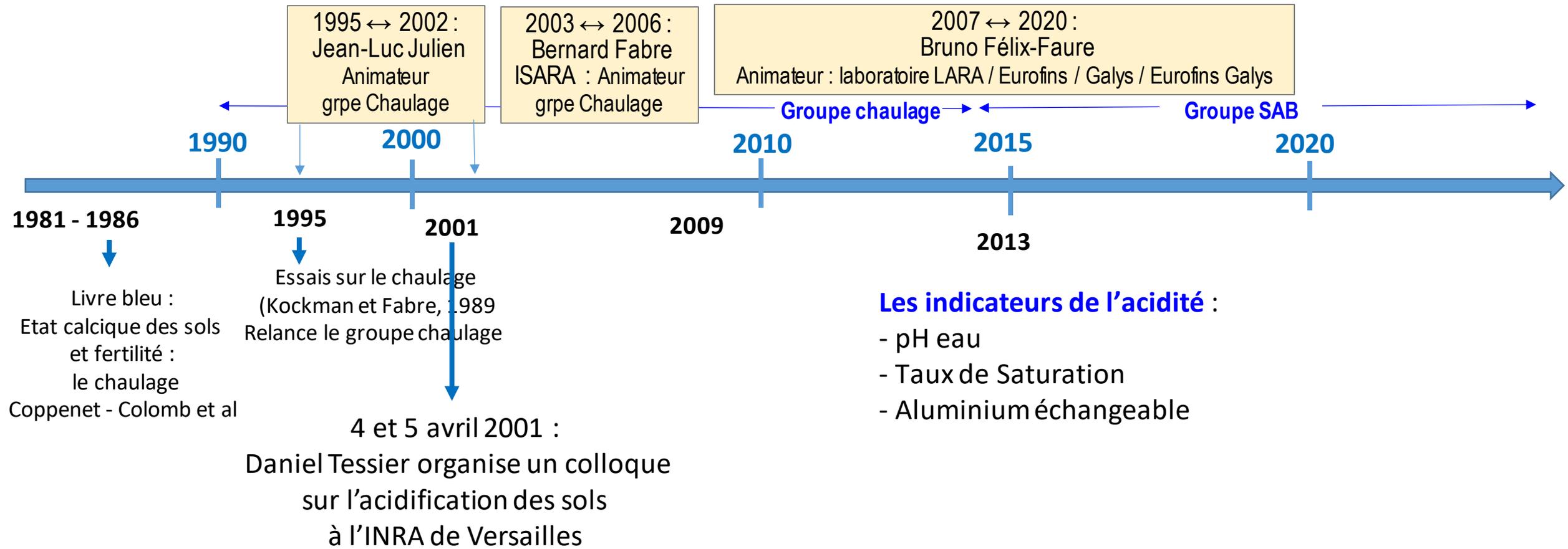
Stat: Test sur l'ensemble des données de MStot de 2008 à 2013:

Modèle Mixte :  $MStot \sim Traitement + Bloc + Année + (Trait: Bloc) + (Trait: Année)$

Effet traitement significatif:  $p\text{-value (trait)} = 8,7 \cdot 10^{-12}$

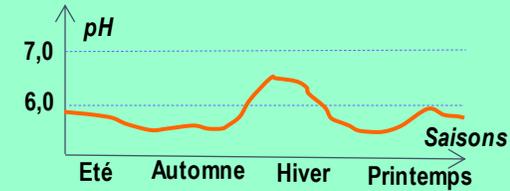
- Témoin significativement différent des autres 6,20tMS/ha/an
- Equivalence des 4 modalités d'amendement ~8-8,8tMS/ha/an

# Les avancées majeurs du groupe SAB au fil des années



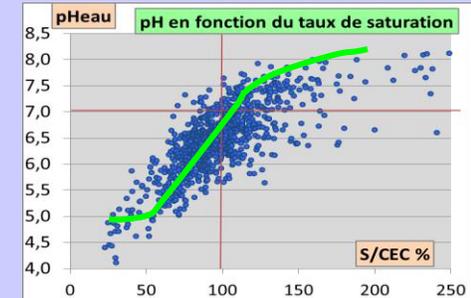
## ● pH<sub>eau</sub> :

- Forte variabilité saisonnière
- L'interprétation du pH doit nécessairement faire intervenir la date de prélèvement.
- Paramètre analytique essentiel de l'analyse traduisant l'ambiance chimique du sol au moment du prélèvement



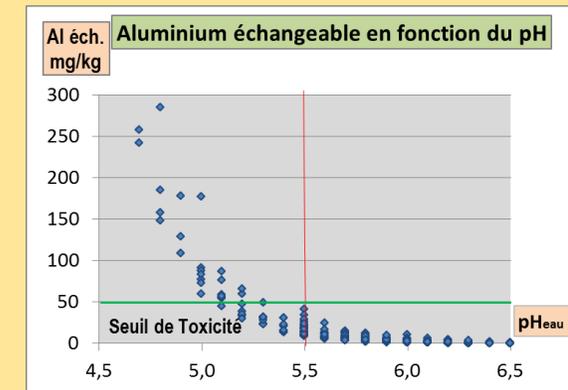
## ● S/CEC :

- Moins sujet aux variations saisonnières
- Assez bien corrélé avec le pH eau
- Pour les faibles CEC (sol sableux – sablo-limoneux), cet indicateur présente une précision insuffisante pour être pertinent
- Quelques situations présentant des discordances entre l'indicateur pH et l'indicateur S/CEC



## ● Aluminium échangeable :

- Indicateur intéressant dans les situations franchement acides (pH eau < 5,8)
- **Traduit le risque réel d'accident dû à une acidité importante**
- Dans les sols à forte teneur en matière organique (MO) son interprétation est rendue plus délicate. Difficulté à connaître la réelle proportion d'Al. éch. qui serait séquestrée par la MO



## → Le taux de saturation :

- La relation entre pH et S/CEC

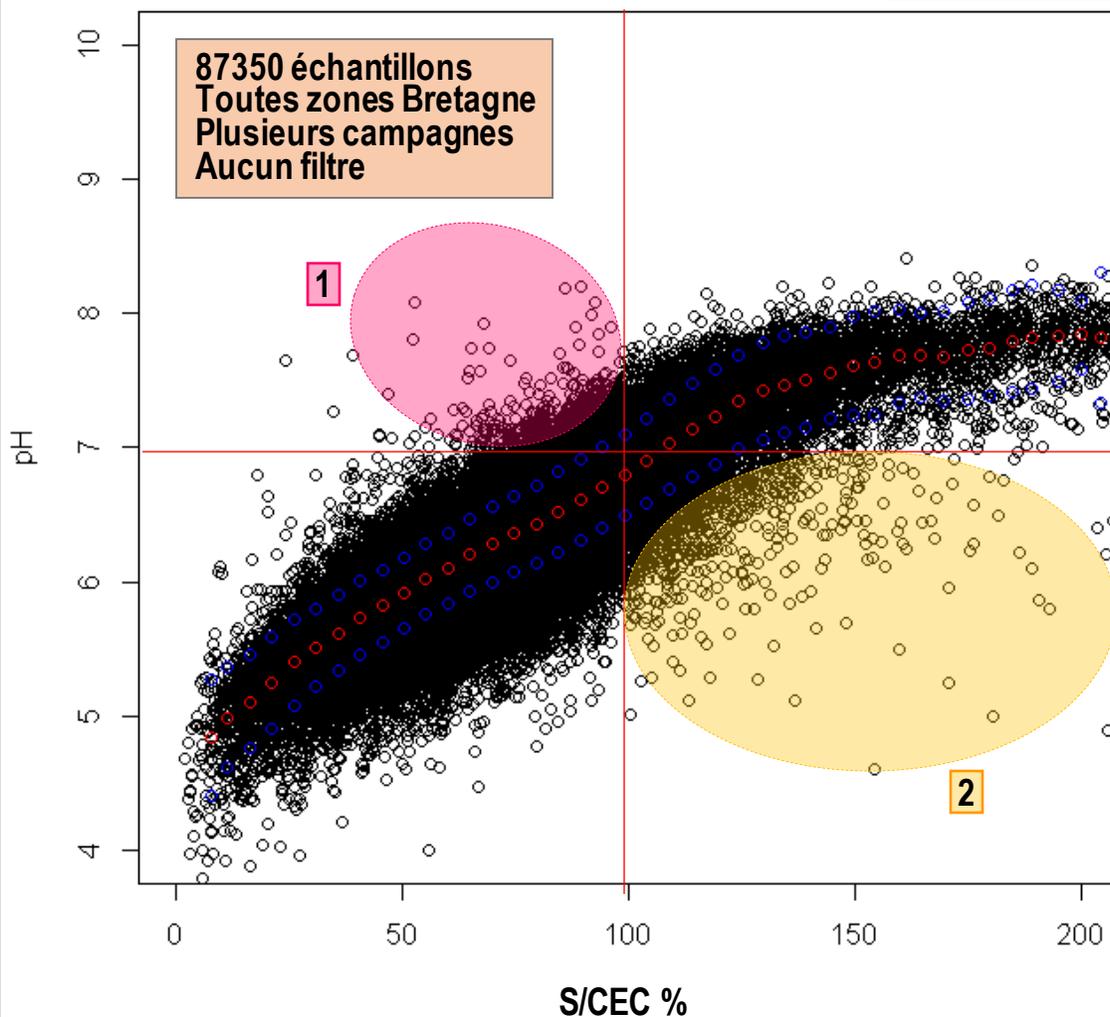
Exemple 2 : Coopérative TRISKALIA analyses de sol 2012  
pHeau en fonction du taux de saturation – 1<sup>ère</sup> approche

Zone Bretagne

Relation pH S/CEC

Triskalia

Etude JF Ribouchon



La relation  
pH  
et  
Taux de  
saturation  
présente dans  
certains cas  
des  
incohérences

- Approche nuage de points :  
Approche qui donne  
l'impression d'une dispersion  
assez importante.

- Approche statistique :  
Approche qui met en avant la  
relative concentration des  
échantillons le long d'une  
courbe :

- ○ Point rouge médiane des pH
- ○ Point bleu<sub>1</sub> = 1<sup>er</sup> quartile = Q<sub>1</sub>
- ○ Point bleu<sub>2</sub> = 3<sup>ème</sup> quartile = Q<sub>3</sub>
- 50% des valeurs entre Q<sub>1</sub> et Q<sub>3</sub>

- Situations avec discordance  
entre indicateurs pH et S/CEC

2 analyses avec :  
pH < 7,0 et S/CEC > 100%

1 analyses avec :  
pH > 7,0 et S/CEC < 100%

Ces analyses représentent une  
proportion de situations  
relativement faibles

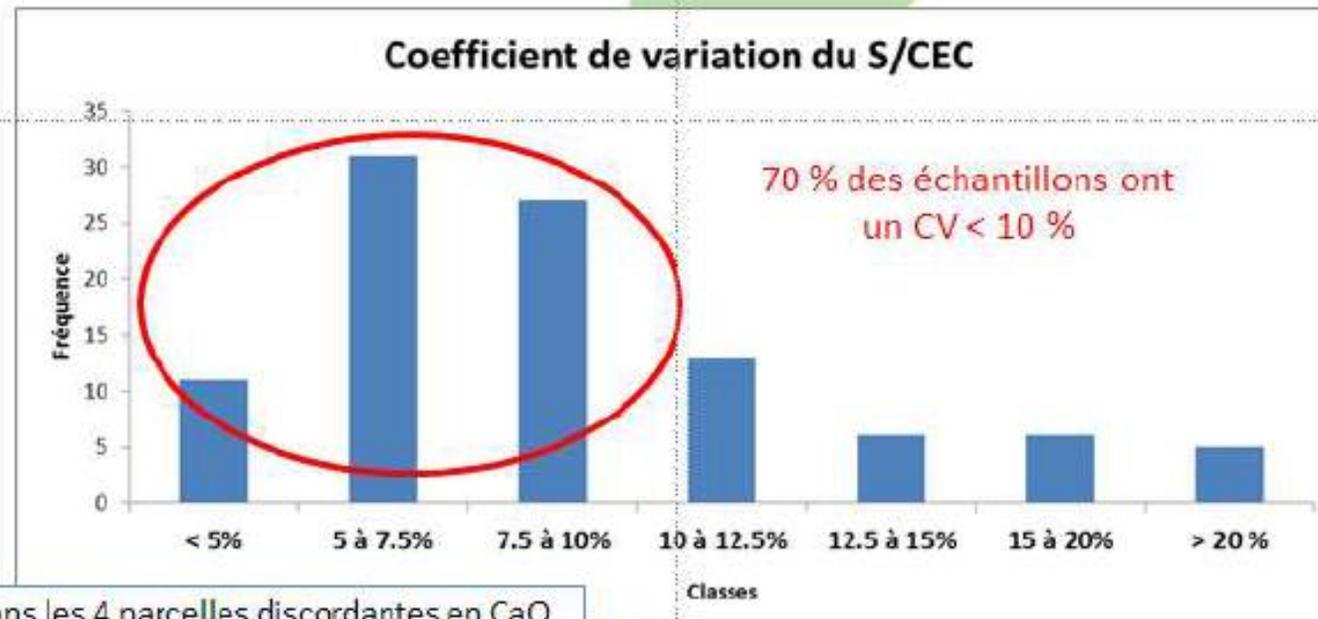
## ■ Les indicateurs de l'acidité : taux de saturation en sol sableux, limono-sableux : incertitude importante

### ■ Ce qui fait consensus au sein du groupe SAB :

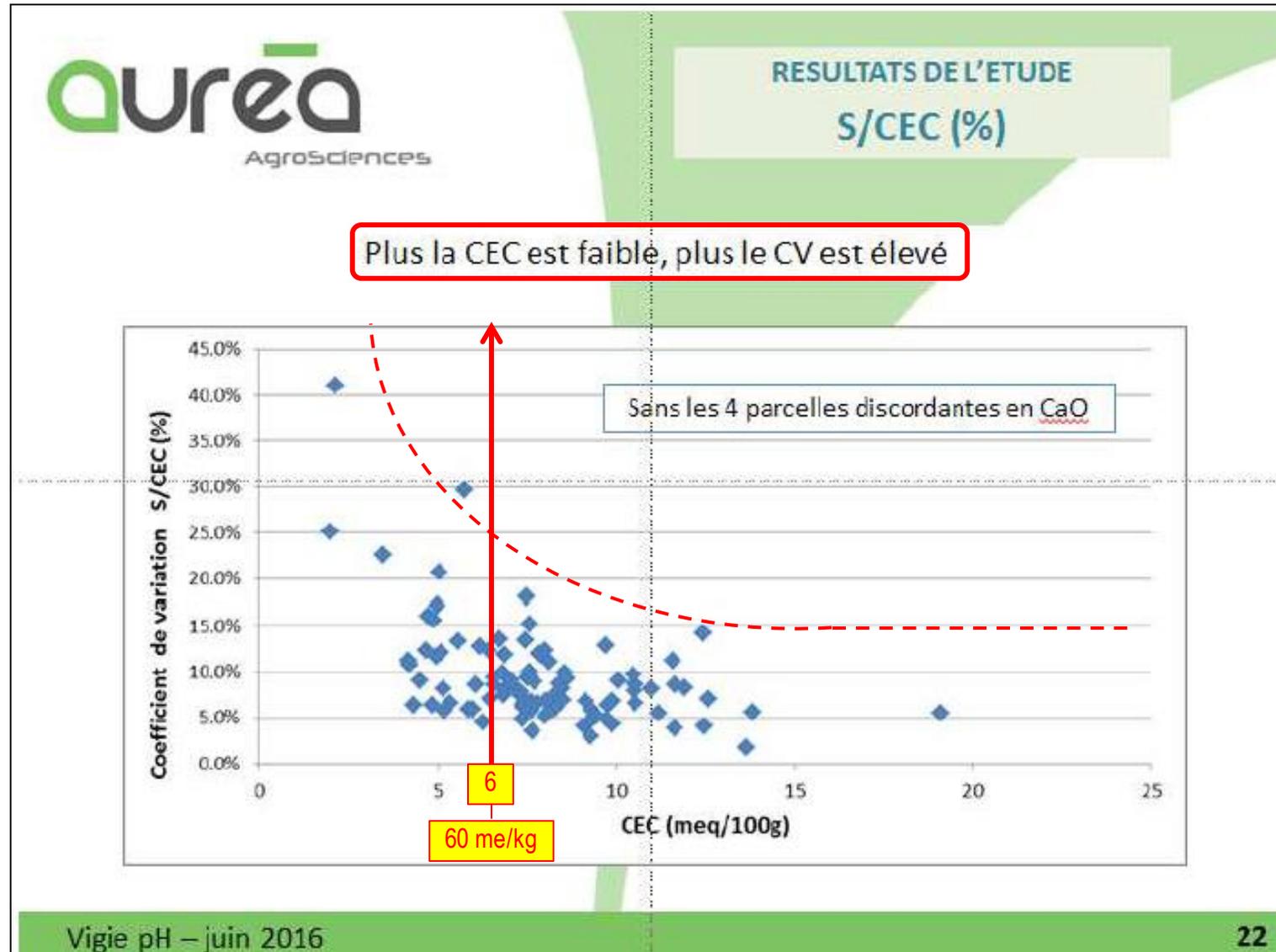
**auréa**

RESULTATS DE L'ETUDE  
S/CEC (%)

Utilisation des 5 mesures (Galys Brut, Galys Tamisol, LDAR brut, LDAR Tamisol, Auréa) pour faire moyenne, écart type et coefficient de variation pour chaque échantillon.



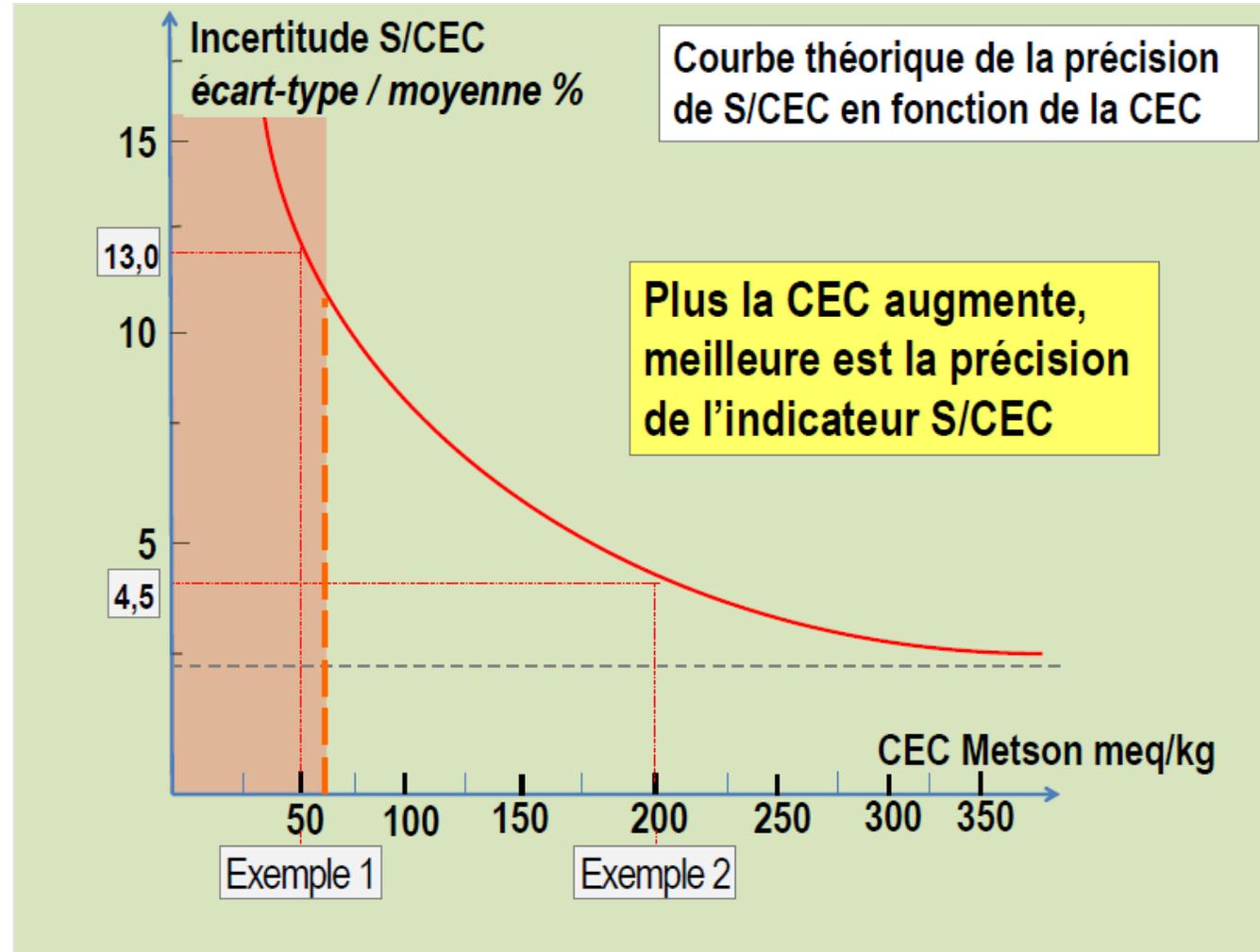
■ Les indicateurs de l'acidité : taux de saturation en sol sableux, limono-sableux : incertitude importante



■ Les indicateurs de l'acidité : Taux de saturation et taille de la CEC

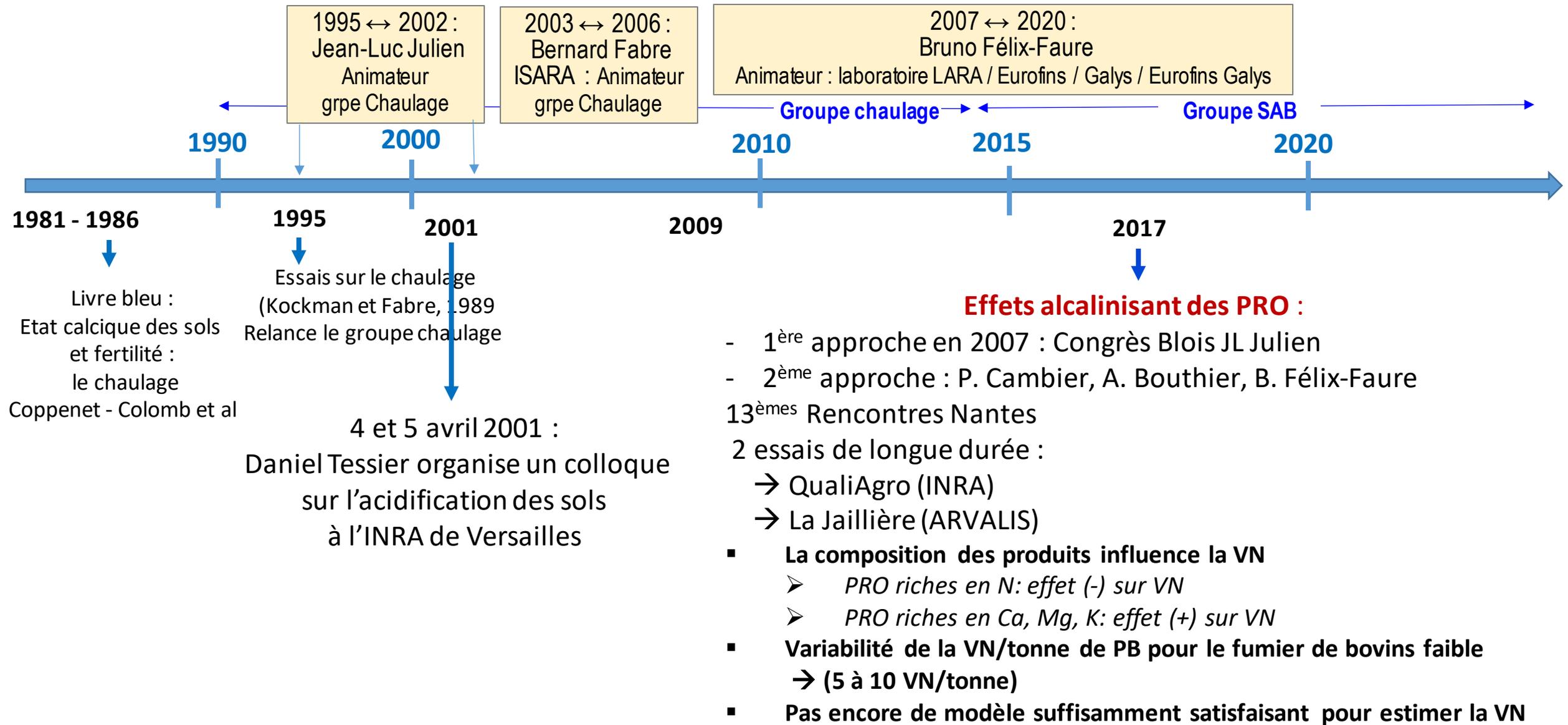
La précision du taux de saturation entraîne des problèmes de discordance entre pH et S/CEC

- Sol sableux ou sablo-limoneux
  - faible CEC<sub>Metson</sub>
  - Indicateur S/CEC précision médiocre
  - S/CEC peut être
    - surestimé
    - sous-estimé
  - D'où discordances avec l'indicateur pH<sub>eau</sub>

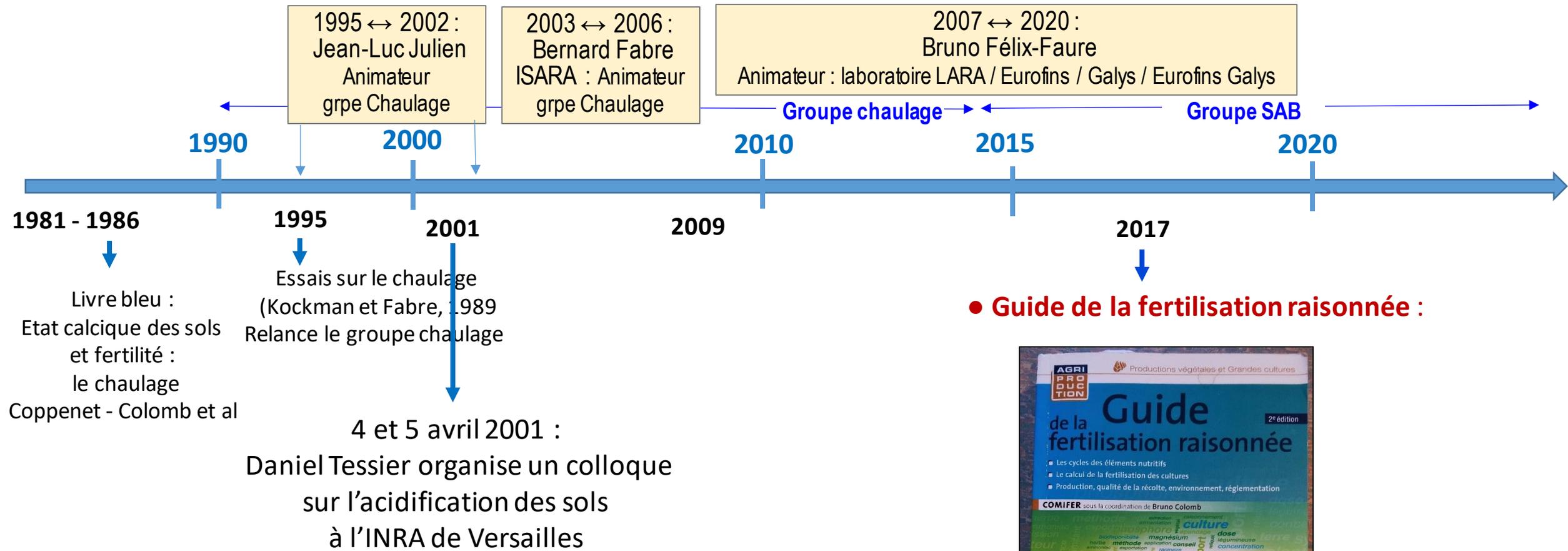


- Sol sableux ou sablo-limoneux : raisonner le chaulage à partir de l'indicateur pH<sub>eau</sub> seul

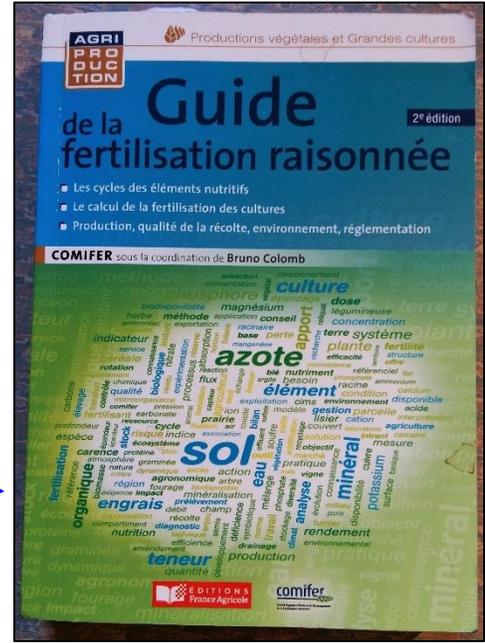
# Les avancées majeurs du groupe SAB au fil des années



# Les avancées majeurs du groupe SAB au fil des années

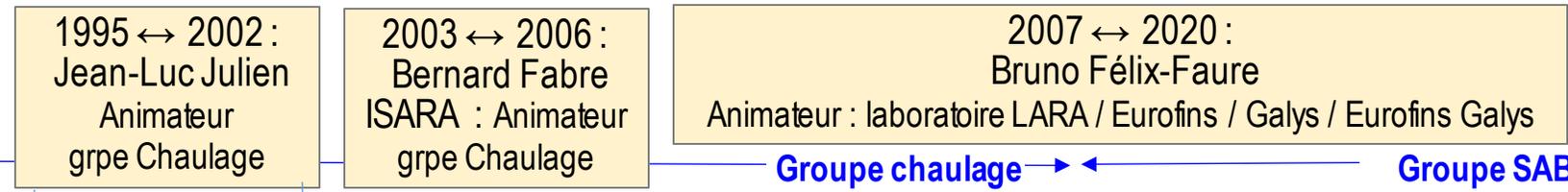


VII. Cycle biogéochimique du calcium  
 III. Gestion du statut acido-basique des sols



# Les avancées majeurs du groupe SAB au fil des années

2020  
Co-animation :  
Hélène Lagrange  
Bruno Félix-Faure

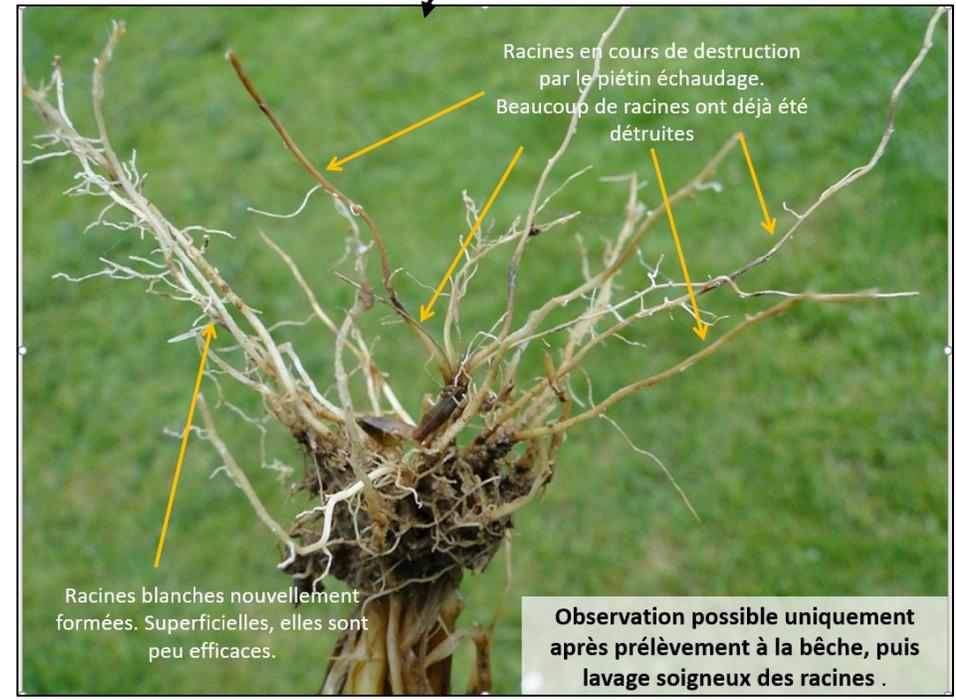


1990      2000      2010      2015      2020

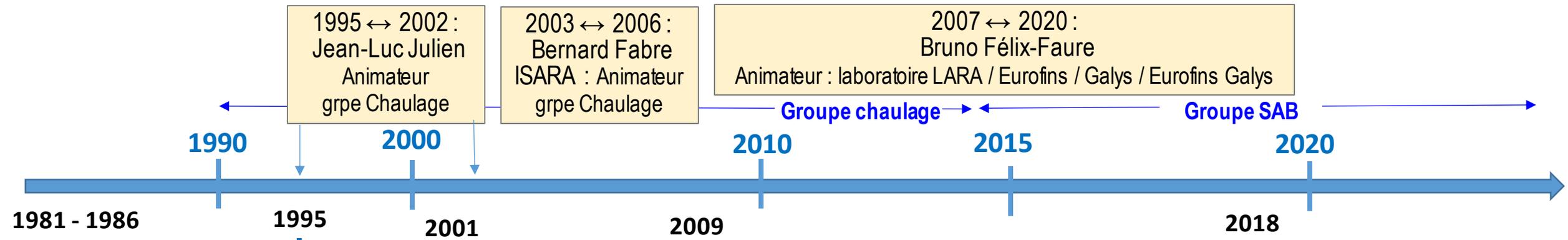
1981 - 1986  
↓  
Livre bleu :  
Etat calcique des sols  
et fertilité :  
le chaulage  
Coppenet - Colomb et al

1995      2001  
↓  
Essais sur le chaulage  
(Kockman et Fabre, 1989)  
Relance le groupe chaulage

2009      2017  
- Chaulage et carence en manganèse : *Eric Masson Arvalis*  
- Chaulage et piétin échaudage : *Eric Masson Arvalis*



# Les avancées majeurs du groupe SAB au fil des années

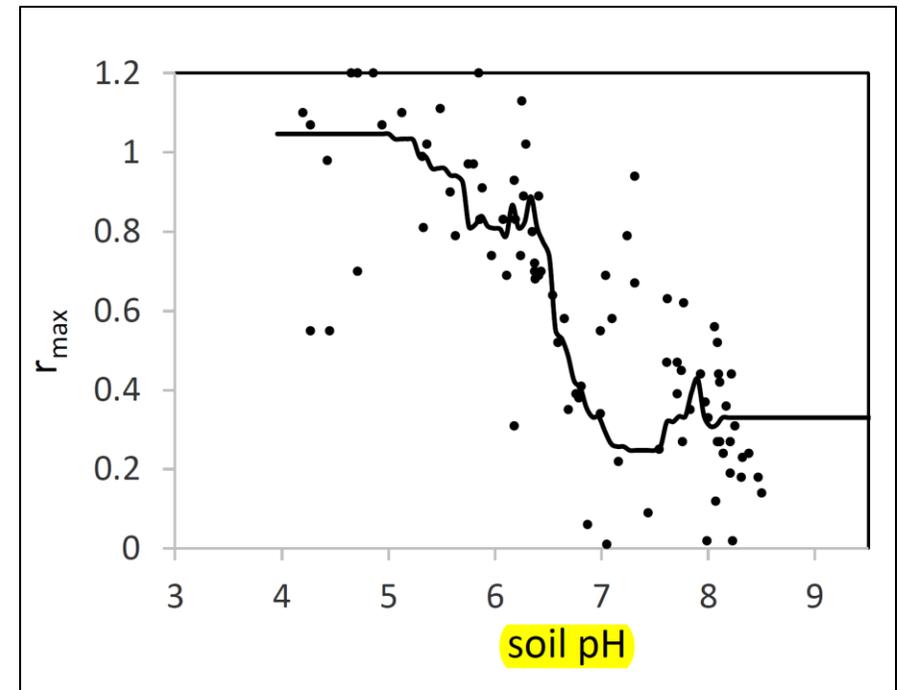


↓  
Livre bleu :  
Etat calcique des sols  
et fertilité :  
le chaulage  
Coppenet - Colomb et al

↓  
1995  
Essais sur le chaulage  
(Kockman et Fabre, 1989)  
Relance le groupe chaulage

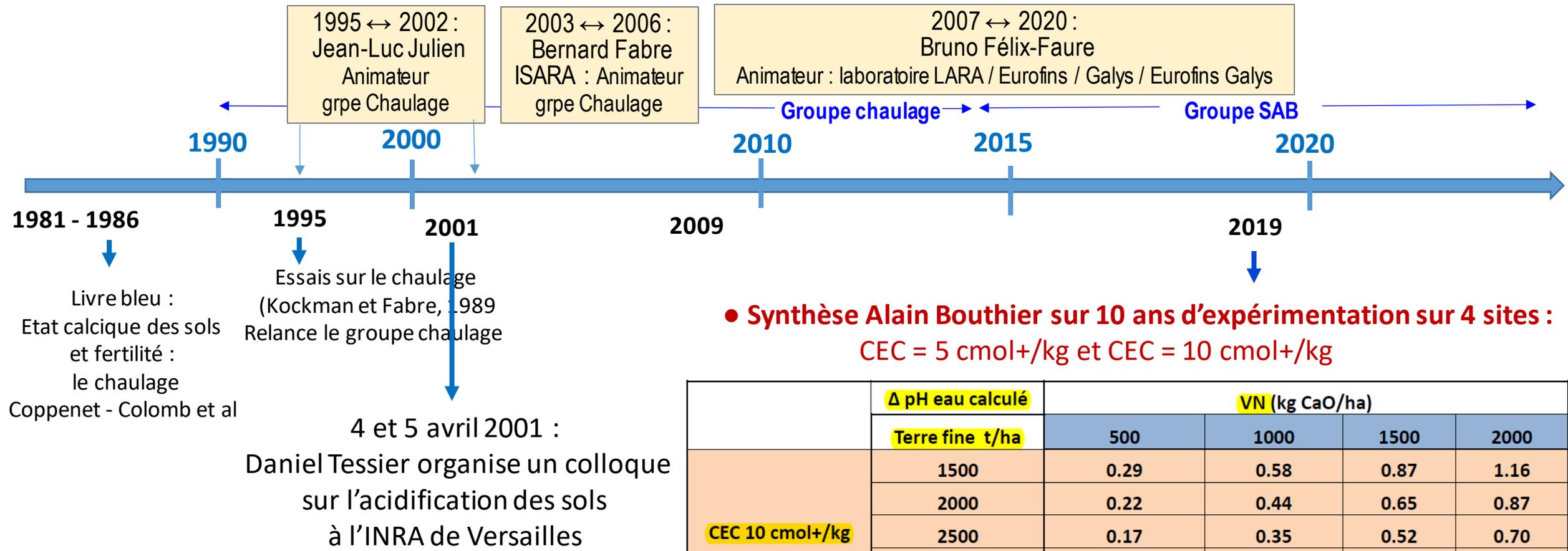
↓  
2001  
4 et 5 avril 2001 :  
Daniel Tessier organise un colloque  
sur l'acidification des sols  
à l'INRA de Versailles

● **pH des sols et Emissions de N<sub>2</sub>O** : Catherine Hénault INRAE



● Chaulage et apport magnésien 2018 : B. Félix-faure

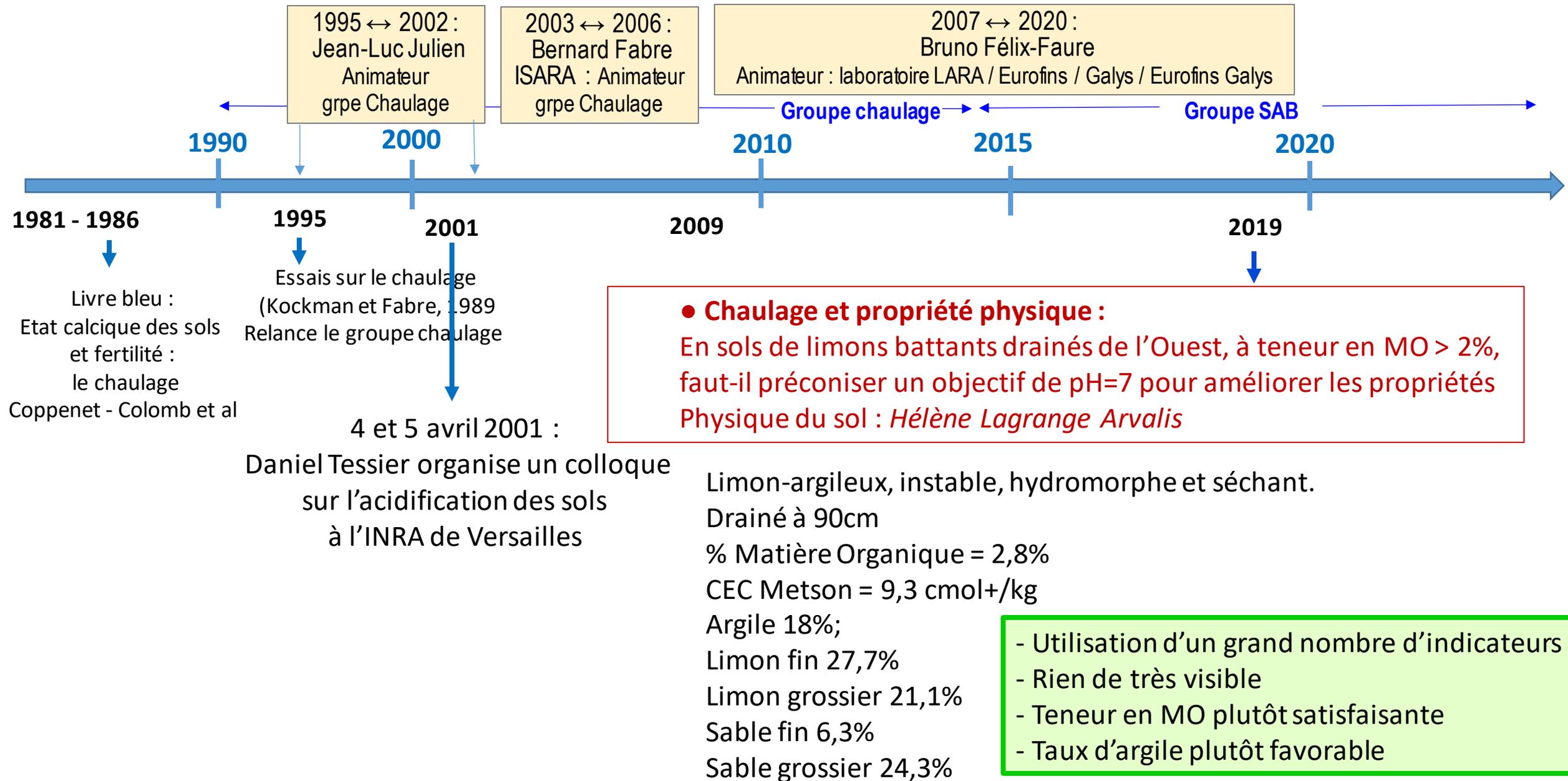
# Les avancées majeurs du groupe SAB au fil des années



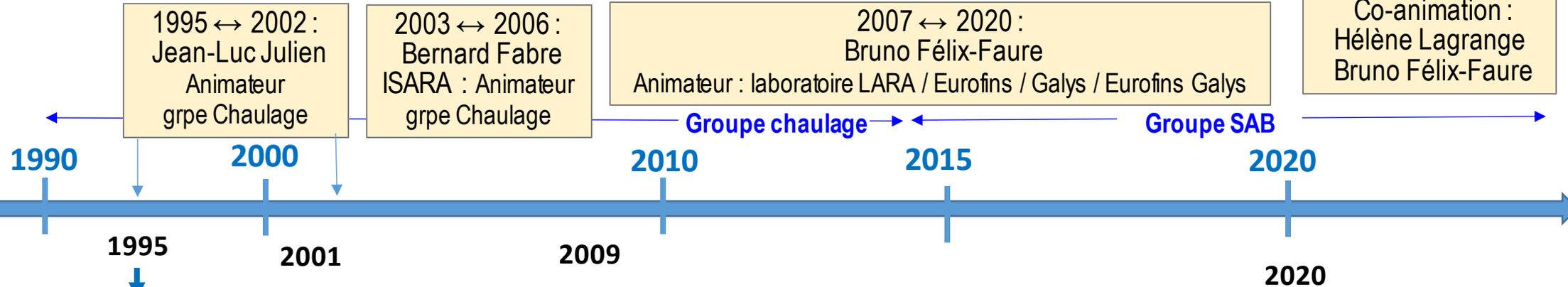
● **Synthèse Alain Bouthier sur 10 ans d'expérimentation sur 4 sites :**  
CEC = 5 cmol+/kg et CEC = 10 cmol+/kg

	$\Delta$ pH eau calculé	VN (kg CaO/ha)			
	Terre fine t/ha	500	1000	1500	2000
<b>CEC 10 cmol+/kg</b>	1500	0.29	0.58	0.87	1.16
	2000	0.22	0.44	0.65	0.87
	2500	0.17	0.35	0.52	0.70
	3000	0.15	0.29	0.44	0.58
	3500	0.12	0.25	0.37	0.50
<b>CEC 5 cmol+/kg</b>	Terre fine t/ha	500	1000	1500	2000
	1500	0.48	0.96	1.45	1.93
	2000	0.36	0.72	1.08	1.45
	2500	0.29	0.58	0.87	1.16
	3000	0.24	0.48	0.72	0.96
	3500	0.21	0.41	0.62	0.83

# Les avancées majeurs du groupe SAB au fil des années



# Les avancées majeurs du groupe SAB au fil des années



1981 - 1986  
 ↓  
 Livre bleu :  
 Etat calcique des sols  
 et fertilité :  
 le chaulage  
 Coppenet - Colomb et al

1995  
 ↓  
 Essais sur le chaulage  
 (Kockman et Fabre, 1989)  
 Relance le groupe chaulage

4 et 5 avril 2001 :  
 Daniel Tessier organise un colloque  
 sur l'acidification des sols  
 à l'INRA de Versailles

Sous le haut patronage

MINISTÈRE DE L'AGRICULTURE ET DE L'ALIMENTATION

28 octobre 2020 en distanciel

pH ET FERTILITÉ DES SOLS

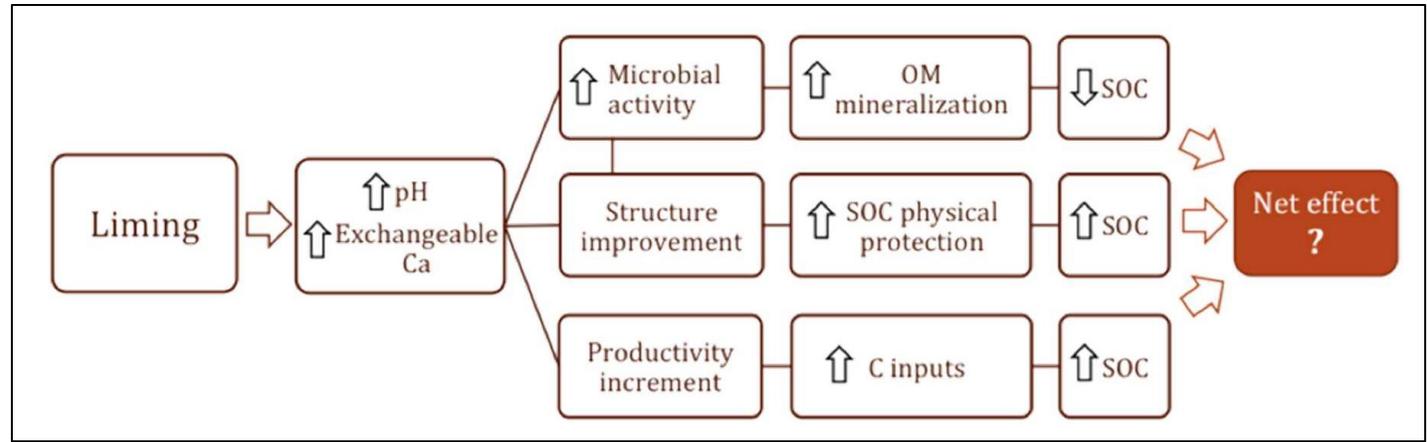
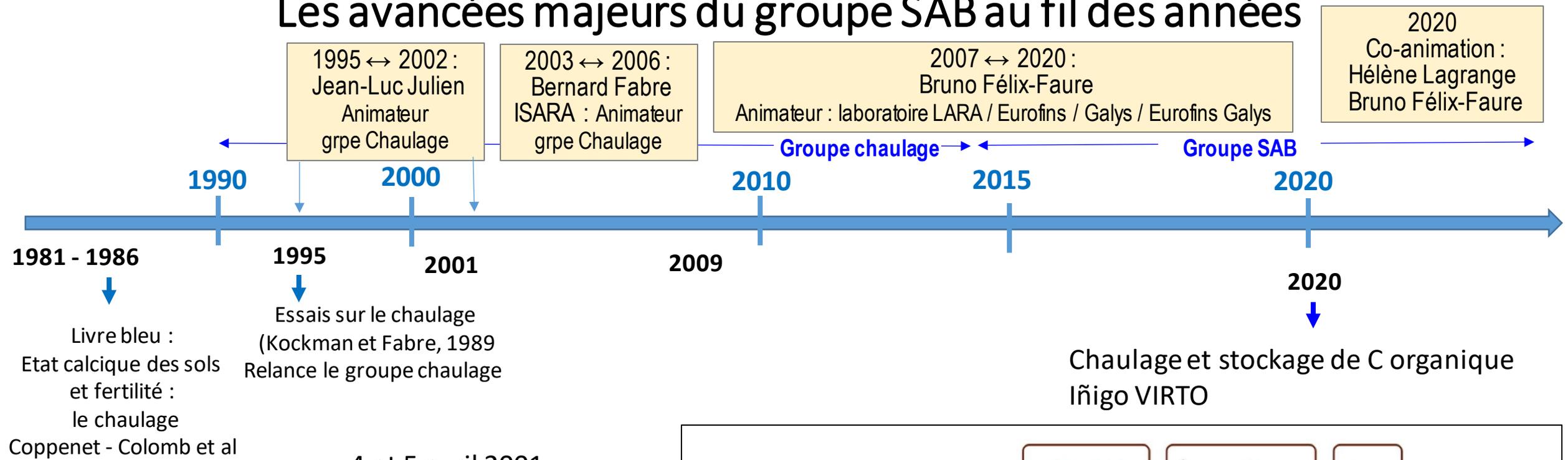
comifer

09h30 - 09h40

Bruno Félix-Faure  
 eurofins Galys

Animateur du groupe  
 Statut Acido-Basique  
 du Comifer

# Les avancées majeurs du groupe SAB au fil des années



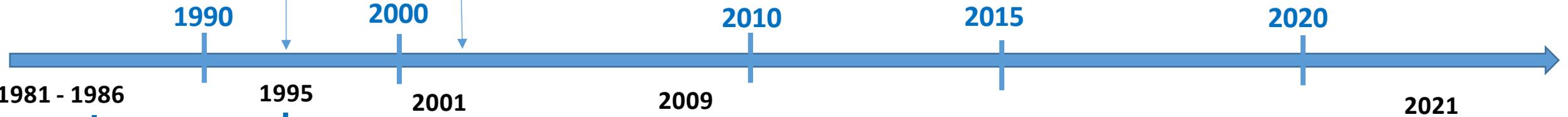
# Les avancées majeurs du groupe SAB au fil des années

2020  
Co-animation :  
Hélène Lagrange  
Bruno Félix-Faure

1995 ↔ 2002 :  
Jean-Luc Julien  
Animateur  
grpe Chaulage

2003 ↔ 2006 :  
Bernard Fabre  
ISARA : Animateur  
grpe Chaulage

2007 ↔ 2020 :  
Bruno Félix-Faure  
Animateur : laboratoire LARA / Eurofins / Galys / Eurofins Galys



1981 - 1986  
↓  
Livre bleu :  
Etat calcique des sols  
et fertilité :  
le chaulage  
Coppenet - Colomb et al

1995  
↓  
Essais sur le chaulage  
(Kockman et Fabre, 1989)  
Relance le groupe chaulage

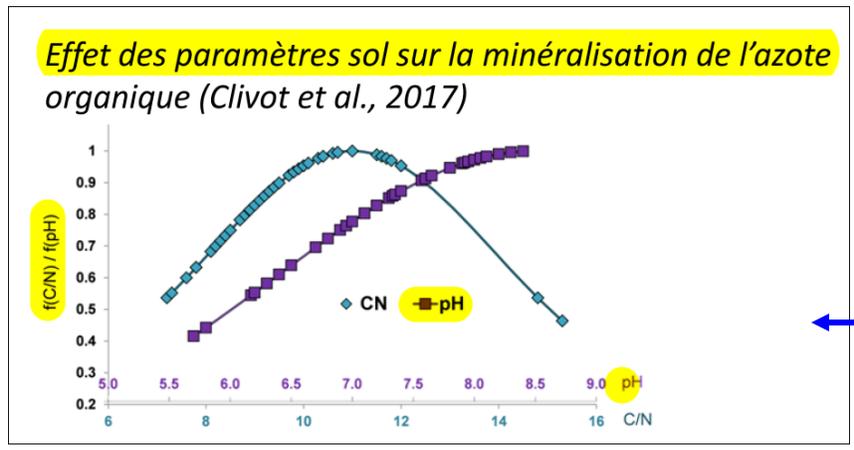
2001  
4 et 5 avril 2001 :  
Daniel Tessier organise un colloque  
sur l'acidification des sols

2009

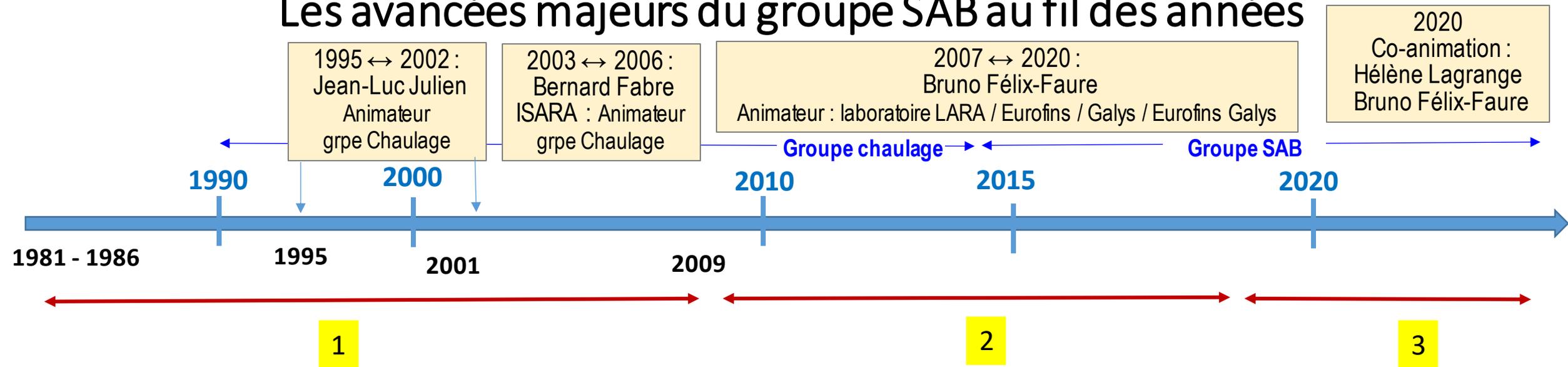
● **Les amendements silicatés** (roches basaltiques broyées) :  
chaulage et séquestration du CO<sub>2</sub> (*Lionel JM*).  
→ Encore beaucoup de questions

- **Bilan Gaz à Effet de Serre (GES) des Amendements Minéraux Basiques (AMB) :**  
*Olivier Peltier (LHOIST) - Guillaume Tuffière (MEAC)*  
poster 15<sup>èmes</sup> Rencontres

- **La fonction pH dans le modèle de minéralisation de la matière organique du sol,**  
notamment en sols acides (*Hugues Clivot INRAE*)



# Les avancées majeurs du groupe SAB au fil des années



## Conclusions :

On peut distinguer :

- 1 - Une période de compréhension des processus physico-chimiques de l'acidification et du mode d'action des AMB
- 2 - Une période plus accès sur le choix des produits et les calculs de dose d'unités VN
- 3 - Une période plus agro-environnementale où l'on se penche sur les liens pH – azote et sur les bilans carbone des AMB

# *Tour de table sur les attentes des membres du groupe SAB (réunion précédente)*

- Groupe « arbres de décisions pH objectifs » -> groupe de travail à monter au sein du groupe, animation groupe SAB. **A faire!**
- Prochains sujets ?
  - besoin d'approfondir émissions GES – ACV? Cf discussions émissions CO<sub>2</sub>; idée projet casdar?
  - effet des digestats sur le pH des sols?
  - effet des couverts d'interculture sur pH des sols?
  - Protocoles d'expérimentation en commun ?
  - Gestion du pH en ACS?