



# Optimiser les apports d'engrais pour une agriculture durable



**Bruno Lanson**



Institut des Sciences de la Terre



**[Bruno.Lanson@ujf-grenoble.fr](mailto:Bruno.Lanson@ujf-grenoble.fr)**



# Argiles, sols et potassium : Les “clays” d’une agriculture durable



**Bruno Lanson**



Institut des Sciences de la Terre

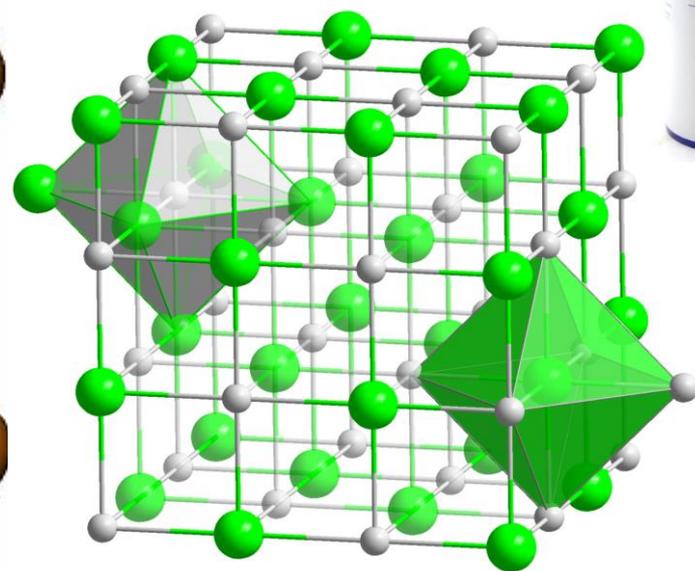
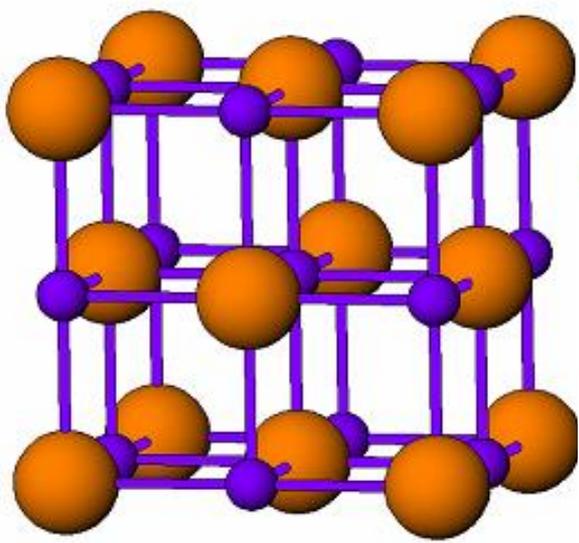


**[Bruno.Lanson@ujf-grenoble.fr](mailto:Bruno.Lanson@ujf-grenoble.fr)**

**Comment la minéralogie et la cristallographie  
peuvent nous aider à développer une agriculture  
durable ?**

# La cristallographie c'est quoi ?

- La cristallographie est une science en grande partie expérimentale [... qui] étudie l'organisation des atomes dans la matière pour en comprendre et en utiliser les propriétés

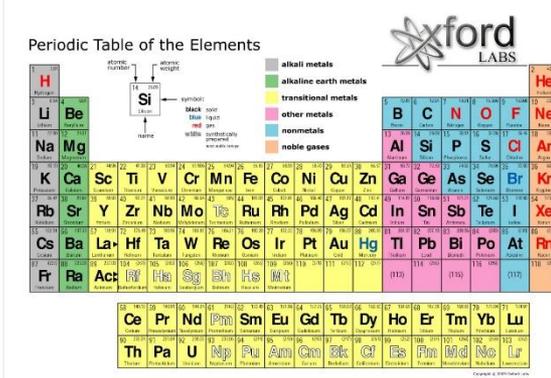


$Fm\bar{3}m$

[www.realmagick.com/sodium-chloride-crystal-structure/](http://www.realmagick.com/sodium-chloride-crystal-structure/)



Periodic Table of the Elements



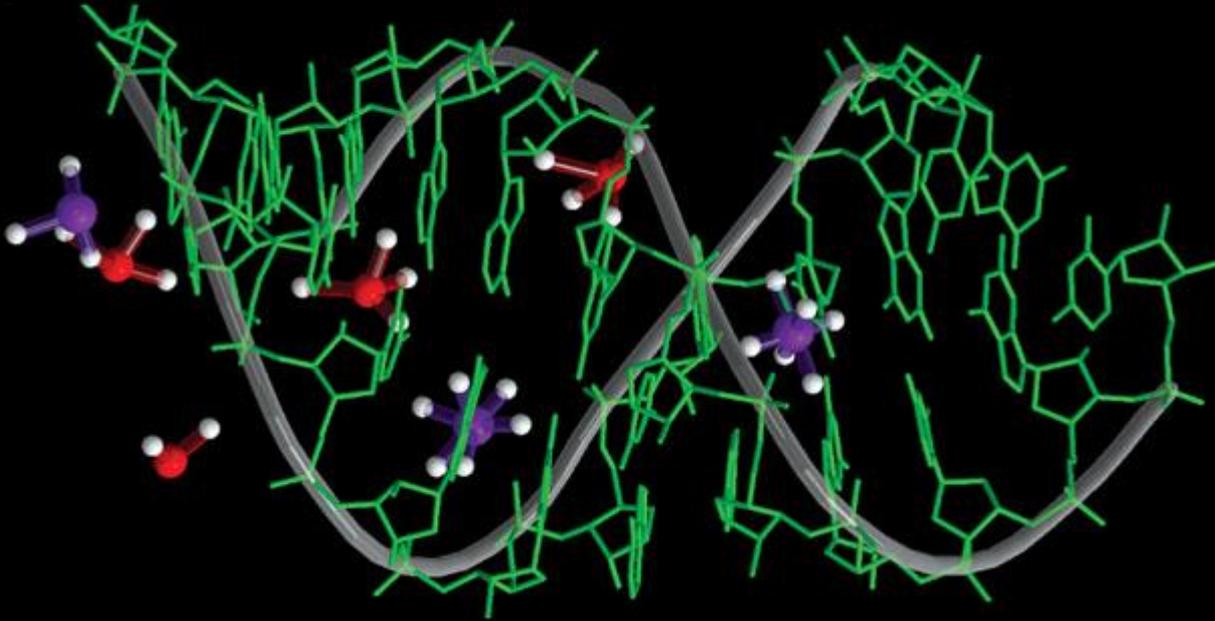
oxford LABS

[www.aicr2014.fr](http://www.aicr2014.fr)

[www.cnr.fr/cristallo/](http://www.cnr.fr/cristallo/)

# La cristallographie ça sert à quoi ?

## Comprendre



Interactions de l'ARN avec Mg<sup>2+</sup> (rouge) et Ca<sup>2+</sup> (violet)

# La cristallographie ça sert à quoi ?

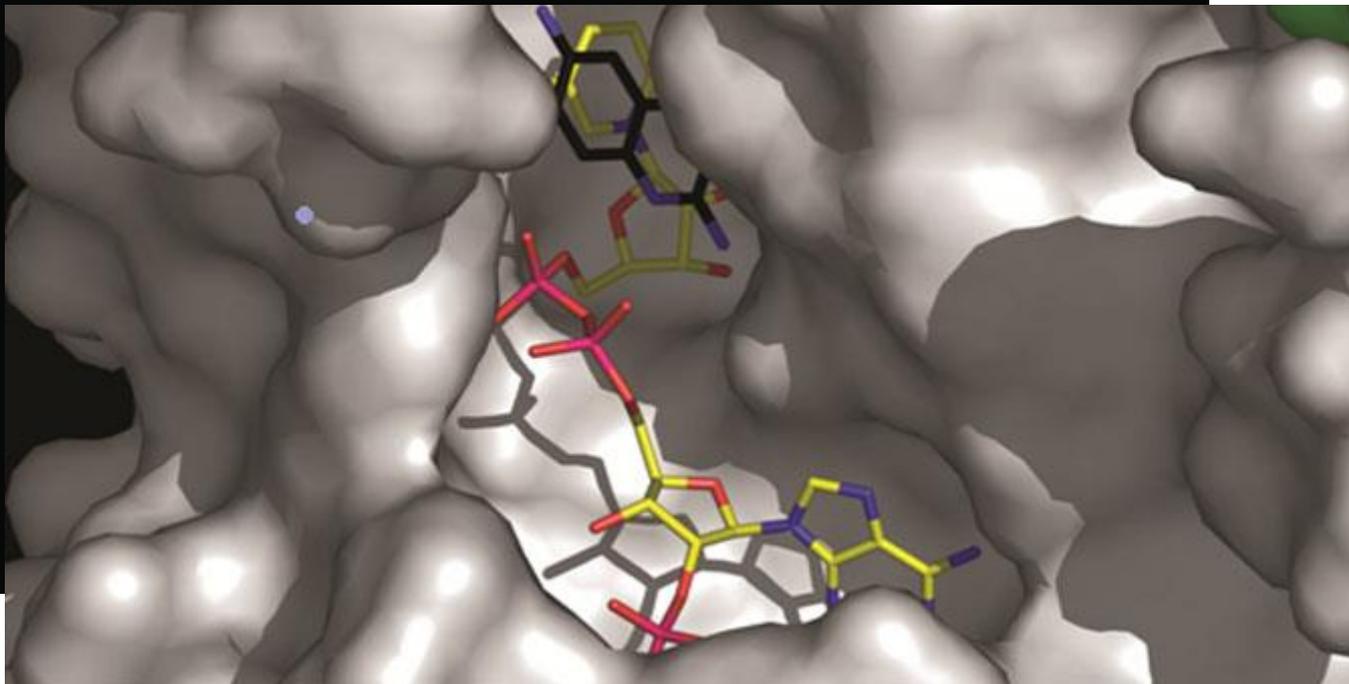
Comprendre, soigner



Protéine bloquant la transcription de la toxine de la diphtérie

# La cristallographie ça sert à quoi ?

Comprendre, soigner



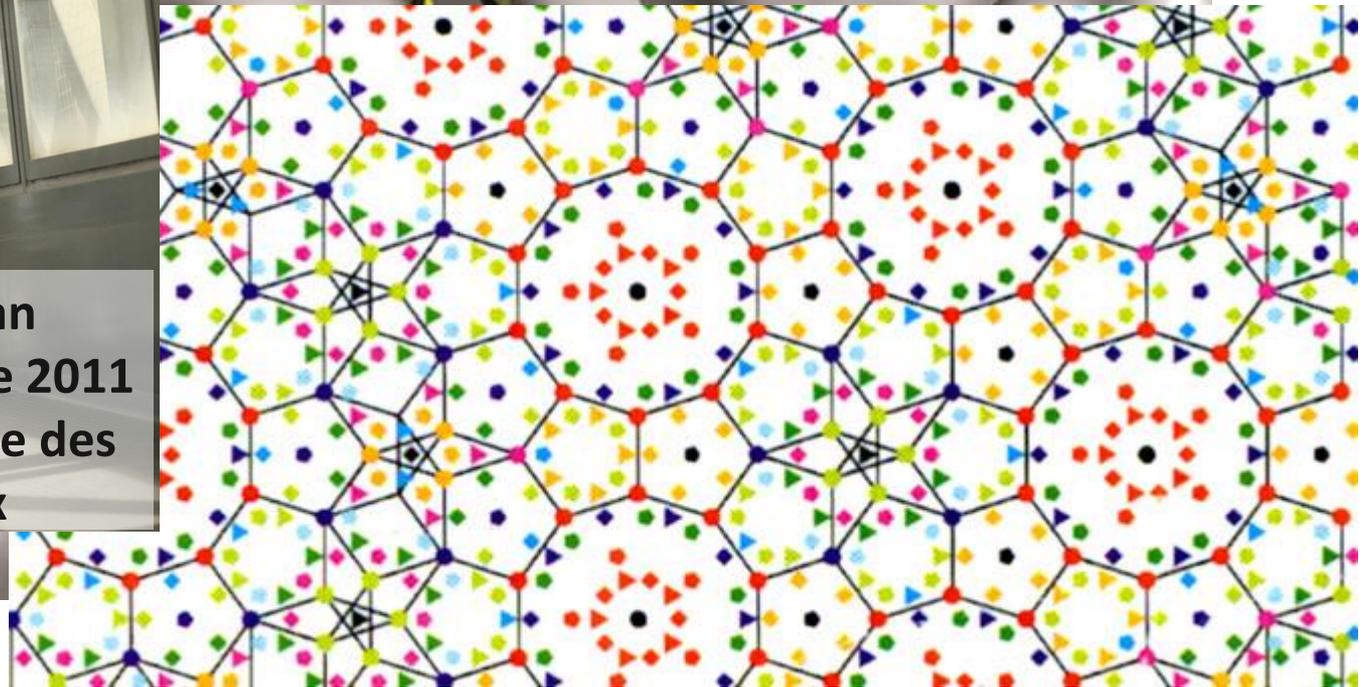
Site de blocage d'un médicament

# La cristallographie ça sert à quoi ?

Comprendre, soigner, concevoir de nouveaux matériaux



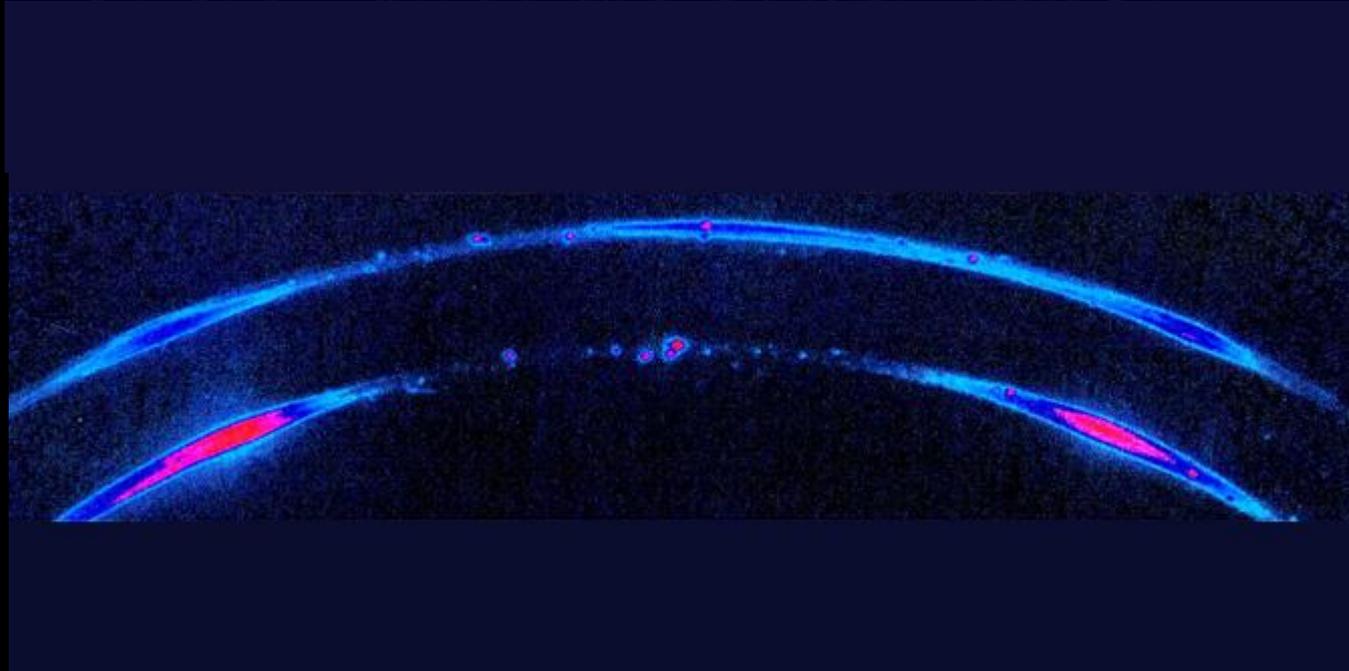
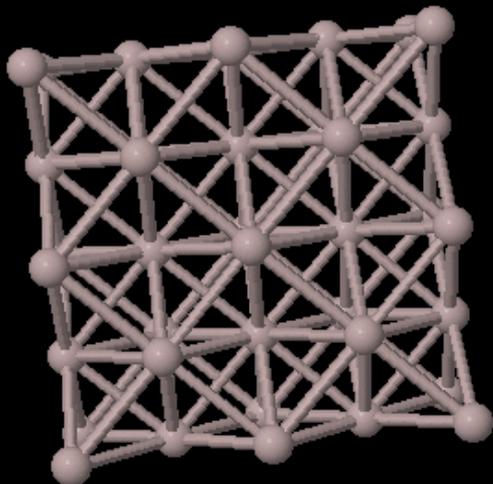
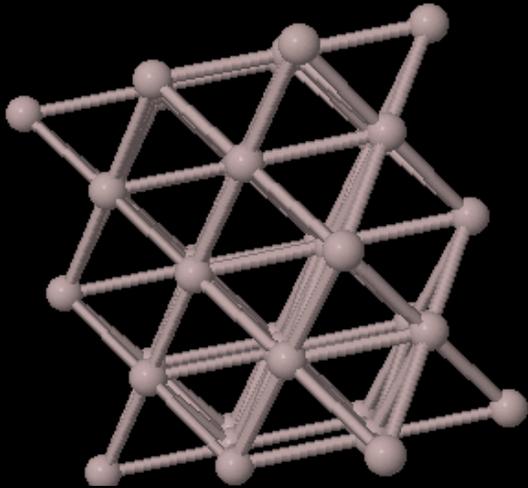
**Dan Shechtman  
Prix Nobel - Chimie 2011  
pour la découverte des  
quasicristaux**



Modèle structural d'un quasi cristal

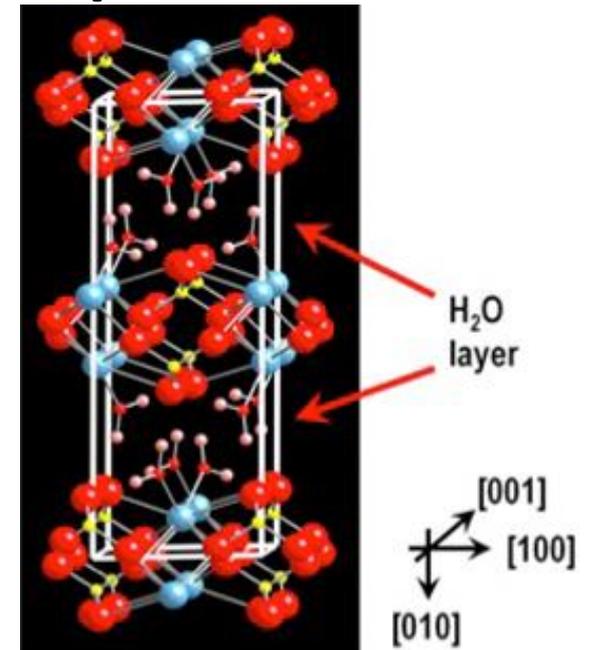
# La cristallographie ça sert à quoi ?

Comprendre, soigner, concevoir de nouveaux matériaux,  
fabriquer des canettes de soda,...



# La minéralogie c'est quoi ?

- La minéralogie est une science qui étudie les minéraux qui sont des substances formées naturellement, généralement inorganiques [...]. Un minéral est caractérisé par une formule chimique et une structure cristalline, c'est-à-dire par la nature des atomes qui le composent et leur agencement dans l'espace.



[www2.warwick.ac.uk](http://www2.warwick.ac.uk)

[fr.wikipedia.org/wiki/Minéralogie](http://fr.wikipedia.org/wiki/Minéralogie)

**Comment la minéralogie et la cristallographie  
peuvent nous aider à développer une agriculture  
durable ?**

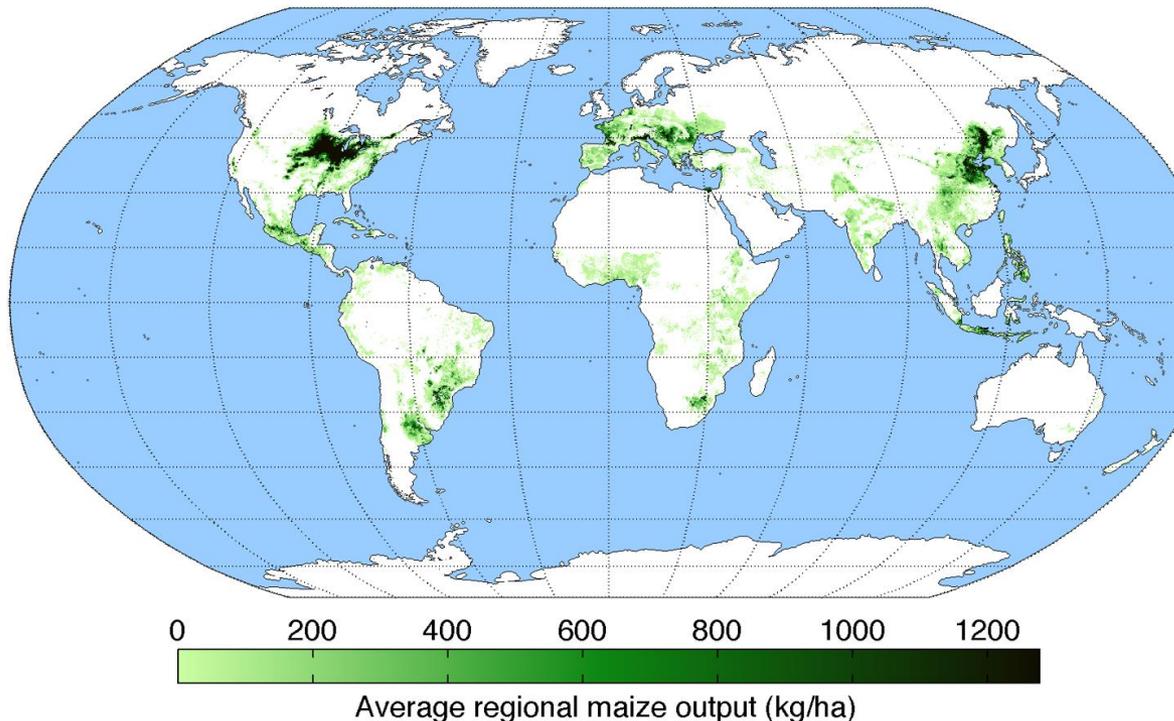
# Une agriculture durable c'est quoi ?

# Une agriculture durable c'est quoi ?

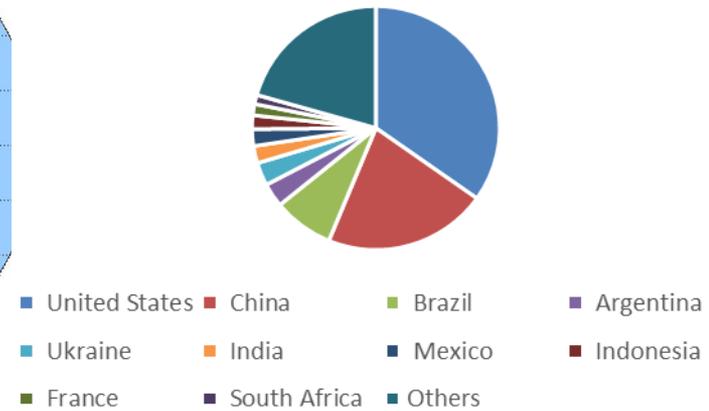
- **Une agriculture qui permet de répondre aux besoins des générations actuelles sans compromettre le développement des générations futures, en leur garantissant les mêmes chances de progrès**

# Une agriculture durable c'est quoi ?

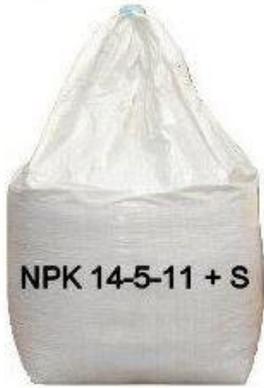
- Utilisation minimale de désherbants et de pesticides (phytosanitaires)
- **Utilisation minimale d'engrais, pas d'engrais chimiques**
- Réchauffement climatique : Capacité à utiliser des sols "pauvres" pour la production vivrière



Répartition géographique de la production mondiale de maïs (2013)



# Les engrais c'est quoi ?



Big bag 600 Kg

COMPOSITION :

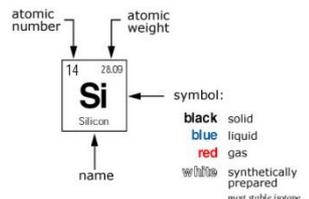
- 14% N total (dont 14% N ammoniacal)
- 5% P2O5 soluble dans le citrate d'ammonium neutre et eau
- 11% K2O soluble dans l'eau
- 34% SO3



## Periodic Table of the Elements



1 1.01 <b>H</b> Hydrogen																	2 4.003 <b>He</b> Helium	
3 6.94 <b>Li</b> Lithium	4 9.01 <b>Be</b> Beryllium																	10 20.18 <b>Ne</b> Neon
11 22.99 <b>Na</b> Sodium	12 24.31 <b>Mg</b> Magnesium																	18 39.95 <b>Ar</b> Argon
19 39.10 <b>K</b> Potassium	20 40.08 <b>Ca</b> Calcium	21 44.96 <b>Sc</b> Scandium	22 47.88 <b>Ti</b> Titanium	23 50.94 <b>V</b> Vanadium	24 51.996 <b>Cr</b> Chromium	25 54.94 <b>Mn</b> Manganese	26 55.85 <b>Fe</b> Iron	27 58.93 <b>Co</b> Cobalt	28 58.70 <b>Ni</b> Nickel	29 63.55 <b>Cu</b> Copper	30 65.37 <b>Zn</b> Zinc	31 69.72 <b>Ga</b> Gallium	32 72.59 <b>Ge</b> Germanium	33 74.92 <b>As</b> Arsenic	34 78.96 <b>Se</b> Selenium	35 79.90 <b>Br</b> Bromine	36 83.80 <b>Kr</b> Krypton	
37 85.47 <b>Rb</b> Rubidium	38 87.62 <b>Sr</b> Strontium	39 88.91 <b>Y</b> Yttrium	40 91.22 <b>Zr</b> Zirconium	41 92.91 <b>Nb</b> Niobium	42 95.94 <b>Mo</b> Molybdenum	43 98 <b>Tc</b> Technetium	44 101.07 <b>Ru</b> Ruthenium	45 102.91 <b>Rh</b> Rhodium	46 106.40 <b>Pd</b> Palladium	47 107.87 <b>Ag</b> Silver	48 112.41 <b>Cd</b> Cadmium	49 114.82 <b>In</b> Indium	50 118.69 <b>Sn</b> Tin	51 121.75 <b>Sb</b> Antimony	52 127.60 <b>Te</b> Tellurium	53 126.90 <b>I</b> Iodine	54 131.30 <b>Xe</b> Xenon	
55 132.91 <b>Cs</b> Cesium	56 137.33 <b>Ba</b> Barium	57 138.91 <b>La</b> Lanthanum	72 178.49 <b>Hf</b> Hafnium	73 180.95 <b>Ta</b> Tantalum	74 183.85 <b>W</b> Tungsten	75 186.21 <b>Re</b> Rhenium	76 190.20 <b>Os</b> Osmium	77 192.22 <b>Ir</b> Iridium	78 195.09 <b>Pt</b> Platinum	79 196.97 <b>Au</b> Gold	80 200.59 <b>Hg</b> Mercury	81 204.37 <b>Tl</b> Thallium	82 207.19 <b>Pb</b> Lead	83 208.98 <b>Bi</b> Bismuth	84 209 <b>Po</b> Polonium	85 210 <b>At</b> Astatine	86 222 <b>Rn</b> Radon	
87 (223) <b>Fr</b> Francium	88 226.03 <b>Ra</b> Radium	89 227.03 <b>Ac</b> Actinium	104 (261) <b>Rf</b> Rutherfordium	105 (262) <b>Ha</b> Hassium	106 (266) <b>Sg</b> Seaborgium	107 (262) <b>Bh</b> Bohrium	108 (265) <b>Hs</b> Hassium	109 (266) <b>Mt</b> Meitnerium	110 (271) <b>Ds</b> Darmstadtium	111 (272) <b>Rg</b> Roentgenium	112 (277) <b>Cn</b> Copernicium	(113)	114 (285) <b>Fl</b> Flerovium	(115)	116 (289) <b>Lv</b> Livermorium	(117)	118 (293) <b>Og</b> Oganesson	
58 140.12 <b>Ce</b> Cerium	59 140.91 <b>Pr</b> Praseodymium	60 144.24 <b>Nd</b> Neodymium	61 (145) <b>Pm</b> Promethium	62 150.40 <b>Sm</b> Samarium	63 151.96 <b>Eu</b> Europium	64 157.25 <b>Gd</b> Gadolinium	65 158.93 <b>Tb</b> Terbium	66 162.50 <b>Dy</b> Dysprosium	67 164.93 <b>Ho</b> Holmium	68 167.26 <b>Er</b> Erbium	69 168.93 <b>Tm</b> Thulium	70 173.04 <b>Yb</b> Ytterbium	71 174.97 <b>Lu</b> Lutetium					
90 232.04 <b>Th</b> Thorium	91 231.04 <b>Pa</b> Protactinium	92 238.03 <b>U</b> Uranium	93 237.05 <b>Np</b> Neptunium	94 (244) <b>Pu</b> Plutonium	95 (243) <b>Am</b> Americium	96 (247) <b>Cm</b> Curium	97 (247) <b>Bk</b> Berkelium	98 (251) <b>Cf</b> Californium	99 (252) <b>Es</b> Einsteinium	100 (257) <b>Fm</b> Fermium	101 (260) <b>Md</b> Mendelevium	102 (269) <b>No</b> Nobelium	103 (262) <b>Lr</b> Lawrencium					



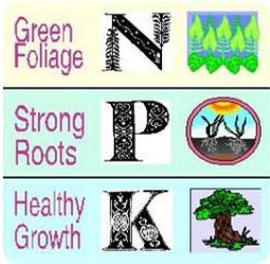
- alkali metals
- alkaline earth metals
- transitional metals
- other metals
- nonmetals
- noble gases

Green Foliage **N**

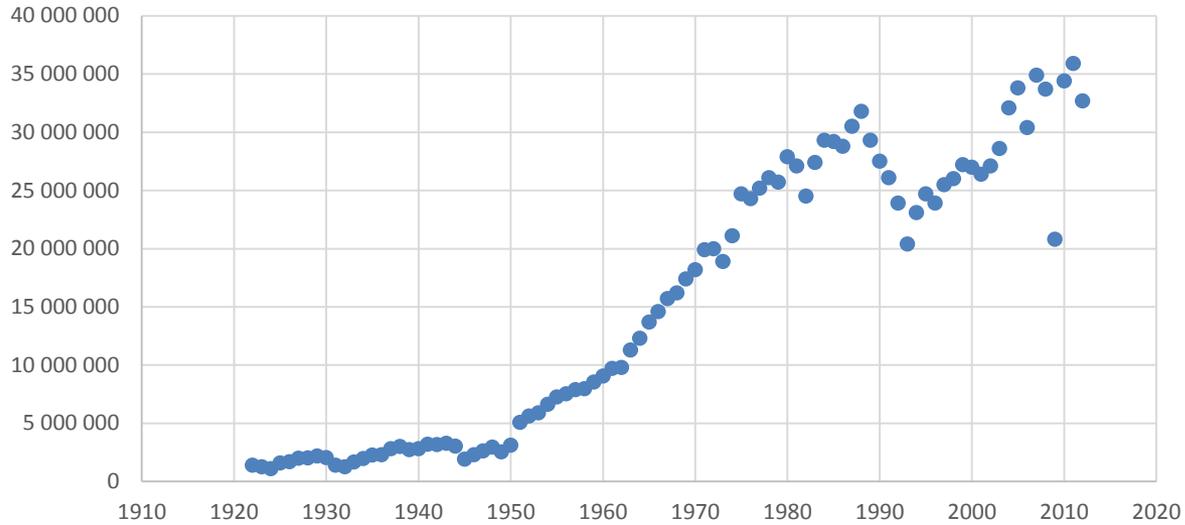
Strong Roots **P**

Healthy Growth **K**

# Les engrais ça sert à quoi ?



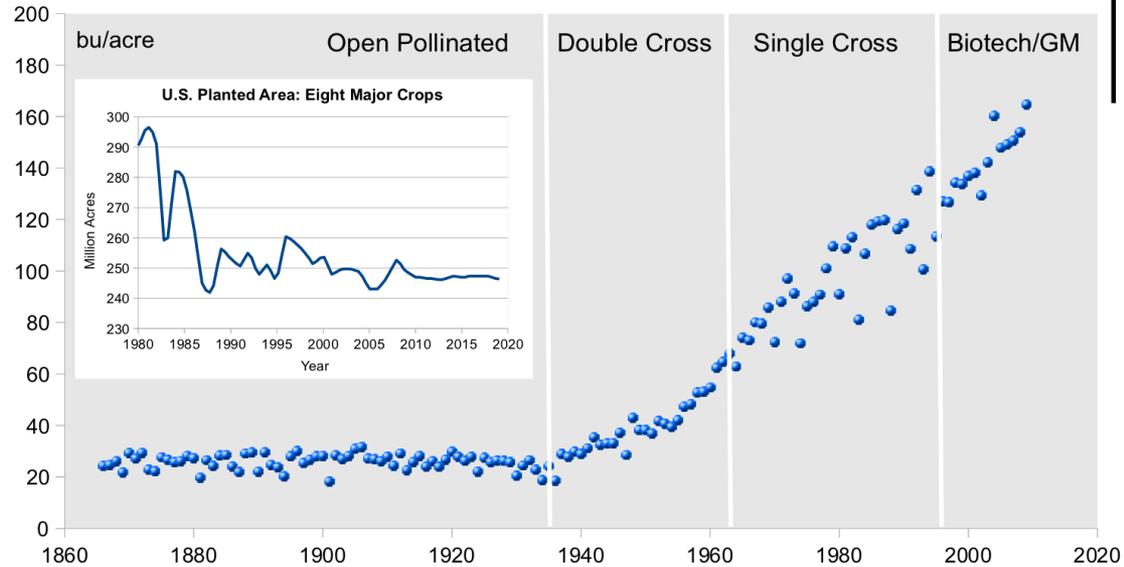
Production mondiale (K<sub>2</sub>O en tonnes)



Source :  
U.S. Geol. Survey

Average US Corn Yield, 1866-2009

**Current Test Yield:**  
**~300 bu/acre**



Sources: USDA-NASS; Troyer, *Crop Science* 46.2 (2006): 528; Pioneer (Rupert and Butzen, *Crop Sci*, 19(2))

# Pourquoi essayer d'en minimiser l'usage ?

Blooms algaux



Algues vertes



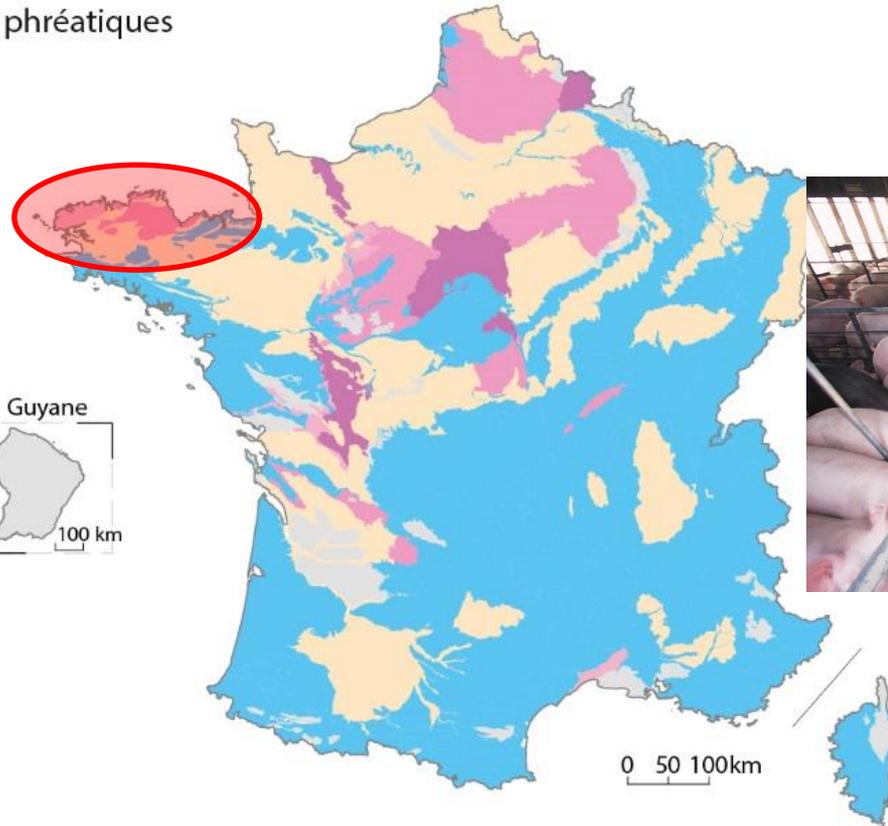
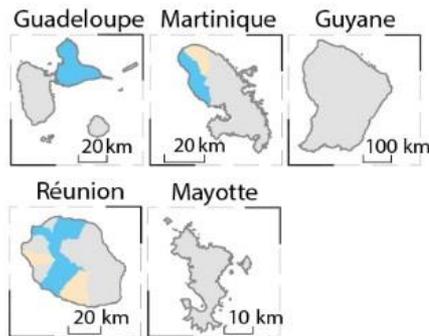
- Une agriculture ... sans compromettre le développement des générations futures, en leur garantissant les mêmes chances de progrès

# Pourquoi essayer d'en minimiser l'usage ?

## Qualité de l'eau

Situation des nappes phréatiques

- Très défavorable
- Préoccupante
- Amélioration insuffisante
- Indécise
- Favorable
- Mesures insuffisantes



Source : agences de l'eau, offices de l'eau, ARS, Collectivités territoriales – BRGM, banque de données ADES, 2012 – SOeS d'après la BDRHFV1 du BRGM – Traitements : SOeS, 2013.

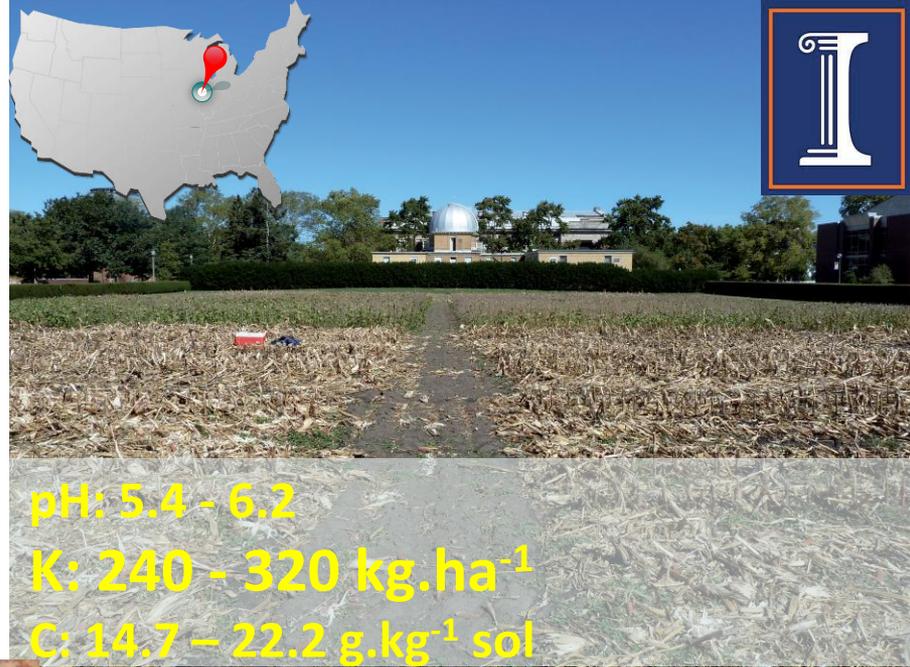
- **Une agriculture ... sans compromettre le développement des générations futures, en leur garantissant les mêmes chances de progrès**

# Pourquoi le potassium ?

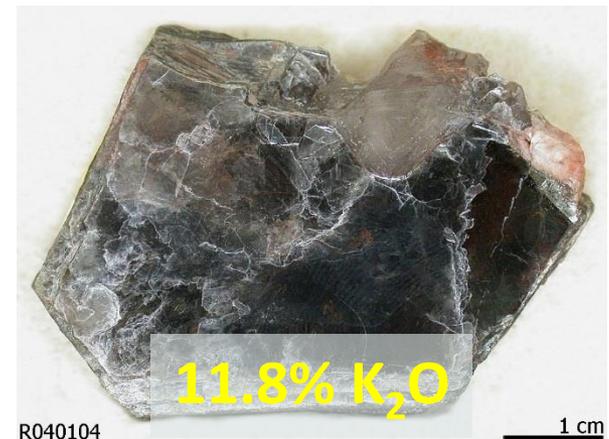
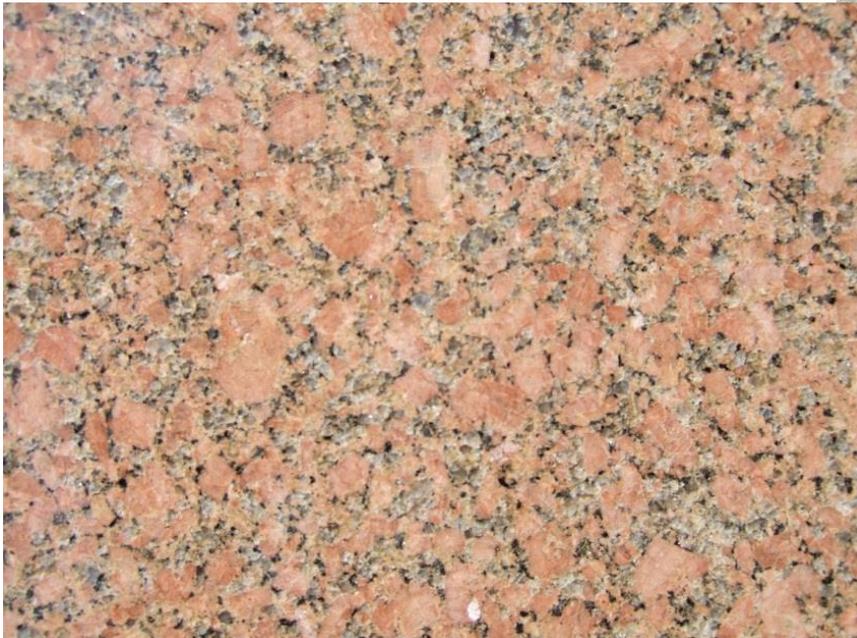


16.9%  $K_2O$

wgnhs.uwex.edu

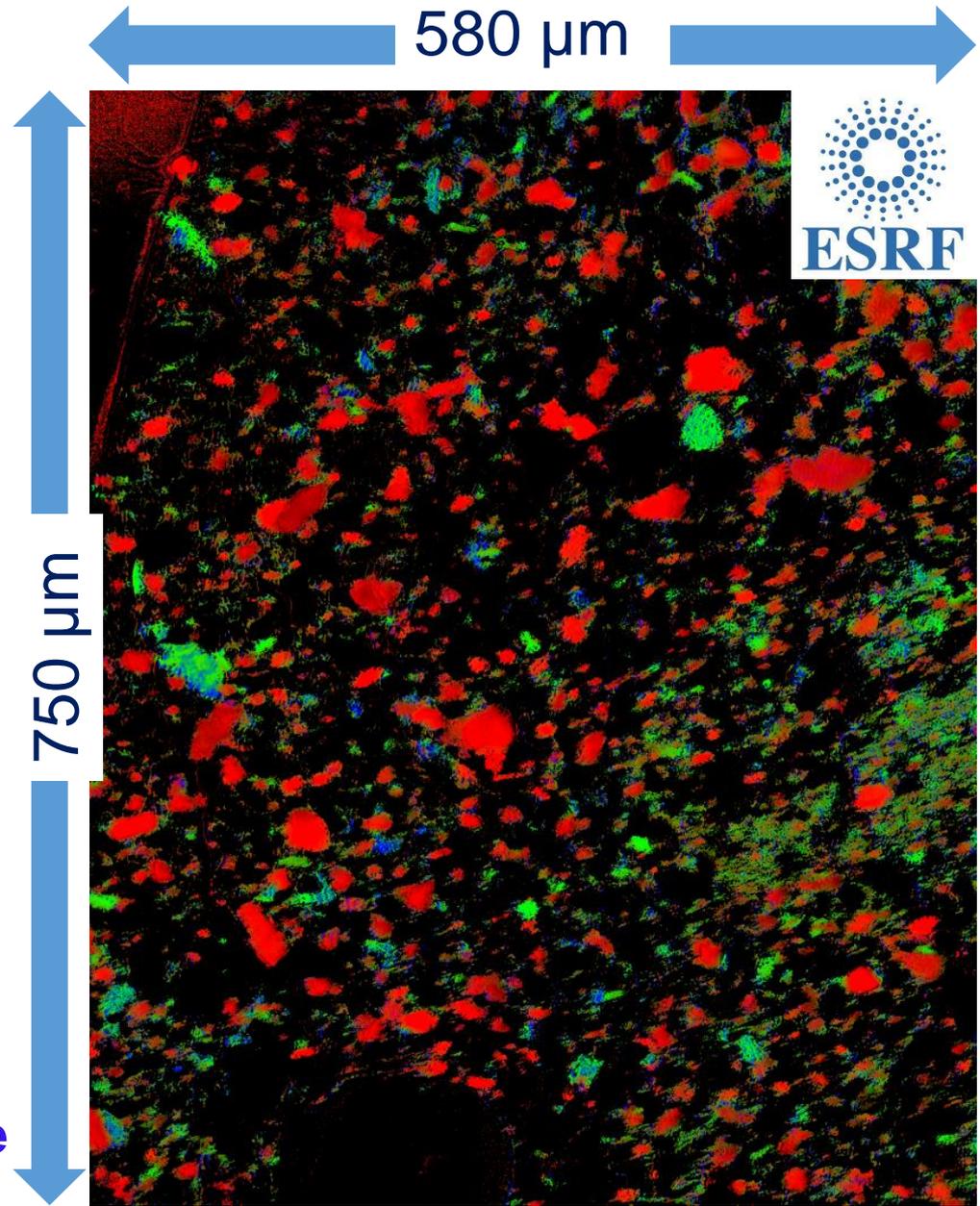
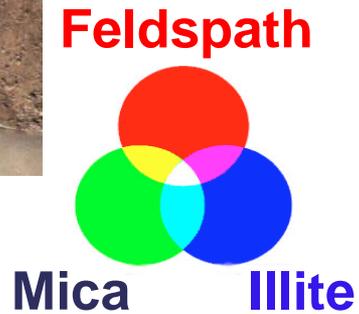


Aref & Wander, 1998, Adv. Agro, 62, 153



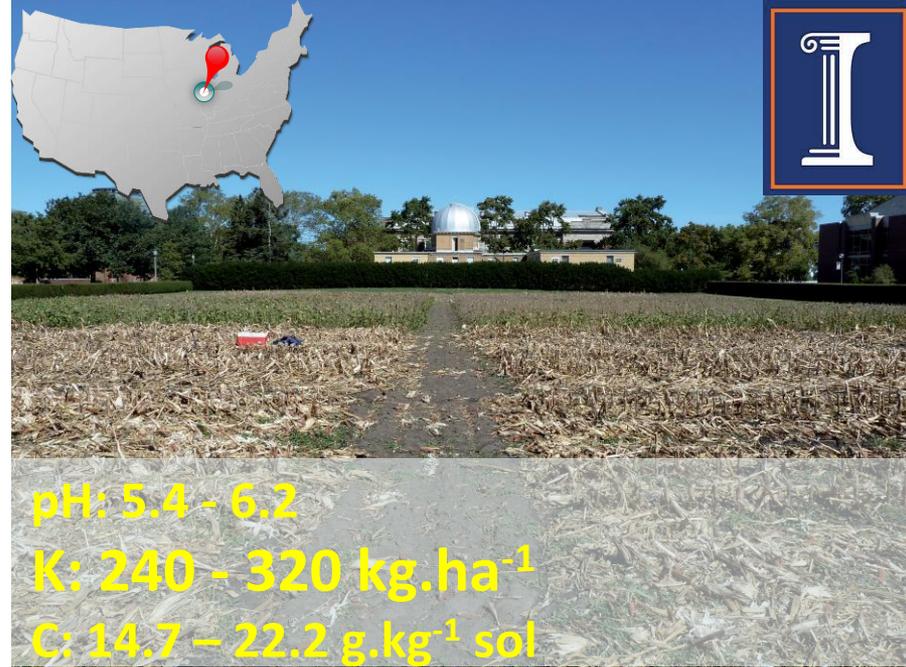
ruff.info

# Pourquoi le potassium ?



# Les échantillons

- Mise en culture : 1876, échantillons de sol (et de maïs) disponibles depuis 1904



Aref & Wander, 1998, Adv. Agro, 62, 153

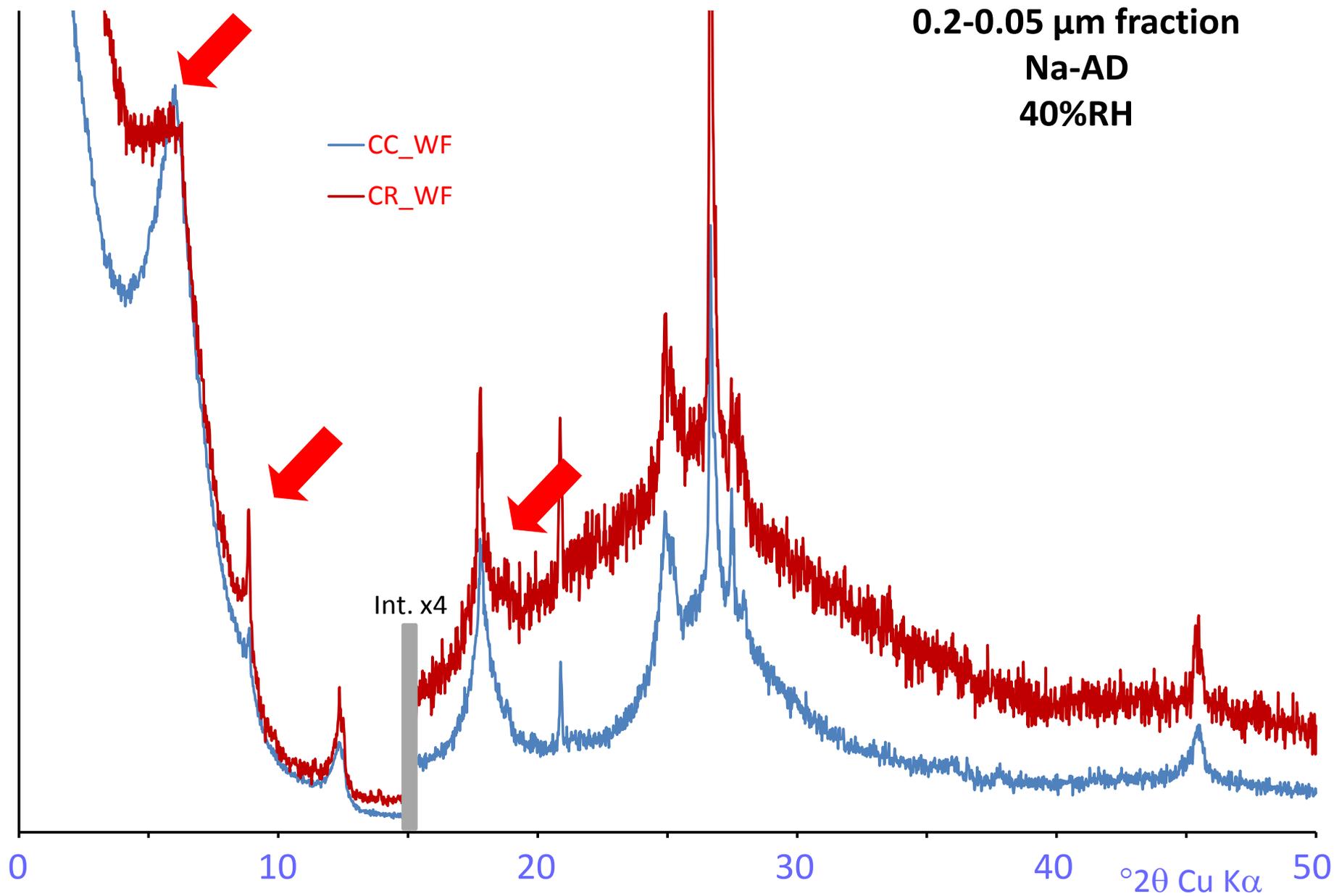


# Les échantillons

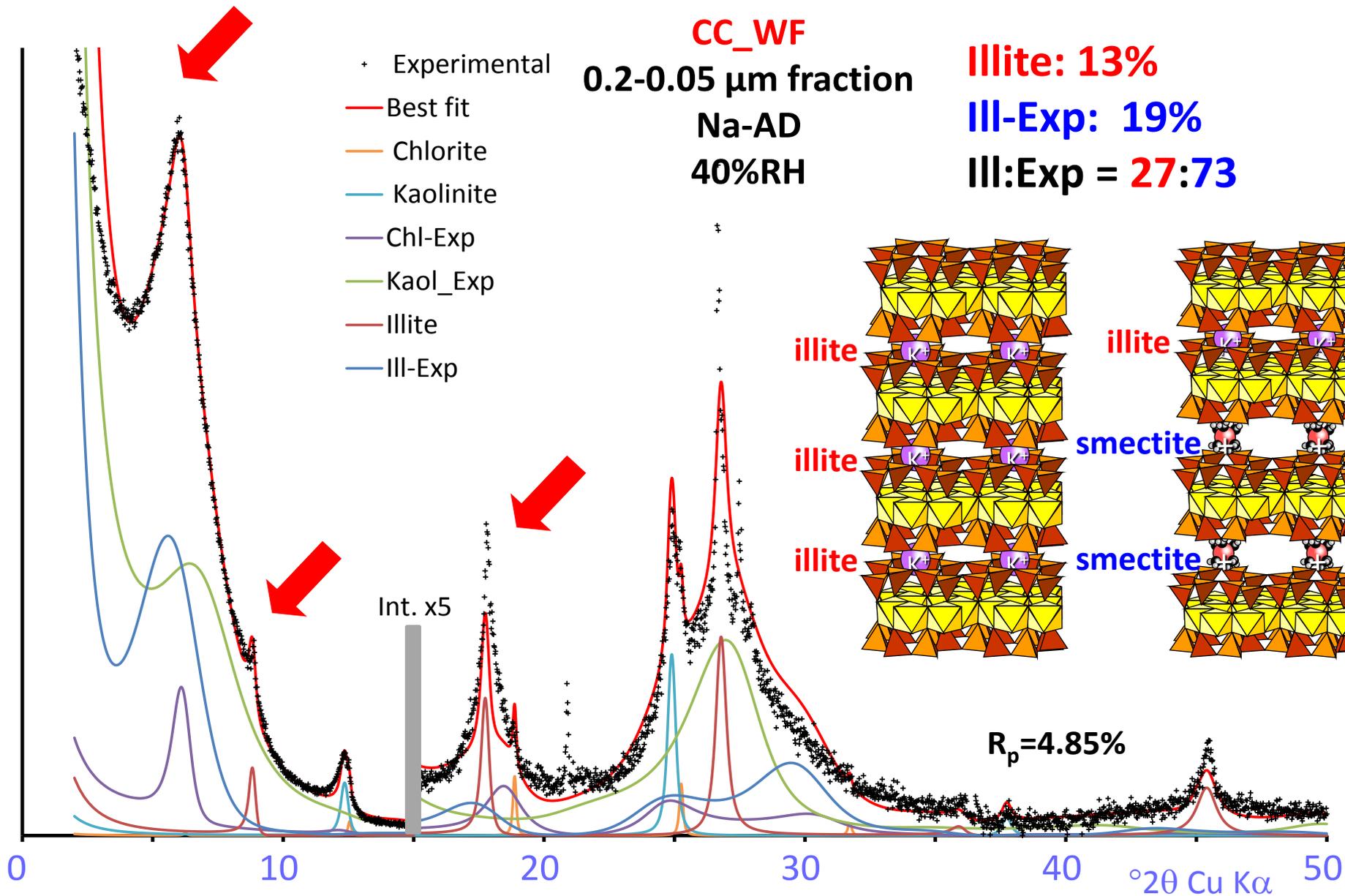
- Mise en culture : 1876
- Plots #3 & 5: Monoculture de maïs (**CC**) ou rotation maïs-avoine-fourrage (**CR**)
- Parcelles avec ou sans engrais (**WF** et **NF**)
- Both plots planted with corn in 2012



# La minéralogie des argiles diffère (un peu) d'une parcelle à l'autre



# La modélisation permet de quantifier ces différences en termes de proportions de différents minéraux



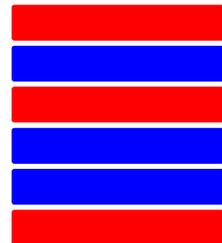
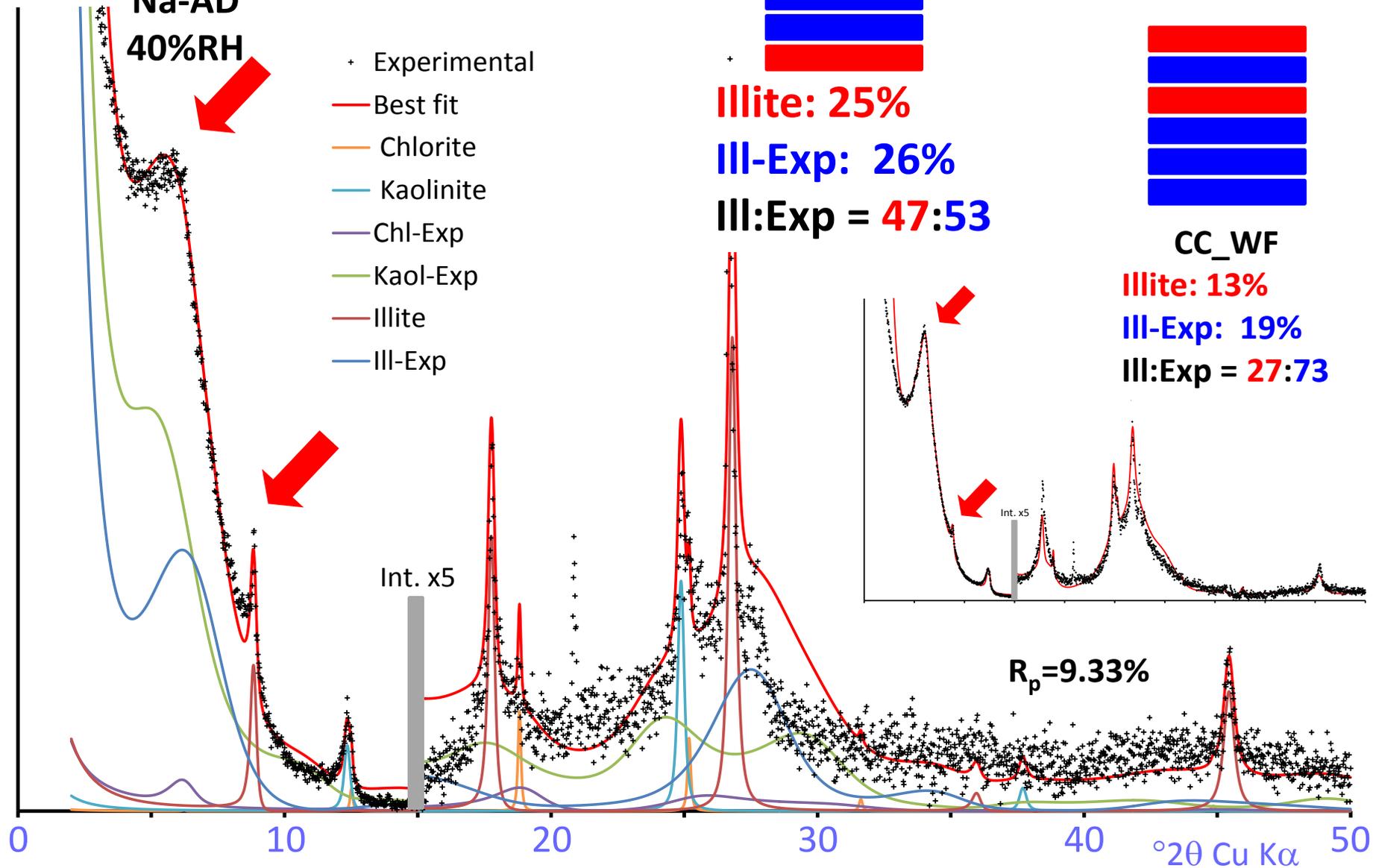
# Quantification des différences

CR\_WF

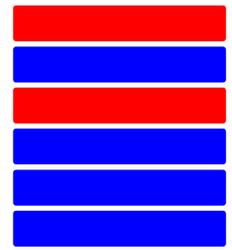
0.2-0.05  $\mu\text{m}$  fraction

Na-AD

40%RH



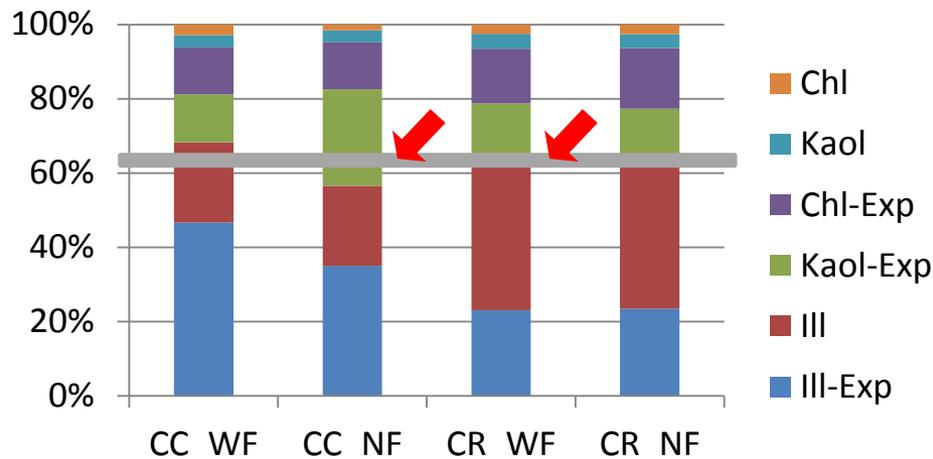
**Illite: 25%**  
**Ill-Exp: 26%**  
**Ill:Exp = 47:53**



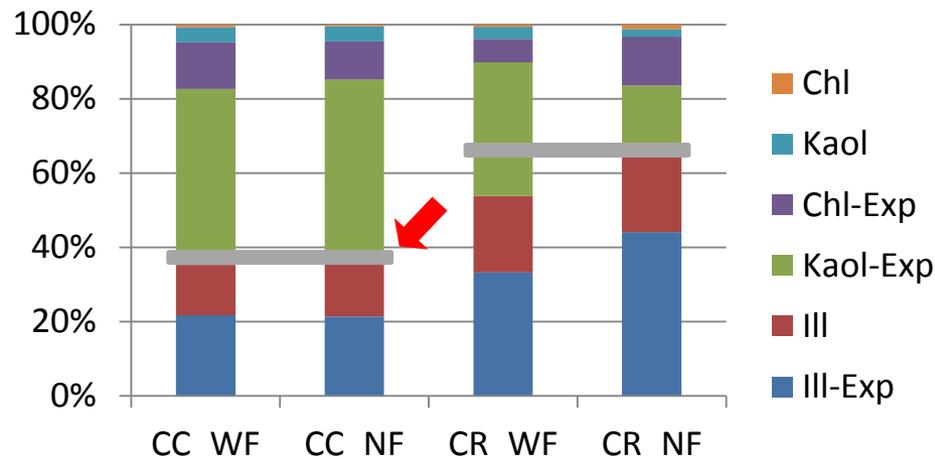
**CC\_WF**  
**Illite: 13%**  
**Ill-Exp: 19%**  
**Ill:Exp = 27:73**

# La modélisation permet de quantifier ces différences en termes de proportions de différents minéraux

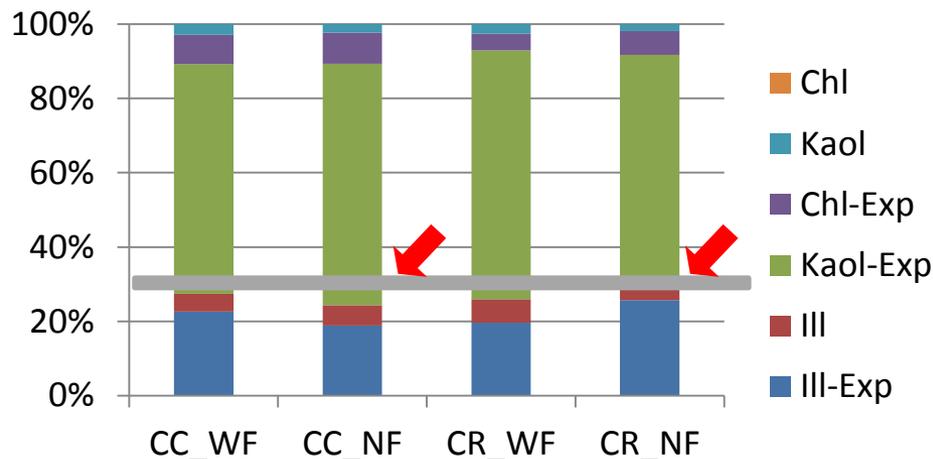
## 2.0 - 0.2 $\mu\text{m}$



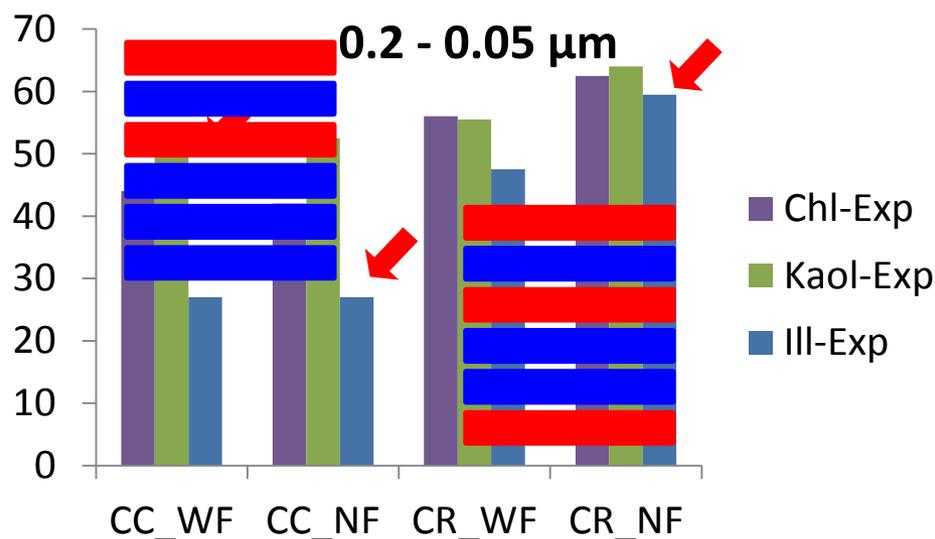
## 0.2 - 0.05 $\mu\text{m}$



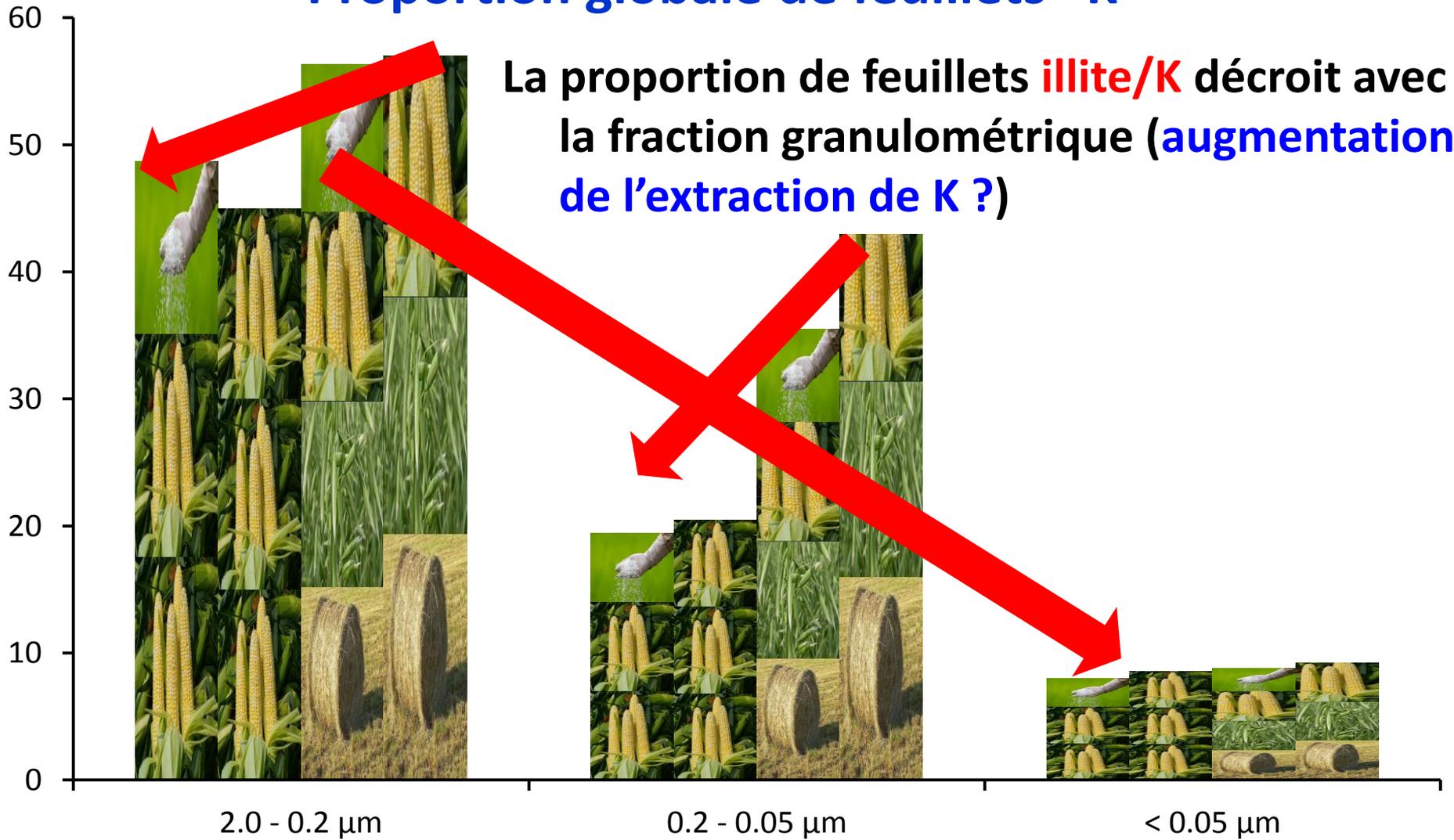
## < 0.05 $\mu\text{m}$



## Composition des interstratifiés



# Proportion globale de feuillets "K"



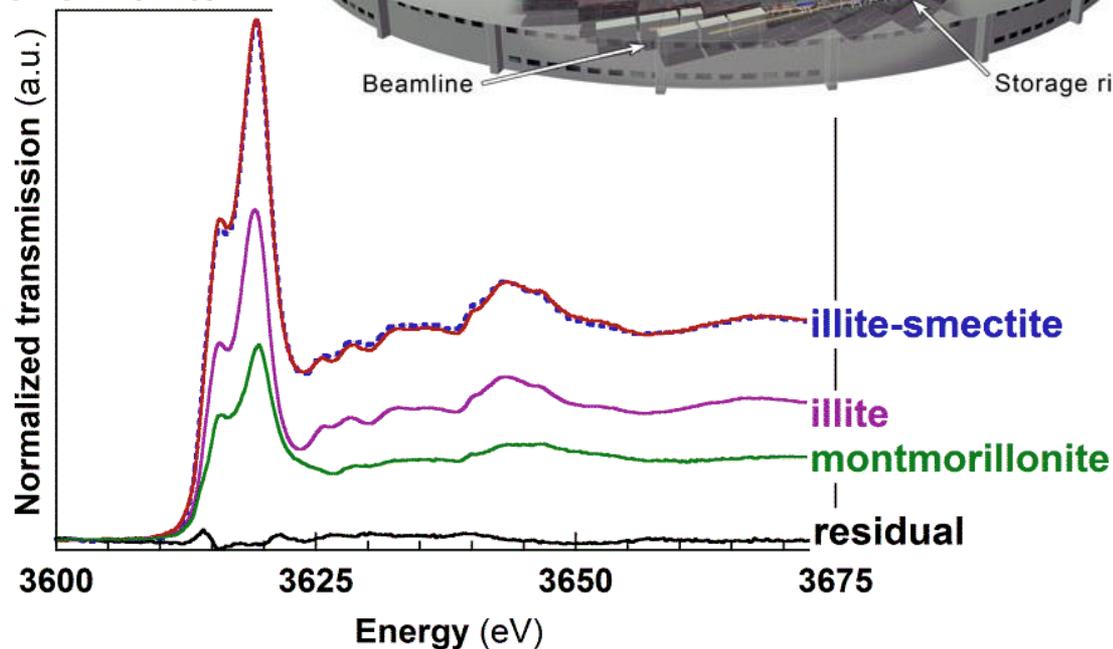
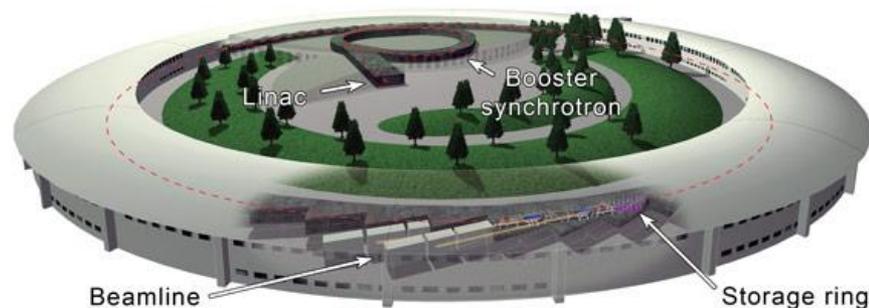
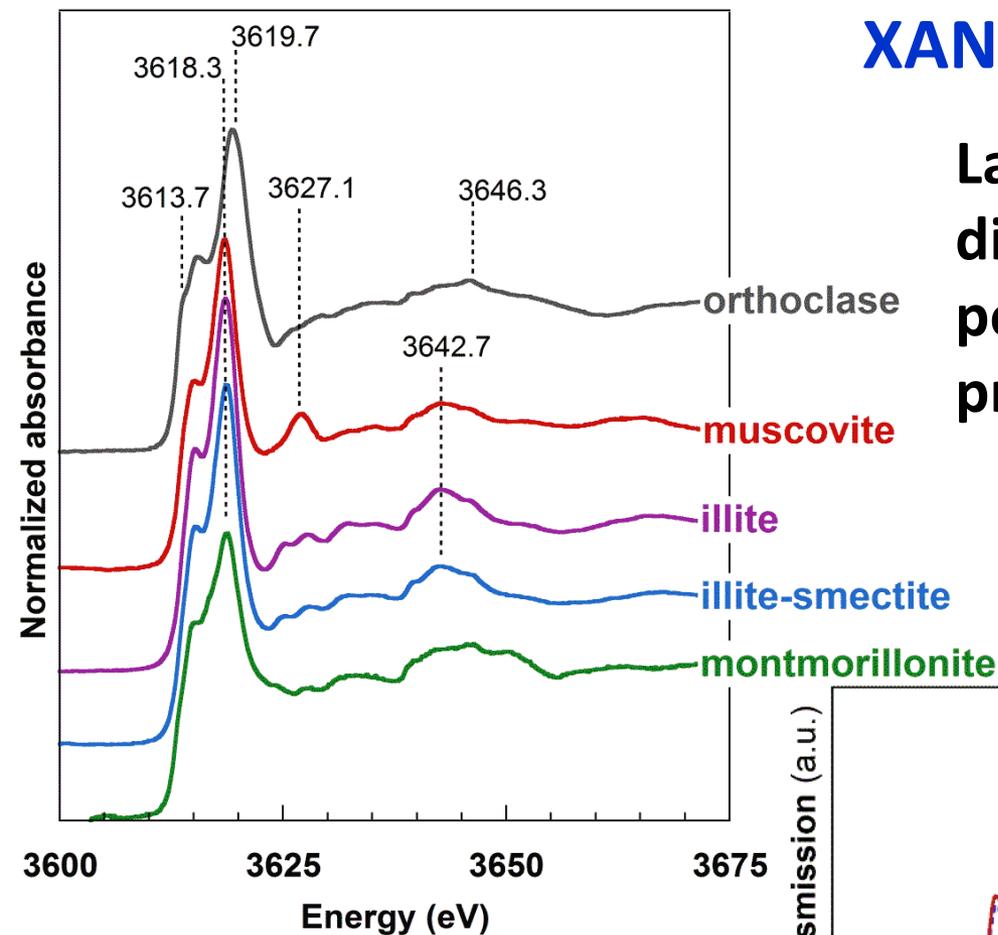
La rotation des cultures préserve les feuillets **illite/K**  
L'apport d'engrais favorise leur altération (**augmentation des rendements ?**)

**Quel impact sur la forme de K  
dans le sol ?**

# Forme de K dans les sols des Morrow Plots : Spectroscopie

## XANES

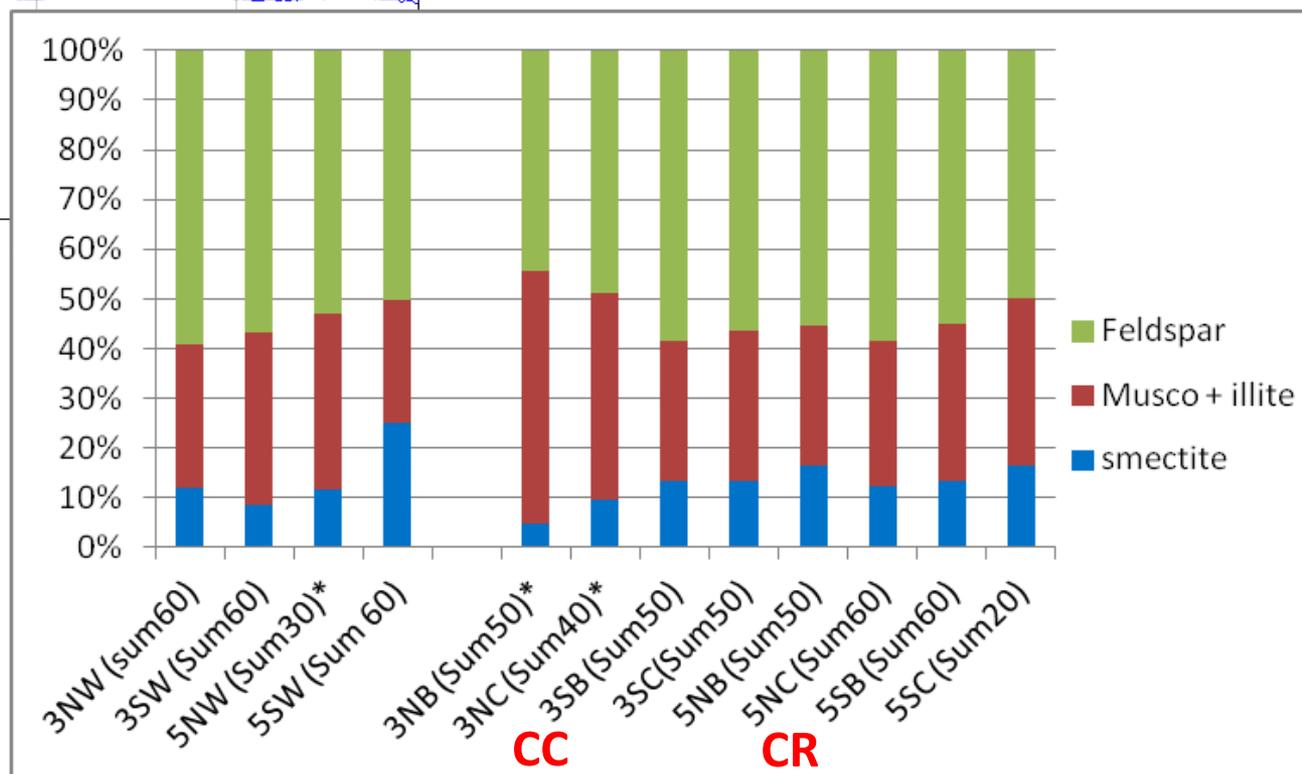
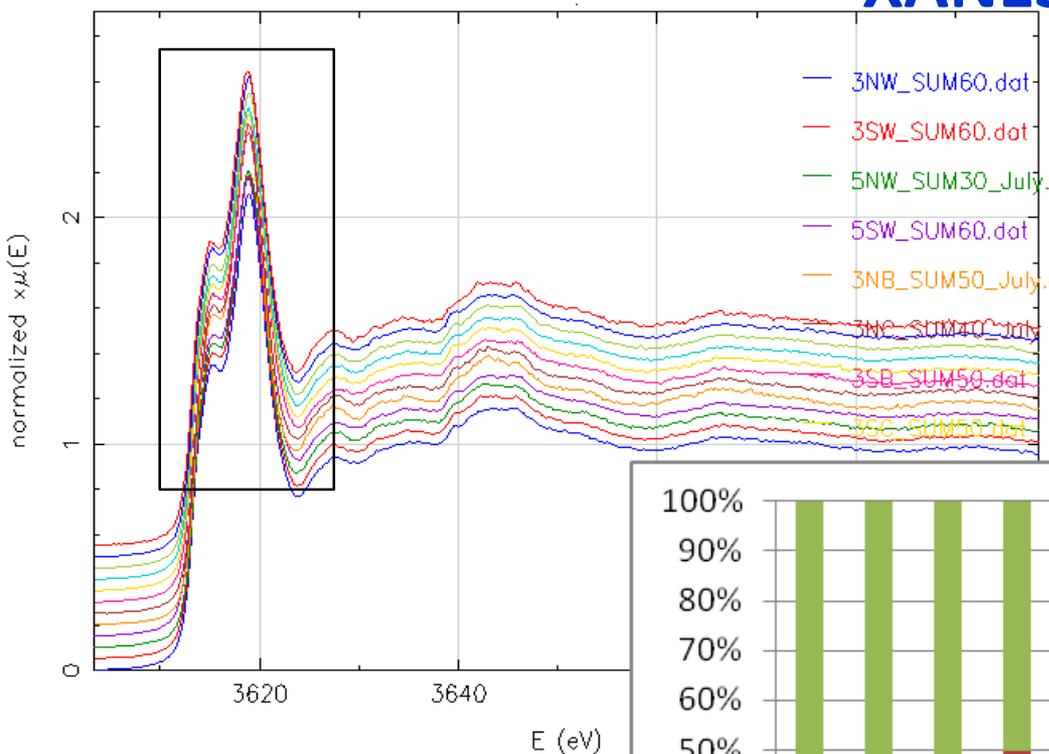
La spectroscopie XANES permet de différencier les différents minéraux porteurs de K et de quantifier leurs proportions relatives



# Forme de K dans les sols des Morrow Plots : Spectroscopie

## XANES

Cette forme semble indépendante des pratiques culturales



# Comment la minéralogie et la cristallographie peuvent nous aider à développer une agriculture durable ?

- **Quantifier des contrastes minéralogiques ténus potentiellement liés au prélèvement du K par les plantes**
- Apparente diminution des feuillettes K induite par la monoculture (maïs) et l'apport d'engrais
- **Comprendre les mécanismes de cette évolution et la quantifier sur le moyen-long terme**
- **Proposer sur cette base des pistes pour des pratiques culturales préservant au mieux la teneur en K du sol et la forme sous laquelle ce K est présent et disponible pour les plantes**