

Title:  
**Potassium Fertilizer Value of Raw and  
Hydrothermally Treated Igneous Rocks**

MBISSIK A.H.M., Khiari L., **Raji O.**, Elghali A., Lajili A., Ouabid M., Jemo M., Bodinier J.L

June 8th, 2023

**Pr. Otmane  
RAJI**

**UNIVERSITÉ MOHAMMED VI POLYTECHNIQUE**

**Startgate**

**Green & SMART  
Building Park**

**Datacenter**

**Teleport**

**Green Energy Park**



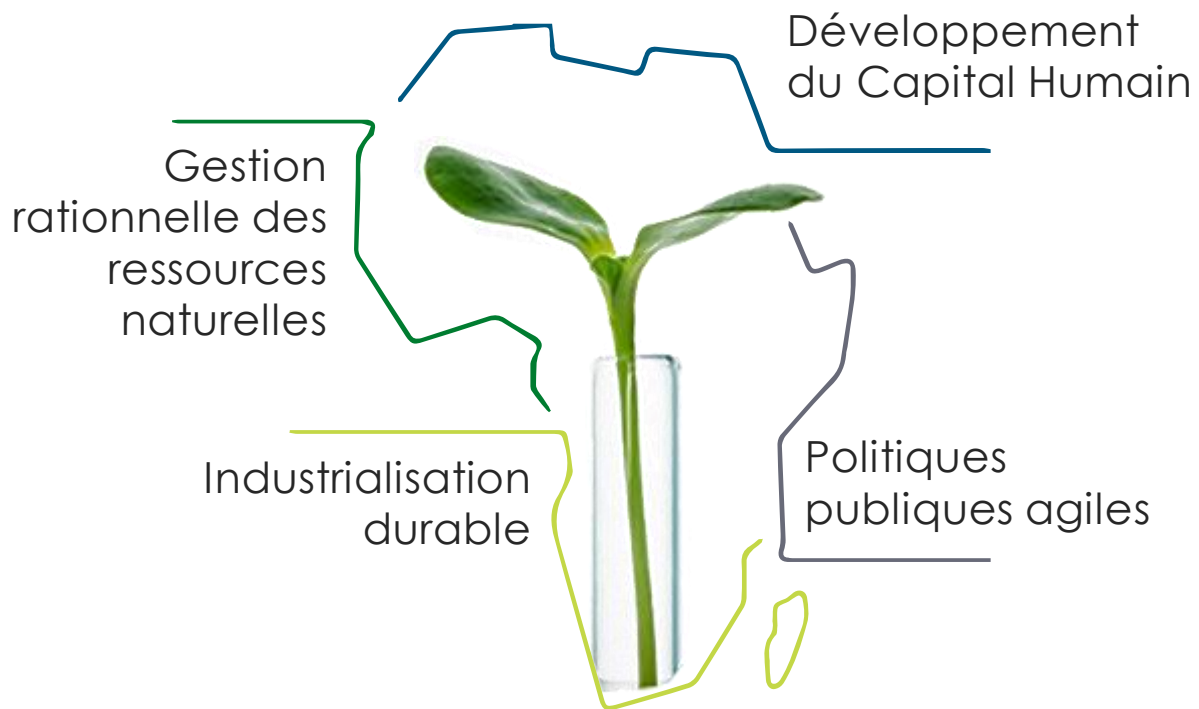
# LA RECHERCHE ET L'INNOVATION AU SERVICE DU DÉVELOPPEMENT DURABLE DE L'AFRIQUE



## Sujets de Recherche



## Défis Africains



- Water, Agriculture & Environment
- Natural Resources & Food Security
- Renewable Energy
- Industrial & Chemical Engineering
- Biotechnology & Biomedical Engineering
- Architecture, Urban Planning & Land Use
- Geology and Sustainable Mining
- Agricultural Economics & Development
- Chemical and Bio-chemical / Green Process Engineering
- Complex system engineering and Human Sciences
- Behavioral Sciences
- Computer & Communication Sciences
- Medical Application Interface
- Industrial Economy and emerging Africa

**Plan**



**Introduction et contexte**

**Approche méthodologique adoptée**

**Résultats et discussion**

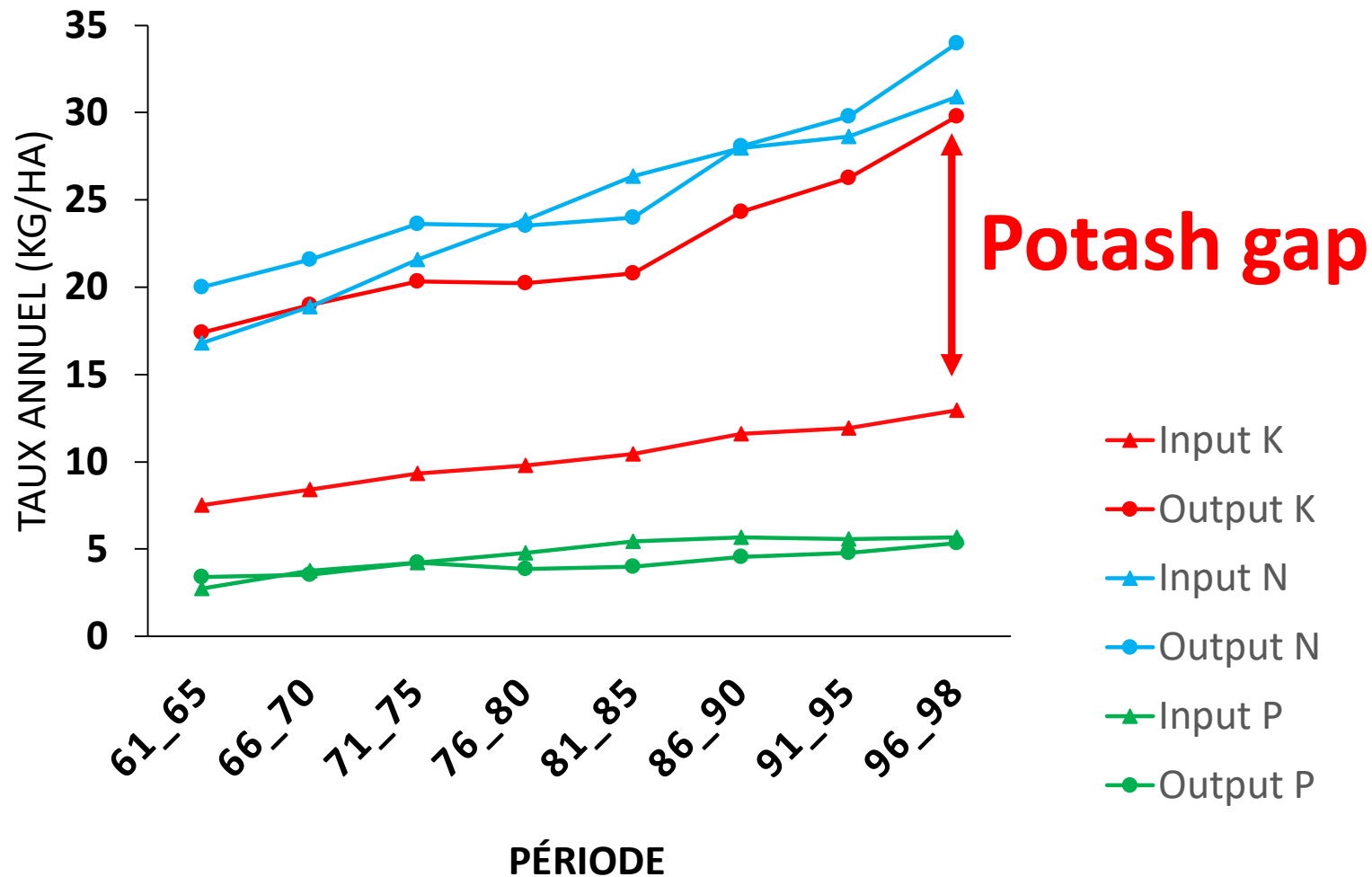
**Conclusion et perspectives**

## Ressources minérales pour l'industrie des fertilisants

<u>H</u>																		<u>He</u>	-
<u>2</u>	<u>Li</u>	<u>Be</u>												<u>B</u>	<u>C</u>	<u>N</u>	<u>O</u>	<u>F</u>	<u>Ne</u>
<u>3</u>	<u>Na</u>	<u>Mg</u>												<u>Al</u>	<u>Si</u>	<u>P</u>	<u>S</u>	<u>Cl</u>	<u>Ar</u>
<u>4</u>	<u>K</u>	<u>Ca</u>	-	<u>Sc</u>	<u>Ti</u>	<u>V</u>	<u>Cr</u>	<u>Mn</u>	<u>Fe</u>	<u>Co</u>	<u>Ni</u>	<u>Cu</u>	<u>Zn</u>	<u>Ga</u>	<u>Ge</u>	<u>As</u>	<u>Se</u>	<u>Br</u>	<u>Kr</u>
<u>5</u>	<u>Rb</u>	<u>Sr</u>	-	<u>Y</u>	<u>Zr</u>	<u>Nb</u>	<u>Mo</u>	<u>Tc</u>	<u>Ru</u>	<u>Rh</u>	<u>Pd</u>	<u>Ag</u>	<u>Cd</u>	<u>In</u>	<u>Sn</u>	<u>Sb</u>	<u>Te</u>	<u>I</u>	<u>Xe</u>
<u>6</u>	<u>Cs</u>	<u>Ba</u>	* -	<u>Lu</u>	<u>Hf</u>	<u>Ta</u>	<u>W</u>	<u>Re</u>	<u>Os</u>	<u>Ir</u>	<u>Pt</u>	<u>Au</u>	<u>Hg</u>	<u>Tl</u>	<u>Pb</u>	<u>Bi</u>	<u>Po</u>	<u>At</u>	<u>Rn</u>
<u>7</u>	<u>Fr</u>	<u>Ra</u>	* -	<u>Lr</u>	<u>Rf</u>	<u>Db</u>	<u>Sg</u>	<u>Bh</u>	<u>Hs</u>	<u>Mt</u>	<u>Ds</u>	<u>Rg</u>	<u>Cn</u>	<u>Nh</u>	<u>Fl</u>	<u>Mc</u>	<u>Lv</u>	<u>Ts</u>	<u>Og</u>
			↓																
			* -	<u>La</u>	<u>Ce</u>	<u>Pr</u>	<u>Nd</u>	<u>Pm</u>	<u>Sm</u>	<u>Eu</u>	<u>Gd</u>	<u>Tb</u>	<u>Dy</u>	<u>Ho</u>	<u>Er</u>	<u>Tm</u>	<u>Yb</u>		
			* -	<u>Ac</u>	<u>Th</u>	<u>Pa</u>	<u>U</u>	<u>Np</u>	<u>Pu</u>	<u>Am</u>	<u>Cm</u>	<u>Bk</u>	<u>Cf</u>	<u>Es</u>	<u>Fm</u>	<u>Md</u>	<u>No</u>		

■ Primary macronutrients  
■ Primary macronutrients  
■ Micronutrients

→ Le bilan des nutriments dans les sols mondiaux montrent que N et P sont relativement en équilibre contrairement à K dont la consommation par les cultures dépasse largement les apports.



→ La production mondiale doit doubler pour compenser cet écart

La ressource utilisée actuellement provient des évaporites notamment la sylvite (KCl)

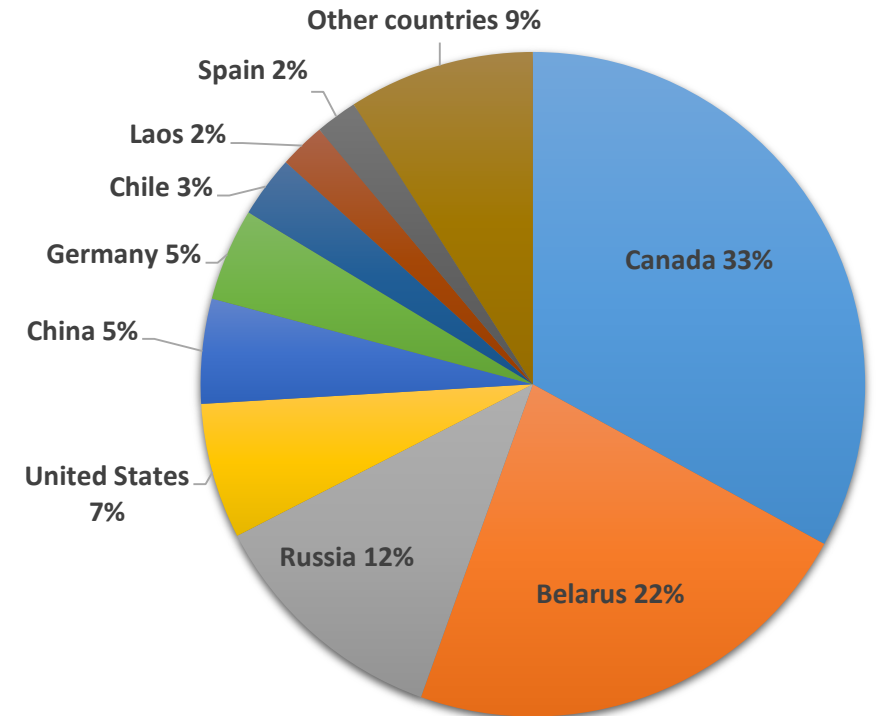
Dominée dans le monde par un petit nombre de pays, principalement dans l'hémisphère nord



Political boundaries from U.S. Department of State (2009).  
World Eckert III Projection.  
Central meridian, 0°.

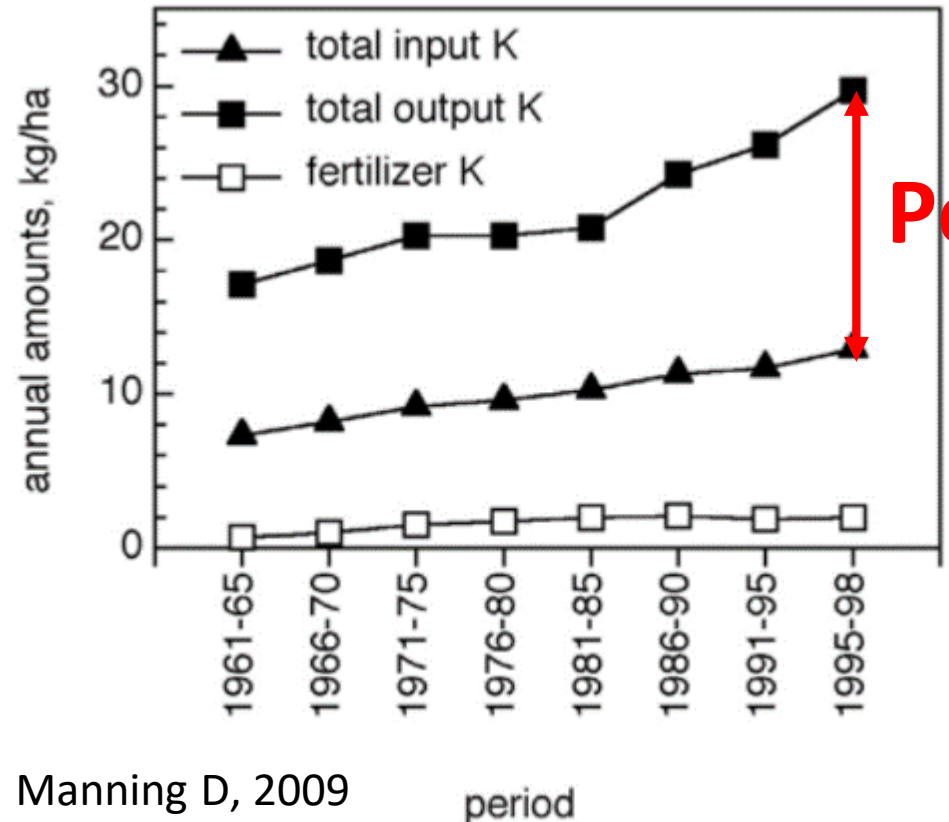
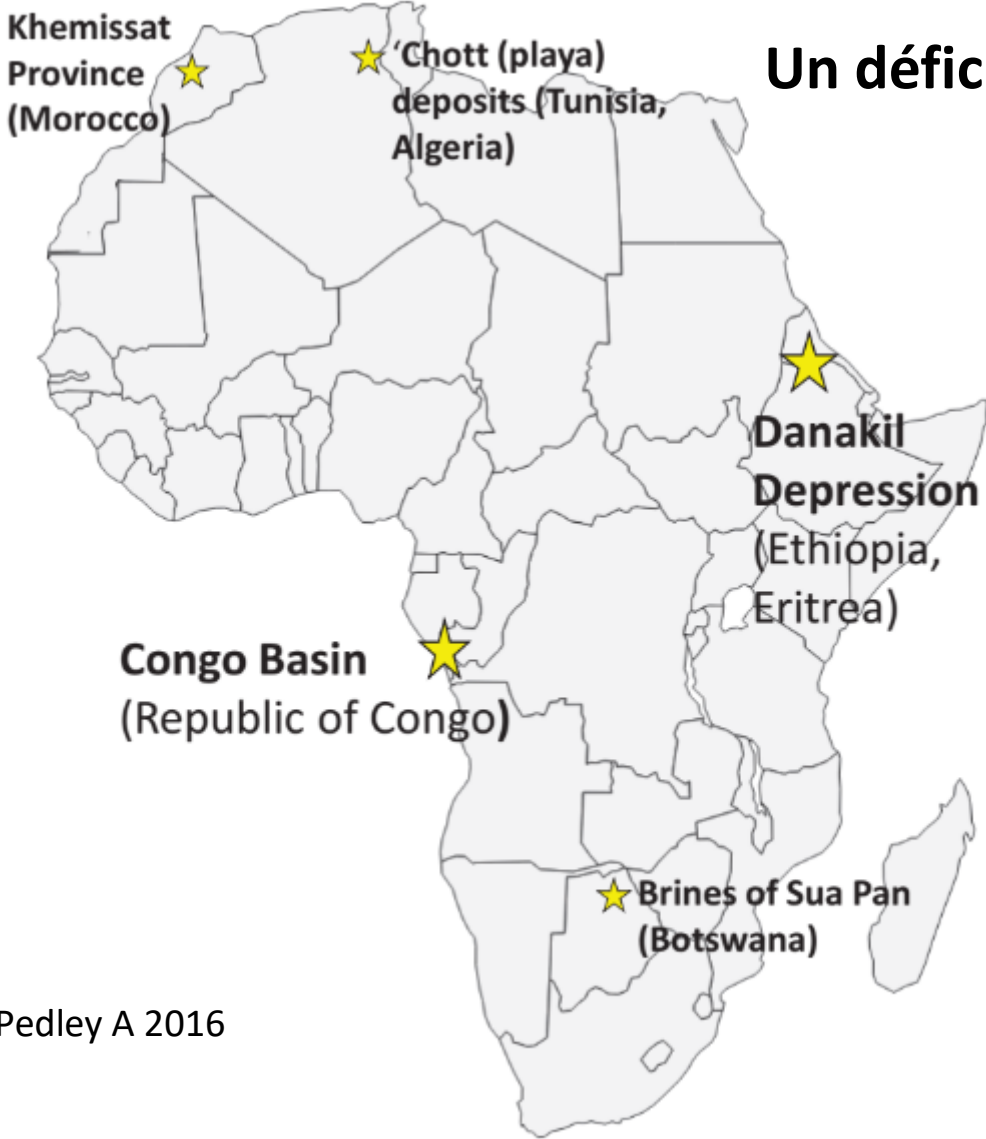


- EXPLANATION**
- Major potash-producing country
  - Producing mine(s) or area in a major potash-producing country
  - Producing mine(s) or area not in a major potash-producing country



(Source USGS)

# Un déficit annuel de 4,1 millions de tonnes dans les sols africains



Potash gap

Pedley A 2016

Manning D, 2009

Figure 1. The significant Potash deposits and occurrences of Africa.



## La ressource utilisée actuellement pose des problèmes majeurs notamment pour l'Afrique:

- Coûts élevés de l'importation
- Incertitude sur la pérennité de l'approvisionnement - voire de la ressource
  - Pertes au niveaux des sols
  - Riche en Cl, élément nuisible pour certaines cultures

➔ réfléchir à des sources alternatives



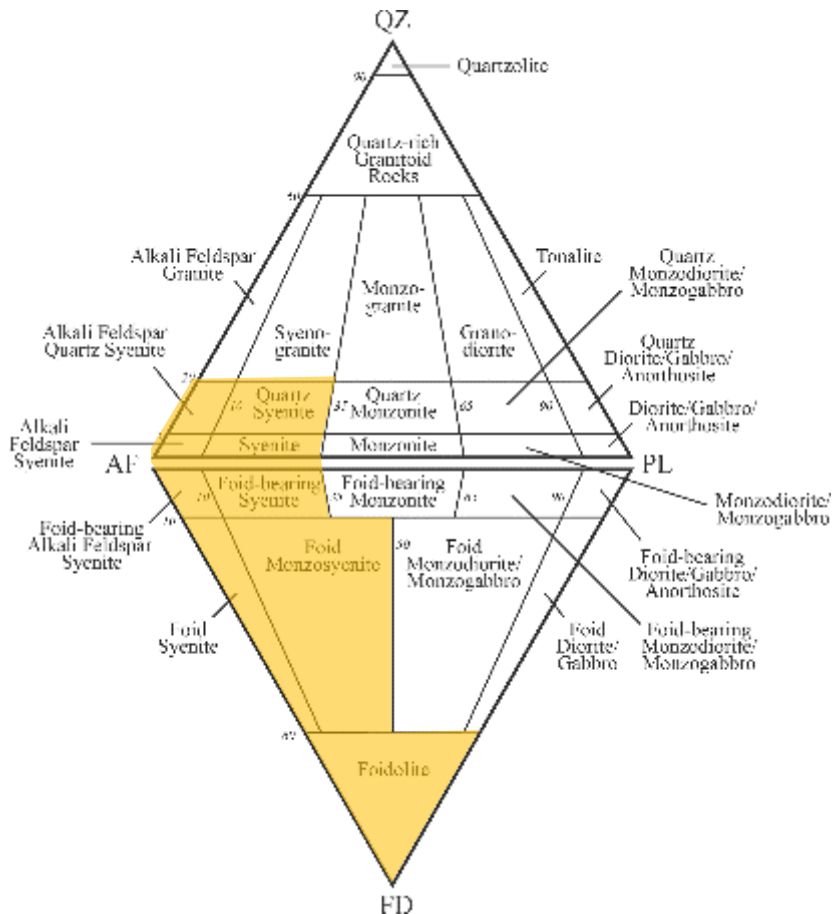
## → Alternative potentielle

Mineral	Formula	% K <sub>2</sub> O
<b>Sylvite</b>	KCl	63.09
<b>Carnallite</b>	MgCl <sub>2</sub> .KCl.6H <sub>2</sub> O	16.94
<b>Potassium feldspar</b>	KAlSi <sub>3</sub> O <sub>8</sub>	16.91
<b>Nepheline</b>	(Na,K)AlSiO <sub>4</sub>	15.67
<b>Kalsilite</b>	KAlSiO <sub>4</sub>	29.75
<b>Leucite</b>	KAlSi <sub>2</sub> O <sub>6</sub>	21.56
<b>Muscovite</b>	KAl <sub>3</sub> Si <sub>3</sub> O <sub>10</sub> (OH) <sub>2</sub>	10.88
<b>Biotite</b>	K <sub>2</sub> Fe <sub>6</sub> Si <sub>6</sub> Al <sub>2</sub> O <sub>20</sub> (OH) <sub>4</sub>	9.18
<b>Phlogopite</b>	K <sub>2</sub> Mg <sub>6</sub> Si <sub>6</sub> Al <sub>2</sub> O <sub>20</sub> (OH) <sub>4</sub>	11.30

Halide minerals  
(Evaporites  
deposits)

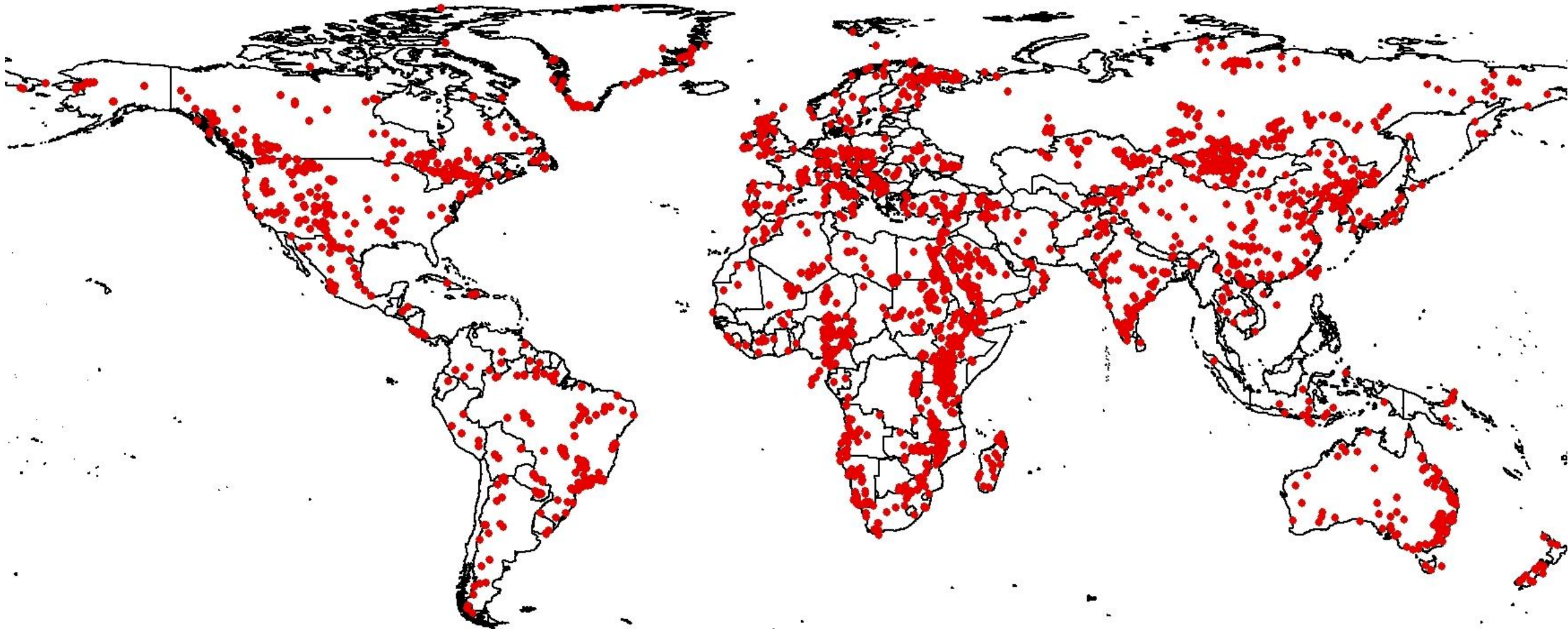
Silicates minerals  
(igneous rocks)

- Roches magmatiques de type Syénite/trachytes
- Dans des complexes géologiques alcalins



- Relativement abondants
- Riches en potassium (K)
- Sans Chlore

## Localement disponible à l'échelle mondiale



Données USGS



Inconvénient :  
Libération du  
potassium très lente

Minéral	Formule	%K (Poids)	%K2O (Poids)
Kalsilite	$KAlSiO_4$	24.68	29.75
Leucite	$KAlSi_2O_6$	17.89	21.56
Feldspath potassique	$KAlSi_3O_8$	14.03	16.91
Néphéline	$(Na,K)AlSiO_4$	13.00	15.67
Phlogopite	$K_2Mg_6Si_6Al_2O_{20}(OH)_4$	9.38	11.30
Muscovite	$KAl_3Si_3O_{10}(OH)_2$	9.03	10.88
Biotite	$K_2Fe_6Si_6Al_2O_{20}(OH)_4$	7.62	9.18

Manning (2010)



➔ Des nouveaux procédés de traitement

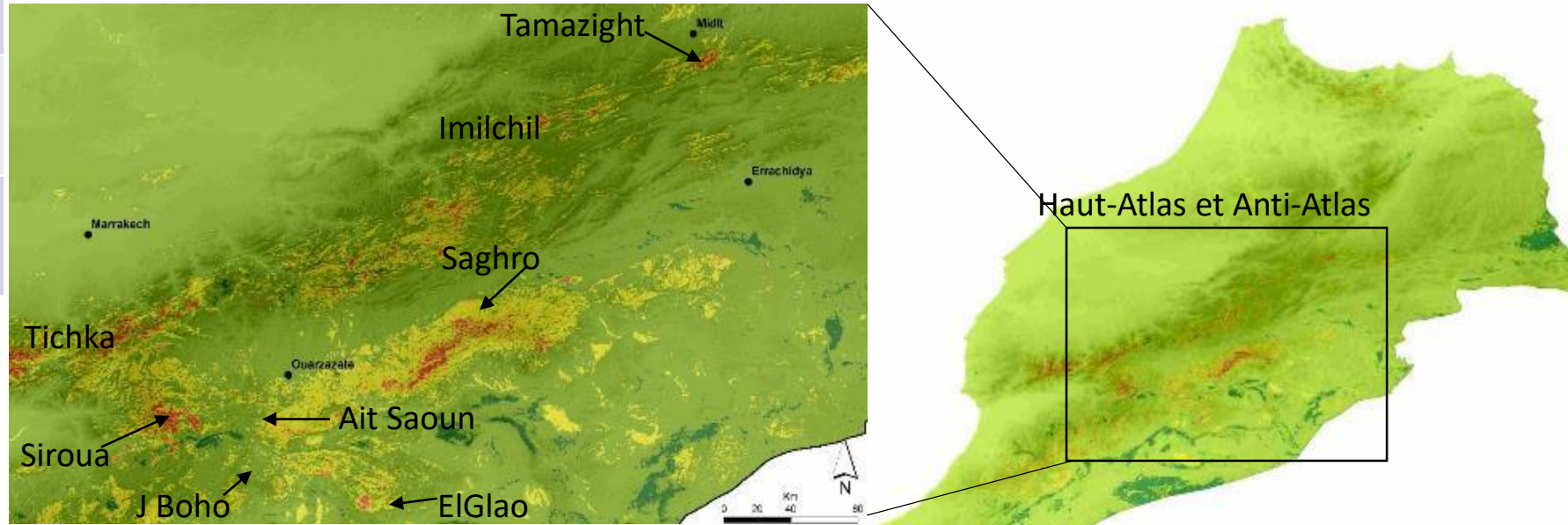
Une nouvelle  
génération de  
fertilisants écologiques

<sup>a</sup> School of Civil Engineering & Geosciences, Newcastle University, NE1 7RU, Newcastle upon Tyne, UK  
<sup>b</sup> University Claude Bernard Lyon 1, 43 Boulevard du 11 Novembre 1918, 69100 Villeurbanne, France  
<sup>c</sup> School of Agriculture, Food and Rural Development, Newcastle University, NE1 7RU, Newcastle upon Tyne, UK

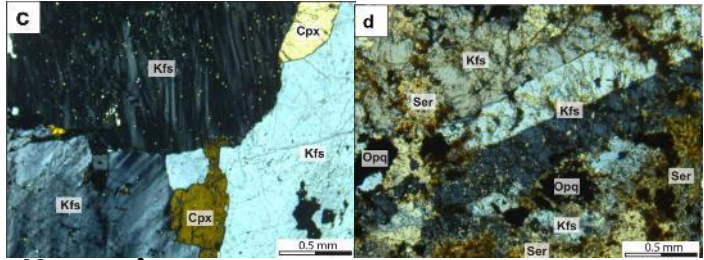
# **Evaluation du potentiel fertilisant: Roches brutes vs. Roches traitées**

K <sub>2</sub> O (wt.%)	Minéraux potassiques	Faciès
12 – 14	K-feldspar (up to 85 vol.%), nepheline (up to 5 vol.%), biotite.	High-K syenites
9 – 12	K-feldspar (> 65vol.%), nepheline (up to 20 vol.%), biotite (up to 5 vol.%).	K syenites
5 – 8	K-feldspar (< 45 vol.%), nepheline (up to 20 vol.%), biotite (< 10 vol.%).	Moderate-K syenites

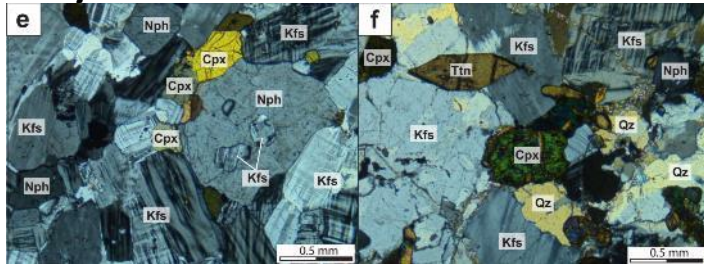
## Sélection de 16 faciès potassiques différents



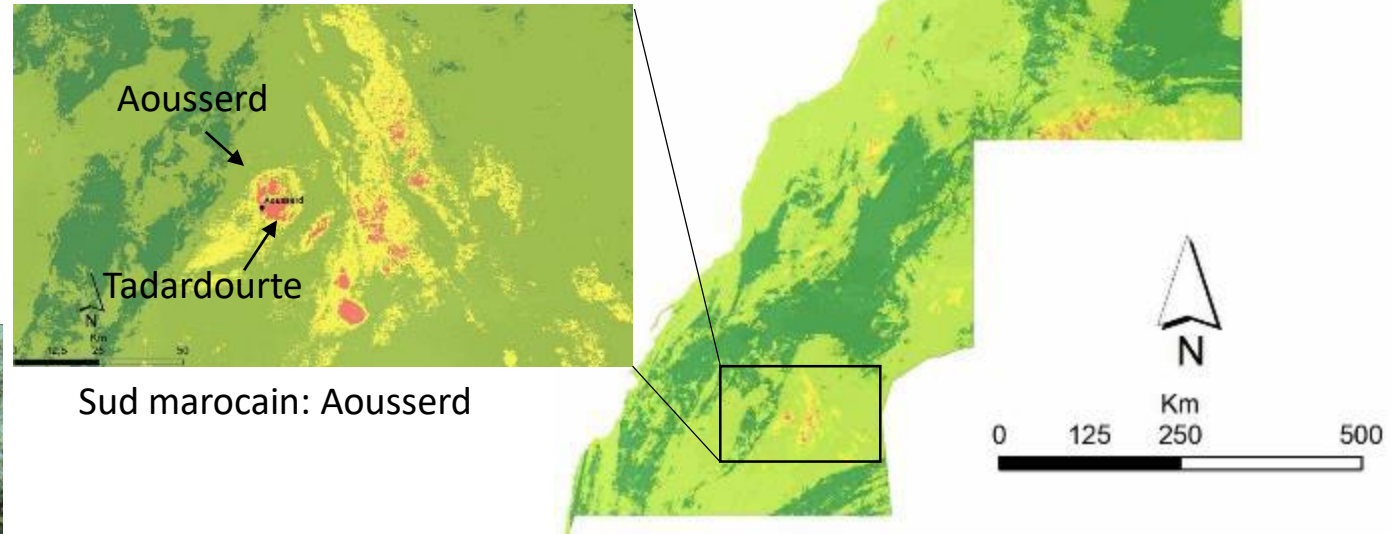
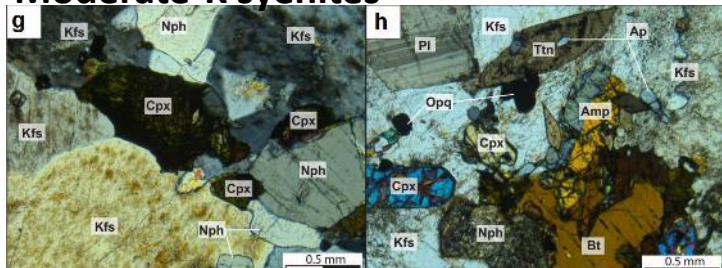
### High-K syenites



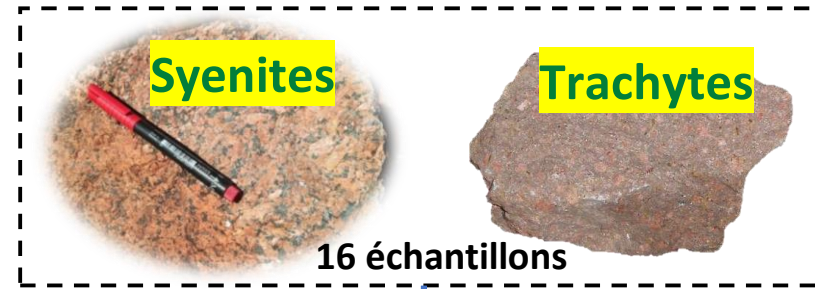
### K syenites



### Moderate-K syenites



Matériel utilisé



Roches brutes sans traitement



< 150  $\mu$ m

Roches traitées: Traitement hydrothermal alcalin

170 °C / 7 h

NaOH



< 150  $\mu$ m



l'échantillon traité a été désaggloméré à l'aide d'un broyeur à mortier puis séché à 70 °C » (Mbissik et al. 2021)

Tests de lixiviation

4 g d'échantillons solides ont été lessivés par 40 ml d'eau déminéralisée pendant 1 semaine



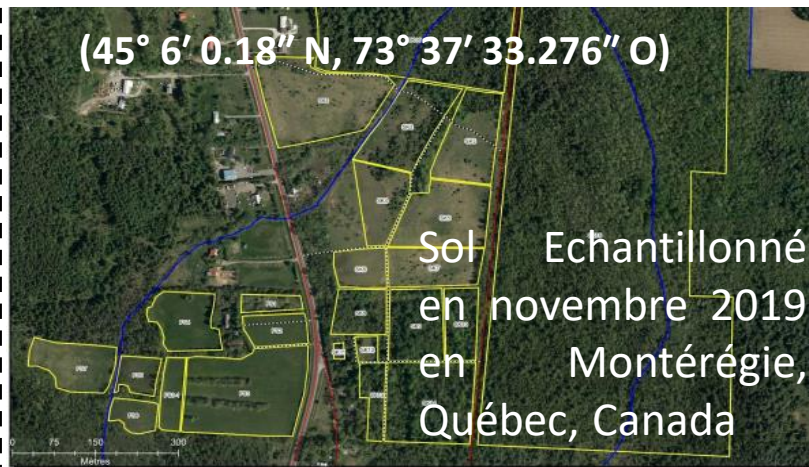
## Matériel utilisé

Sol



- Principal critère: Faible teneur en K

(45° 6' 0.18" N, 73° 37' 33.276" O)



Domaine Agri-SH3N  
882, route 138  
Hemmingford, Québec  
J3R 1H6



Légende  
Champs  
Cours d'eau  
Puits  
Chemin terre  
Passes  
Route



Plan 1 de  
© 2019 DataCal  
Échelle par DTM

- Séché à l'air, broyé et passé à travers un tamis de 2 mm.
- Testé pour le pH selon la méthode électrométrique du CEAQ (2003).
- Les nutriments P, K, calcium (Ca) et Mg, ainsi que l'aluminium (Al), le fer (Fe), Cu, B et d'autres éléments ont été extraits à l'aide de l'agent d'extraction commun Mehlich III (Mehlich 1984)

Properties	Values
Particle size distribution: D <sub>60</sub> (µm)	< 150
pH <sub>w</sub>	5.6
Organic carbon (%)	2
P (mg kg <sup>-1</sup> soil)	4.5
K (mg kg <sup>-1</sup> soil)	49
Ca (mg kg <sup>-1</sup> soil)	1335
Mg (mg kg <sup>-1</sup> soil)	283.2
Al (mg kg <sup>-1</sup> soil)	705
B (mg kg <sup>-1</sup> soil)	2.7
Cu (mg kg <sup>-1</sup> soil)	0.96
Fe (mg kg <sup>-1</sup> soil)	133
Mn (mg kg <sup>-1</sup> soil)	86.7
Zn (mg kg <sup>-1</sup> soil)	1.9
Na (mg kg <sup>-1</sup> soil)	27.3
Ni (mg kg <sup>-1</sup> soil)	0.3
Cd (mg kg <sup>-1</sup> soil)	0.1
Co (mg kg <sup>-1</sup> soil)	0.3
Pb (mg kg <sup>-1</sup> soil)	1.9

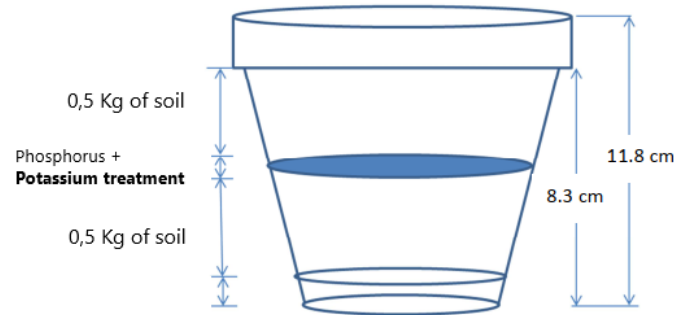
## Essais en serre

L'unité expérimentale : pot en plastique à fond légèrement conique et perforé

- Un géotextile a été placé au fond
- 0,5 kg de sol a été versé à l'intérieur
- Un autre 0,5 kg de sol a été ajouté après avec le traitement au potassium.

Conditions contrôlées

- Tous les pots ont été irrigués deux fois par jour pour garder le sol humide.
- Une photopériode a été fixée à 14 h avec un niveau de luminosité de  $1200 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  en dessous duquel l'éclairage artificiel est actif.
- L'humidité relative a été maintenue à 60 % et la température de l'air a été maintenue entre 18 et 22 °C.



### Le ray-grass annuel (*Lolium multiflorum*)

- Croissance rapide
- Résistance et adaptation aux conditions de serre
- Grande capacité d'absorption des minéraux



- Conception en blocs complets randomisés avec trois répétitions et quarante traitements : les 16 roches brutes, 16 roches traitées, deux témoins sans potassium et 6 taux croissants de MOP
- Court terme (un seul cycle de trois coupes de ray-grass : 12 semaines)
- Long terme (trois cycles de trois coupes chacun pour un total de 30 semaines).

### Evaluation

En Kg ha<sup>-1</sup>

→ Rendement en biomasse (comparé au rendement optimal obtenu par MOP)

→ Coefficient d'Utilisation du Potassium /K uptake

$$K_{\text{uptake}} (\text{gKpot}^{-1}) = \frac{\text{Dry yield} \times \%K}{100}$$

→ Coefficients apparent d'utilisation du potassium/ apparent K recovery (AKR)

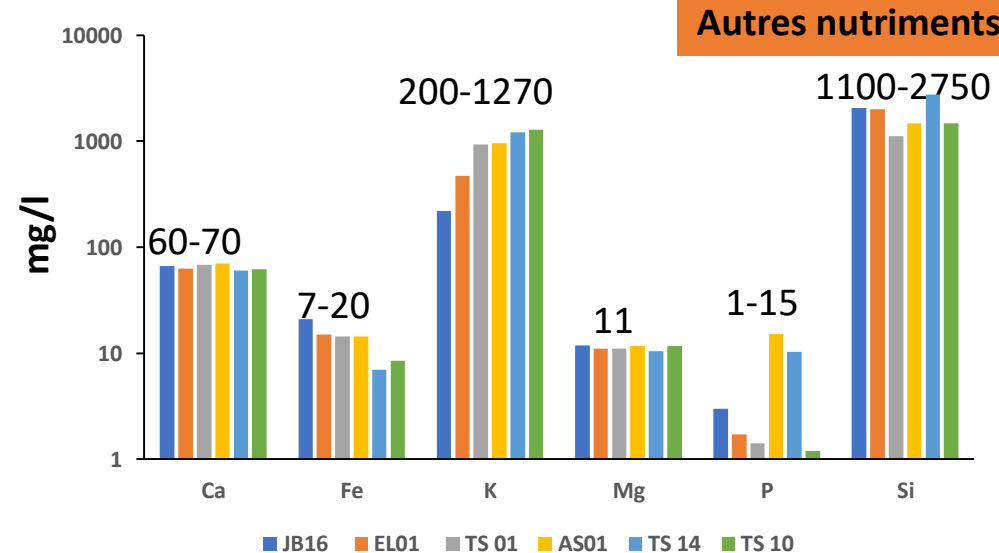
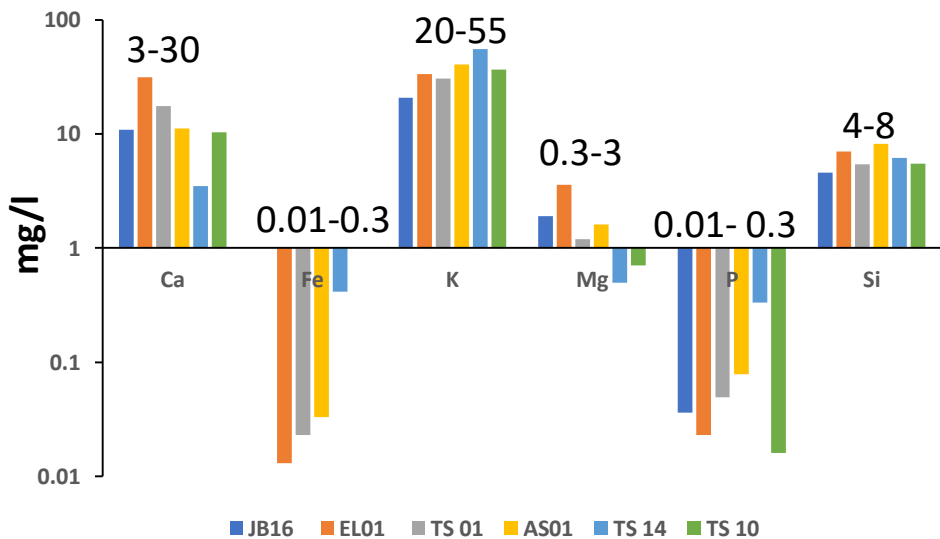
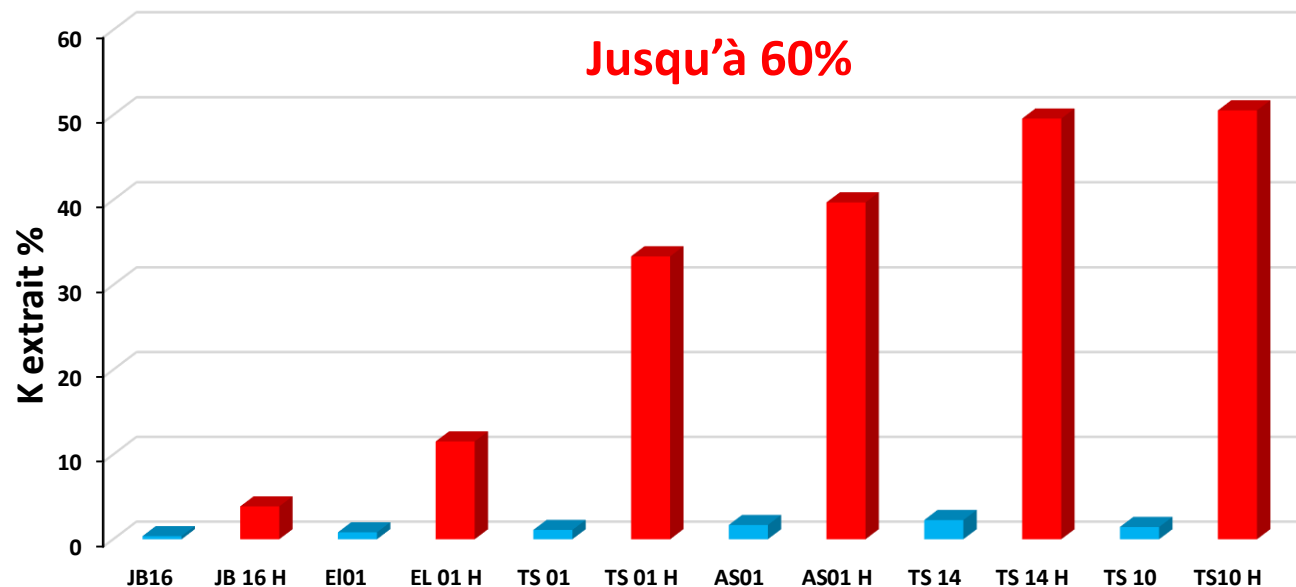
$$\text{AKR} (\%) = \frac{K_{\text{treatment}} - K_{\text{control}}}{K_{\text{applied}}} \times 100$$

→ Coefficient d'efficacité relative du potassium/ relative K effectiveness (RKE)

$$\text{RKE} (\%) = \frac{\text{AKR} (\%) K_{\text{rocks}}}{\text{AKR} (\%) \text{MOP}} \times 100$$

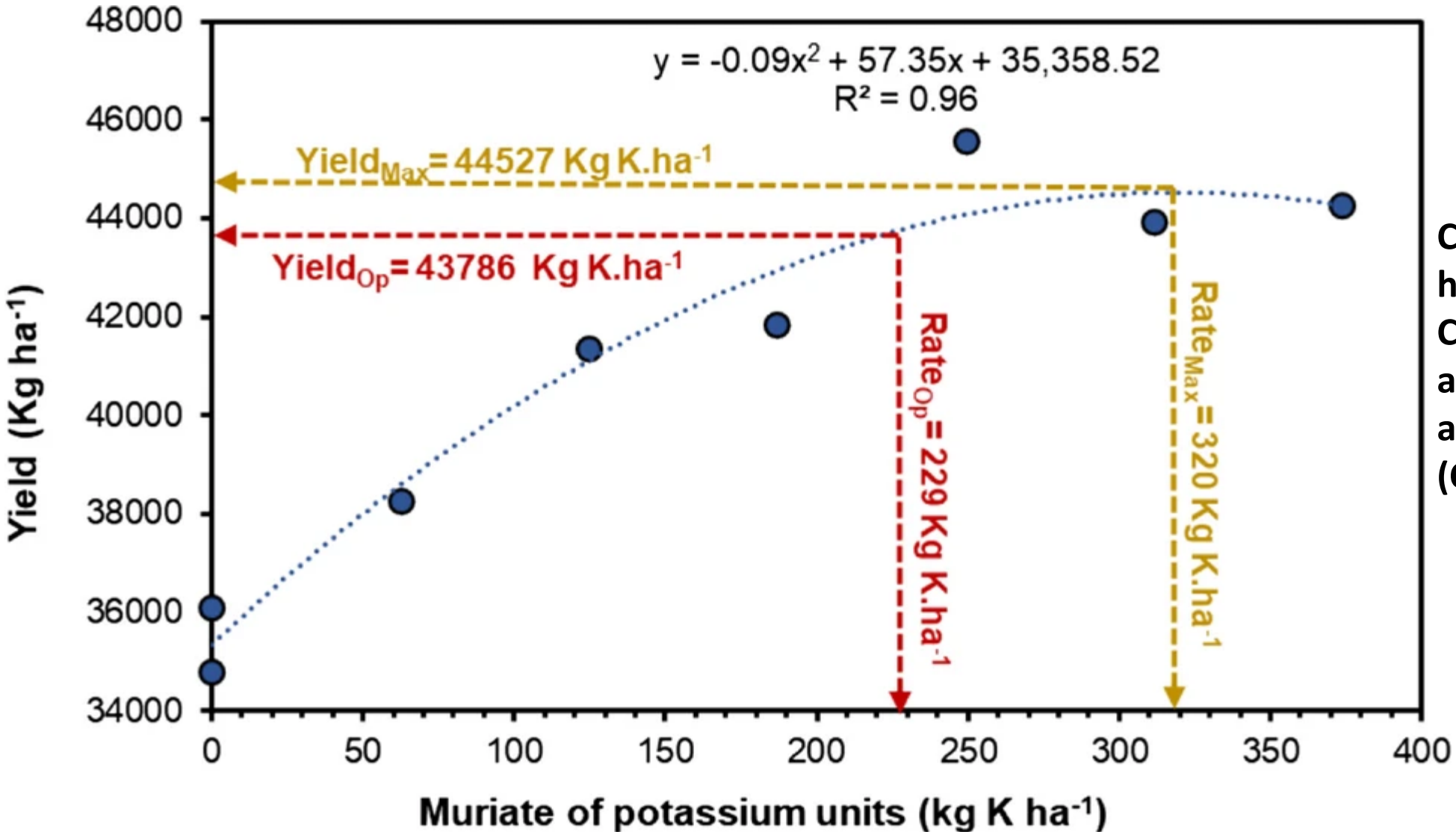
Libération de K

- Teneur initiale en K
- Nature des minéraux potassiques
- Etat d'altération des roches
- Granulométrie



Autres nutriments

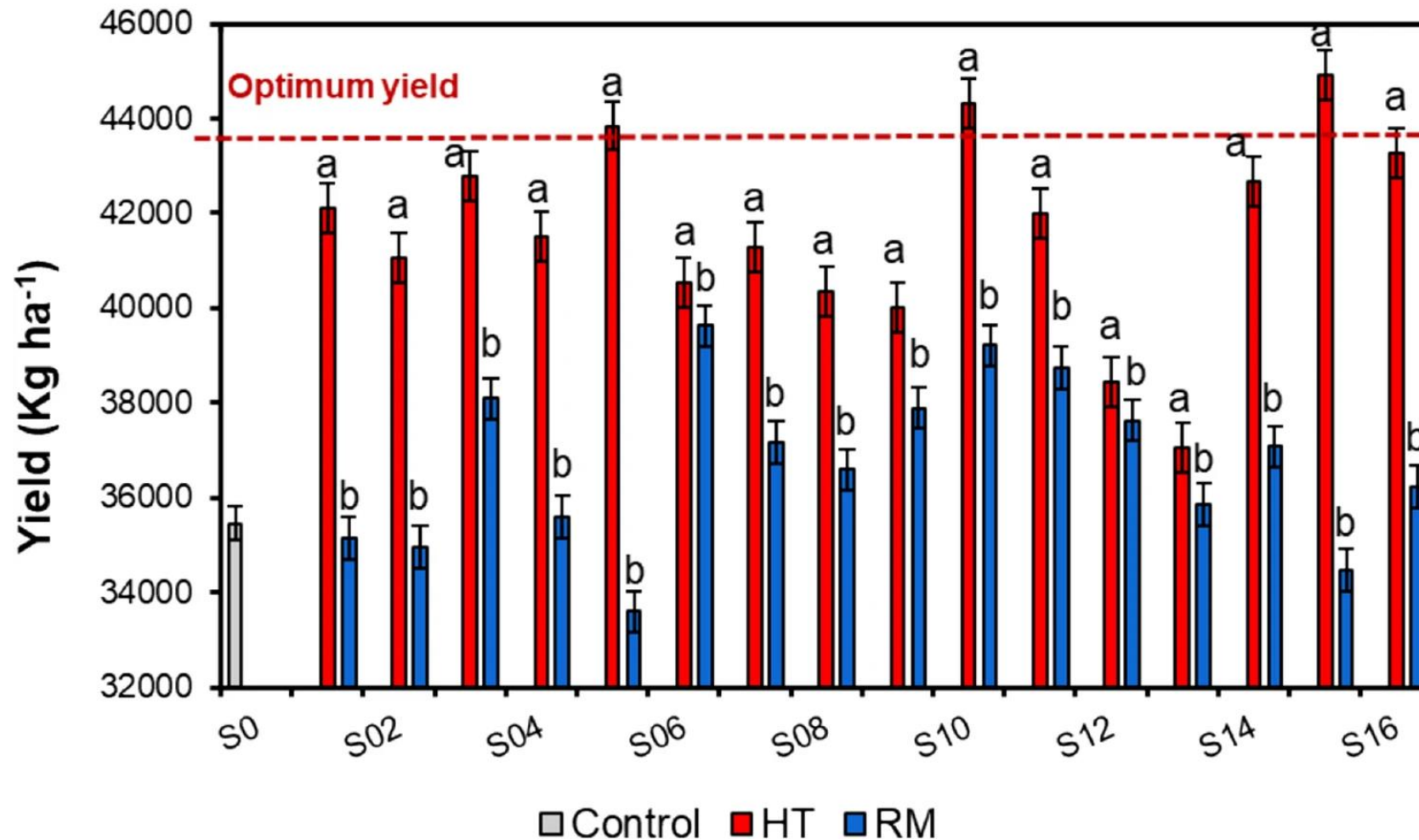
## Les doses maximales et optimales



Comparable à 230 kg K ha<sup>-1</sup>, recommandé par le Centre de référence en agriculture et agroalimentaire du Québec (CRAAQ) (2010)

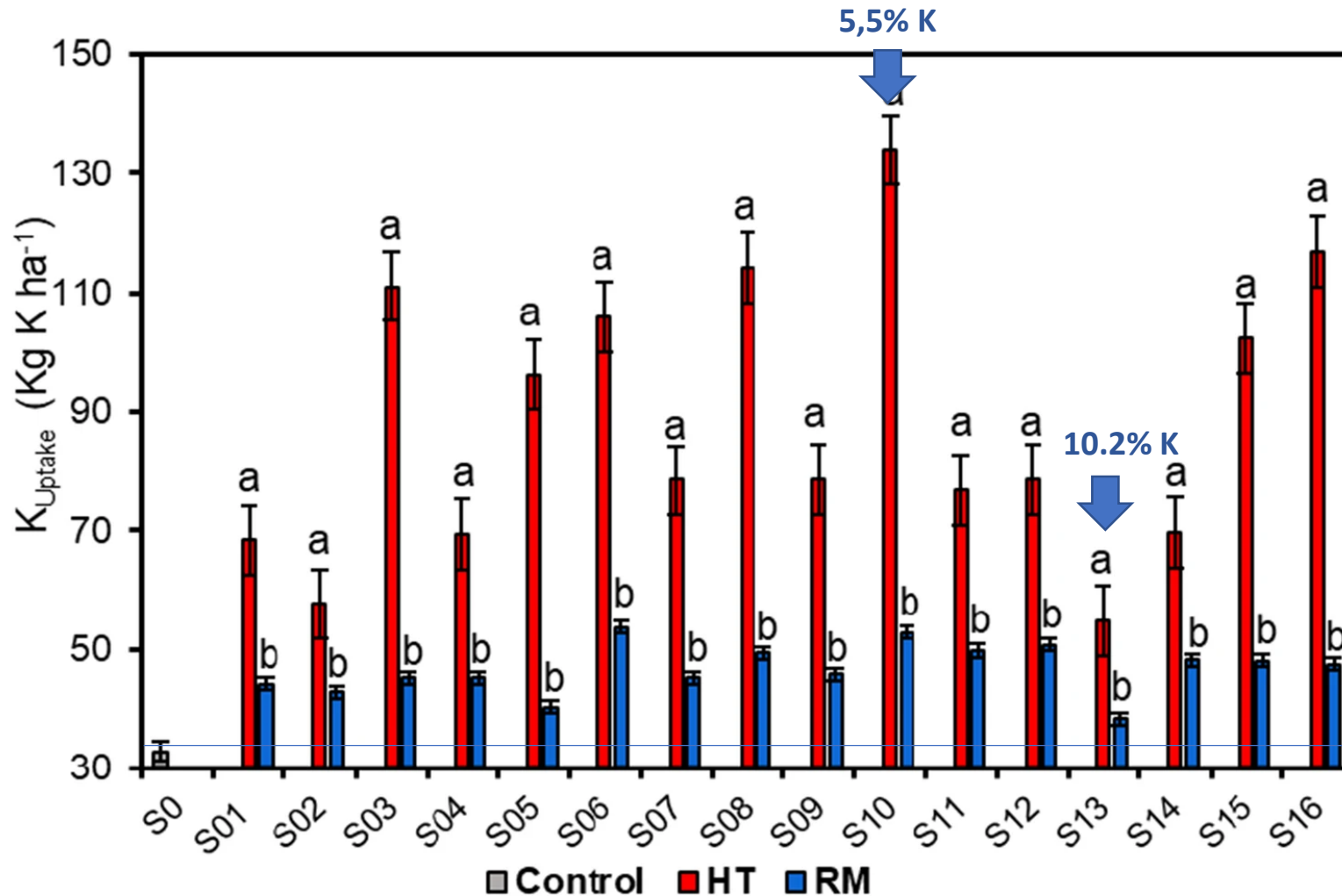
Courbe de rendement-réponse de la biomasse de ray-grass à des taux croissants de potassium appliqués sous forme de muriate de potassium (MOP)

## Rendement en biomasse aérienne du ray-grass comparé au MOP



Par rapport au rendement témoin de 35 460 kg ha<sup>-1</sup>, l'application de poudres de roches brutes et traitées a augmenté le rendement en biomasse.

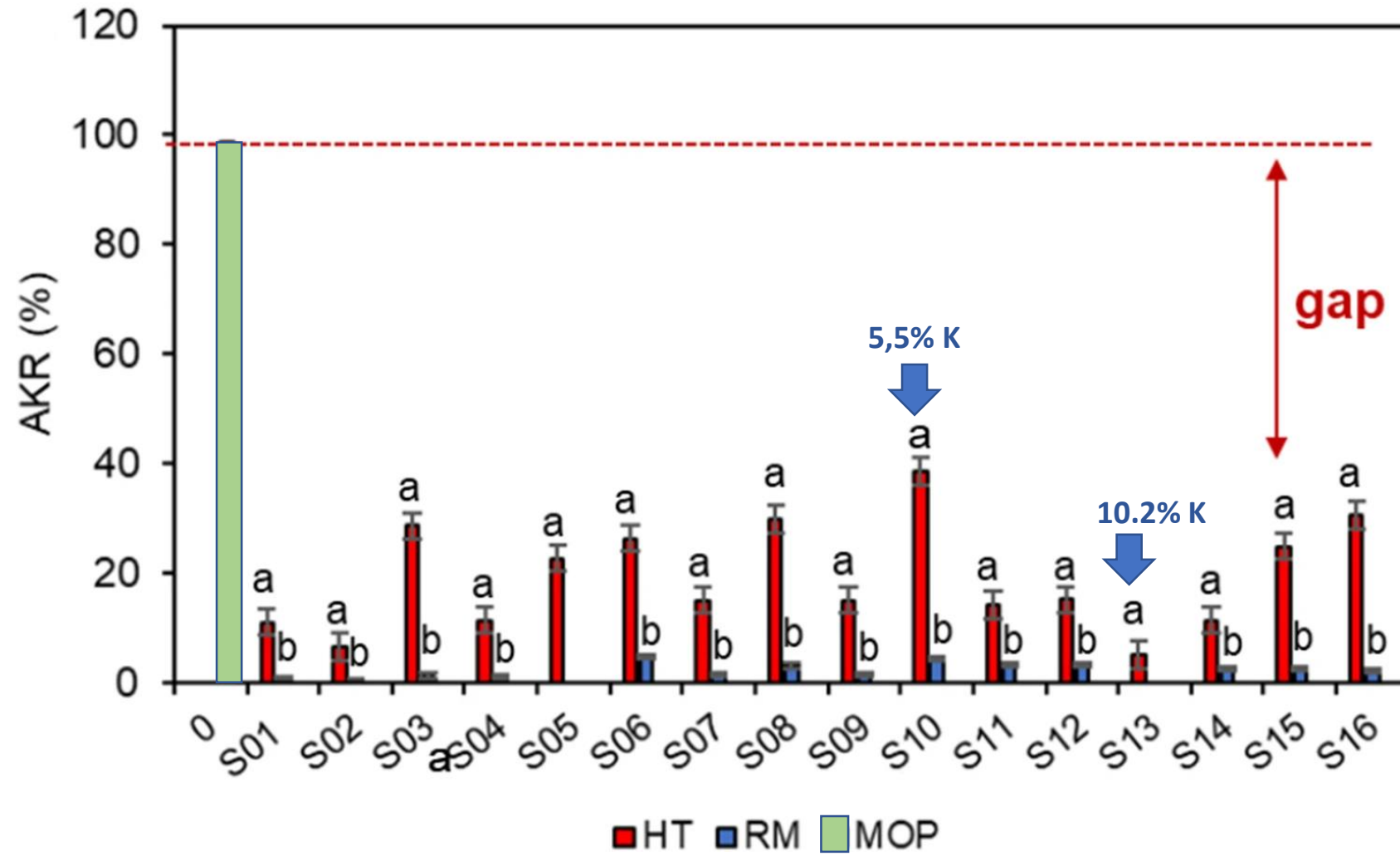
## Coefficient d'Utilisation du Potassium /K uptake



- K-uptake est supérieur au control pour l'ensemble des traitements.
- K-uptake est meilleur pour les roches traitées par le procédé hydrothermal alcalin
- Des niveaux satisfaisants d'absorption de K par le ray-grass ont été observés dans des roches moins riches en potassium !
- Quelle que soit la nature et la teneur en K, les roches non traitées ont montré des niveaux insatisfaisants d'absorption de K → en dessous de la moitié de la norme de 98,1 kg K ha<sup>-1</sup>.

## Coefficients apparent d'utilisation du potassium/ apparent K recovery (AKR)

$$AKR (\%) = \frac{K_{\text{treatment}} - K_{\text{control}}}{K_{\text{applied}}} \times 100$$



➔ 0 to 4.4% pour les poudres des roches brutes

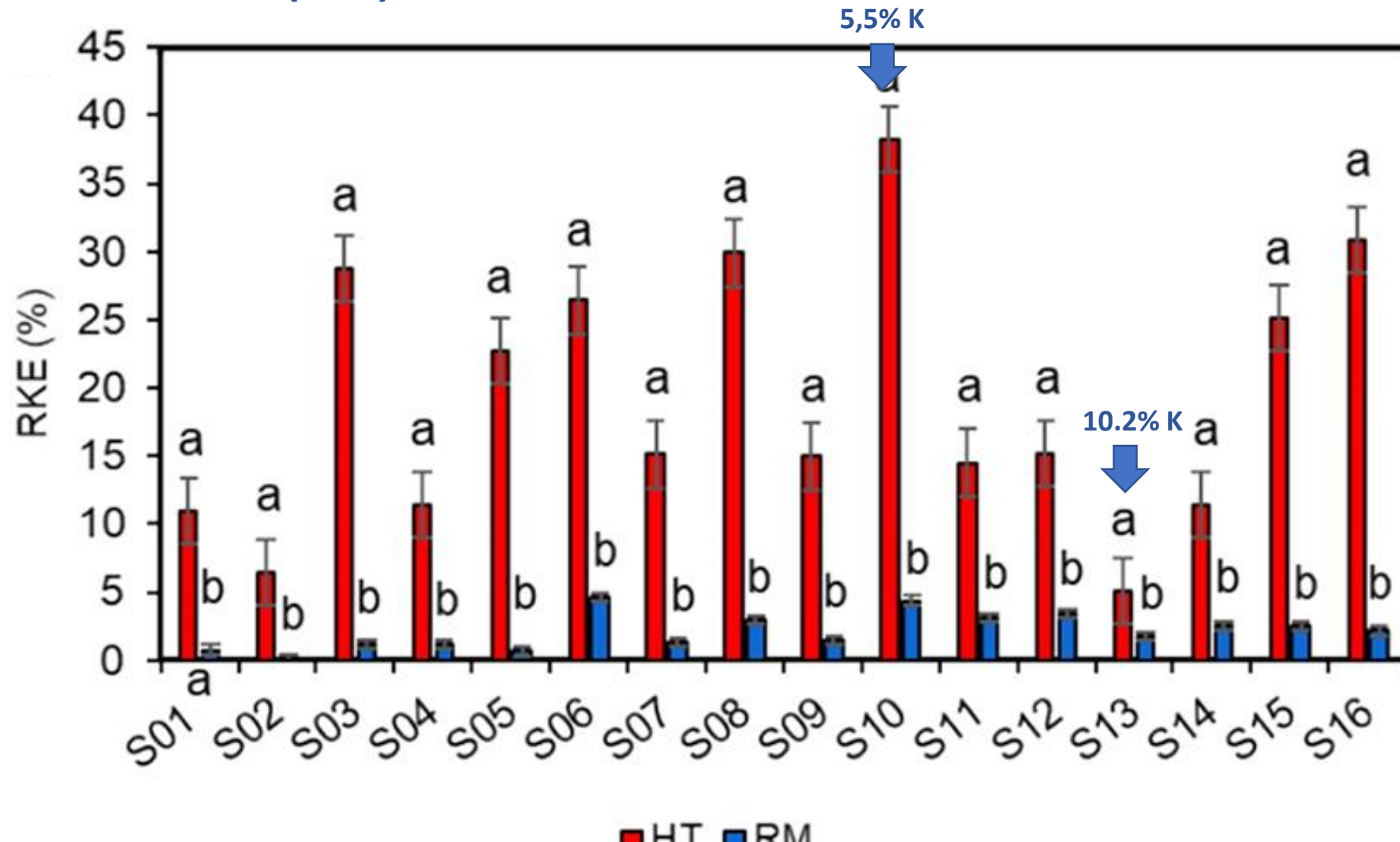
➔ 5 to 40% pour les poudres des roches traitées

➔ La teneur en K n'a pas d'effet



# Coefficient d'efficacité relative du potassium/ relative K effectiveness (RKE)

$$RKE (\%) = \frac{AKR (\%) K_{rocks}}{AKR (\%) MOP} \times 100$$



➔ 0 to 5% pour les poudres des roches brutes

➔ 5 to 40% pour les poudres des roches traitées

➔ La teneur en K n'a pas d'effet

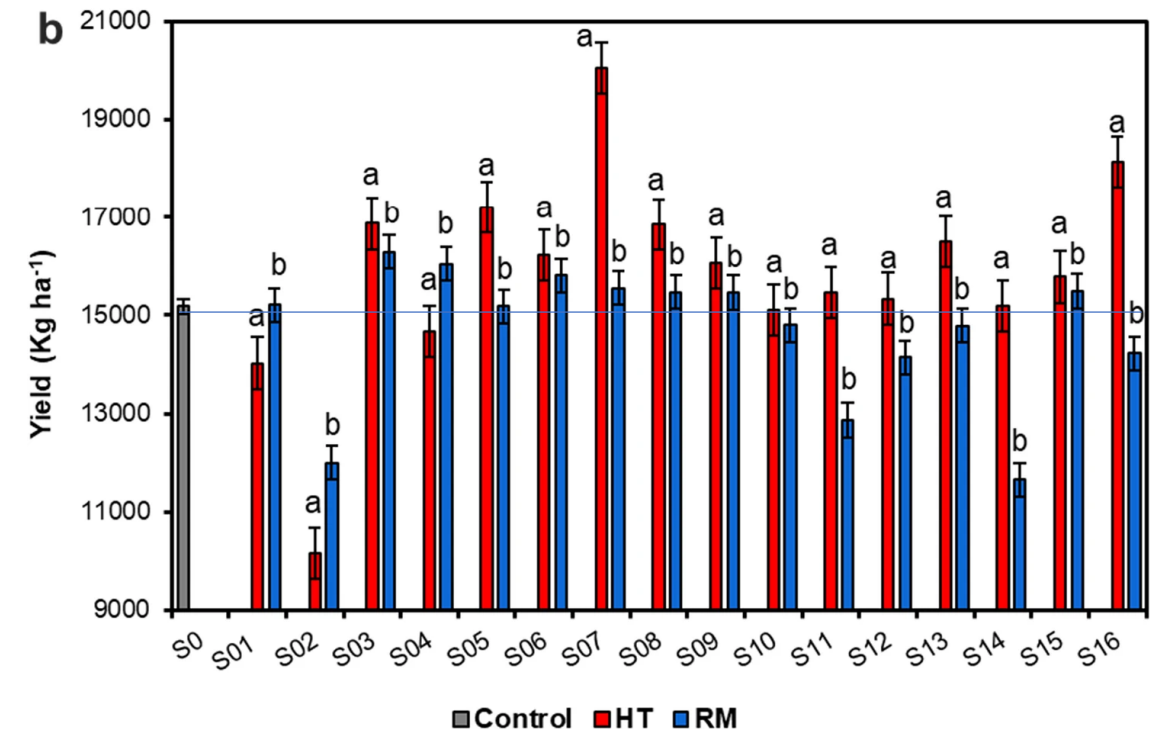
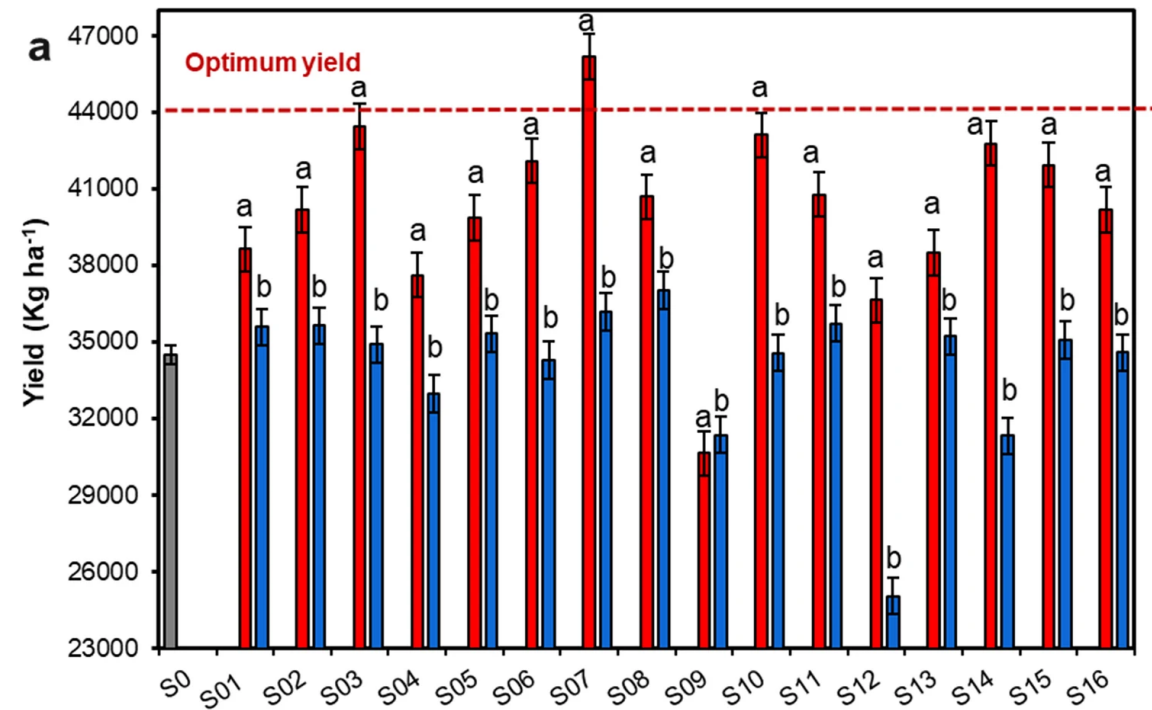
## à long terme

### Après deux cycles végétatifs

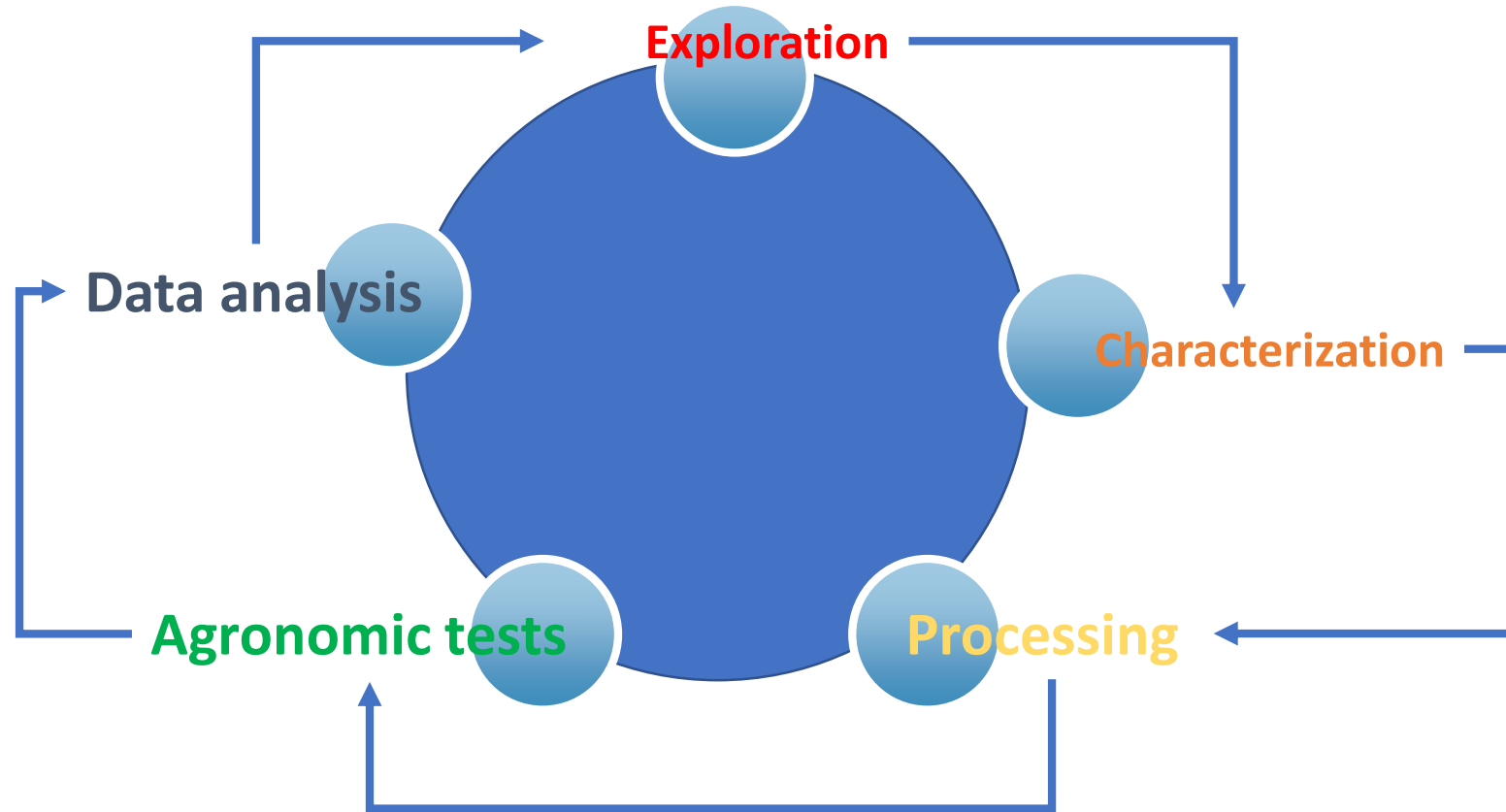
➔ Rendement en biomasse reste relativement élevé pour certaines roches traitées

### Après trois cycles végétatifs

➔ Chute du rendement en biomasse



- Etude exploratoire pour évaluer l'efficacité agronomique → Utilisation directe sans et avec traitement hydrothermal
- Résultats encourageants
- Optimiser les paramètres du traitement hydrothermal → Explorer d'autres réactifs
- Conduire plus de tests sur différents sols/plantes
- Importance de l'approche interdisciplinaire



## Solutions pour l'agriculture et le changement climatique

Water retention

CO2 sequestration



Plant nutrition

Soil remineralization

Thank you

