



10^{ÈMES} RENCONTRES DE LA FERTILISATION RAISONNÉE ET DE L'ANALYSE * 23 ET 24 NOVEMBRE 2011 - COMIFER - GEMAS

BESOINS DE RECHERCHE SUR LA NUTRITION POTASSIQUE DES PLANTES

**Lionel JORDAN-MEILLE
ENITA de Bordeaux - UMR TCEM INRA-ENITAB**

Avec l'aimable expertise de P. Battie-Laclau, P. Denoroy, P. Hinsinger, A. Schneider

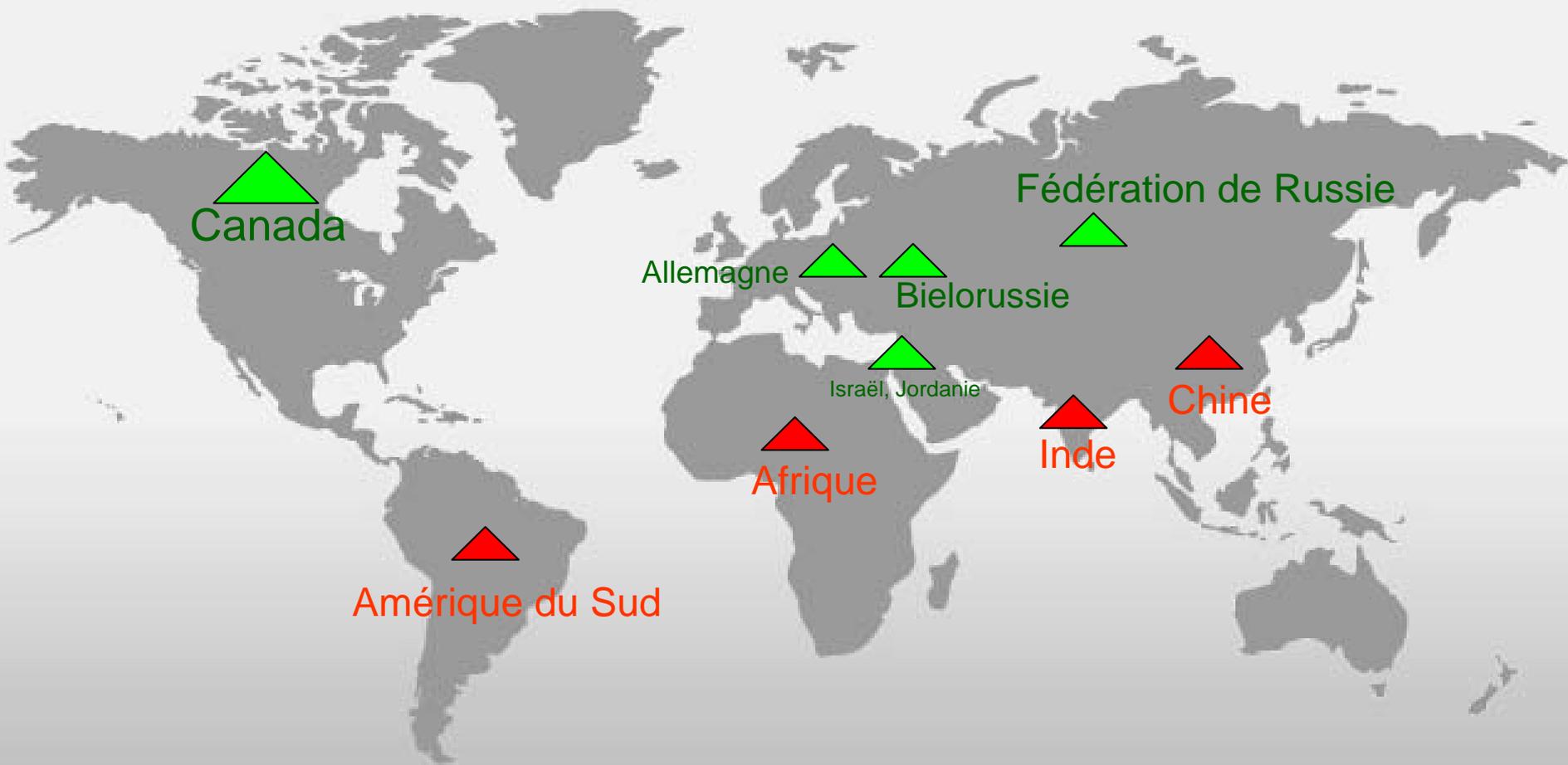


Localisation des laboratoires européens travaillant sur K



1. , 2. et 3. Biodisponibilité du K, bilans cultureux
4. Effet du K sur la résistance aux maladies et ravageurs
5. Biologie moléculaire, génétique
6. *Institute of Plant Nutrition new*)
7. Modélisation du transfert K Sol-Plante
8. Mécanismes de transport du K (plante) à l'échelle moléculaire
9. Acquisition du K, processus d'altération des minéraux
10. Rôle du K sur la détoxification des radicaux libres
11. Stress hydrique X Nutrition K

Répartition inégale des ressources en K



 Principaux producteurs mondiaux de potasse

 Principales régions du monde déficientes en K



potasse [potas] n. f. 1. *Potasse caustique* ou *potasse* : hydroxyde de potassium, de formule KOH, produit basique de couleur blanche, très caustique, soluble dans l'eau et utilisé dans la préparation des savons noirs. 2. AGRIC Mélange de sels de potassium utilisé comme engrais. – Néerl. *potasch*, all. *Pottasche*, « cendre du pot ».

potasser [potase] v. tr. [1] Fam. Étudier un sujet, une matière en l'approfondissant. *Potasser un examen, un sujet difficile.* – De *pot*.

potassique [potasik] adj. Qui renferme de la potasse, du potassium. – De *potasse*.

potassium [potasjom] n. m. Métal alcalin blanc d'argent, mou à la température ordinaire, d'une densité inférieure à celle de l'eau (0,86), très répandu dans la nature sous forme de sels ; élément de numéro atomique $Z = 19$, de masse atomique 39,10 (symbole K, de son anc. nom all. *Kalium*). – De l'angl. *potass* ou *potash*, du néerl. ; lat. mod. *potassium*.

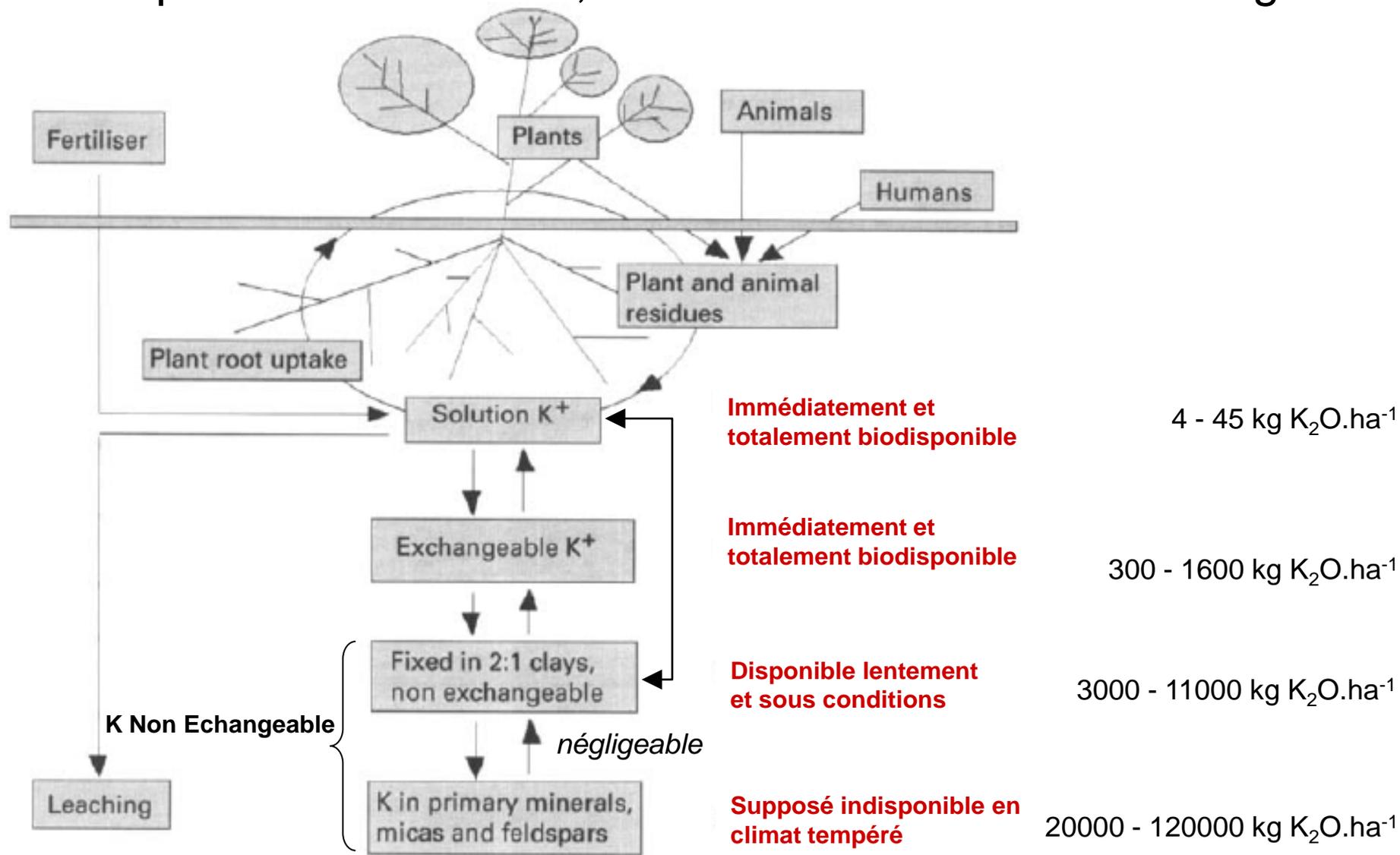
ENCYCL Chim. – Le potassium fond à 63,5 °C et bout à 760 °C. Monovalent, comme les autres métaux alcalins, il décompose l'eau à froid, avec formation de potasse caustique. Parmi ses sels, citons le cyanure de potassium (poison violent), le chlorate de potassium (carburant utilisé dans la préparation de certains explosifs) et le nitrate de potassium (oxydant énergique servant à préparer des mélanges détonants). Le potassium est utilisé en agriculture sous forme d'engrais. Le potassium joue un rôle important dans l'équilibre électrolytique de l'organisme. Absorbé au niveau de l'intestin grêle, il est excrété dans les urines par le rein. L'insuffisance du potassium (*hypokaliémie*) dans le plasma sanguin provoque la fatigue.

I Ce que l'on sait sur le K (et que l'on croit simple ...)

II Les théories qui font encore débats

III Quelles pistes de recherche explorer, pour quoi faire ?

Les compartiments K du sol, en relation avec la nutrition végétale



Rôles du K en physiologie végétale

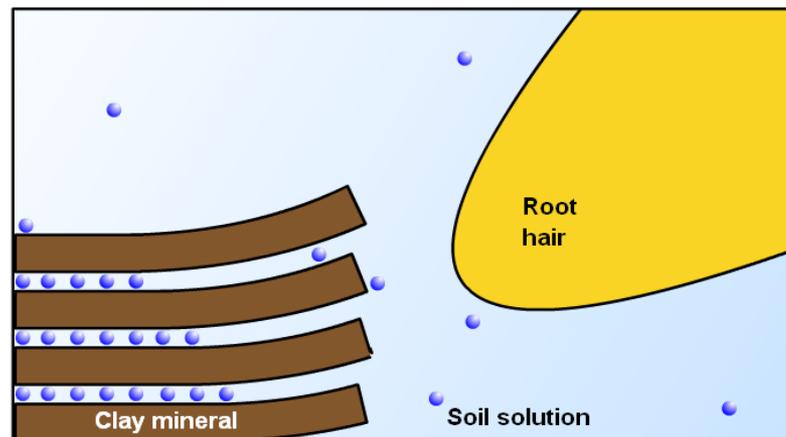
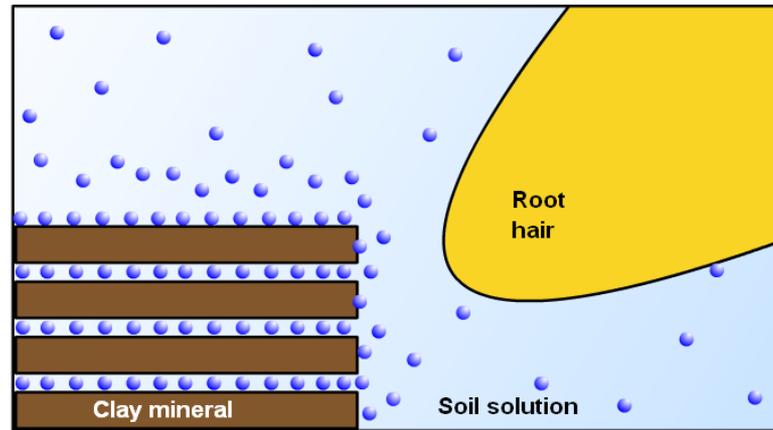
Catalyseur enzymatique	Neutralisation des charges	Osmoticum
<p data-bbox="112 544 668 591">Synthèse des protéines</p> <p data-bbox="112 686 471 729">Activité RUBISCO</p> <p data-bbox="112 768 542 811">Photophosphorylation</p> <p data-bbox="112 849 707 892">Synthèse d'ATP mitochondrial</p> <p data-bbox="112 931 455 973">Synthèse amidon</p>	<p data-bbox="826 544 1209 591">Co-transporteur</p> <p data-bbox="826 629 1267 729">(saccharose phloème, nitrates xylème ...)</p> <p data-bbox="846 782 1190 882">Régulation pH membranaire</p>	<p data-bbox="1300 539 1856 586">Maintien Φ turgescence</p> <p data-bbox="1354 625 1798 668">Régulation stomatique</p> <p data-bbox="1335 706 1818 749">Accroissement cellulaire</p>

K non substituable

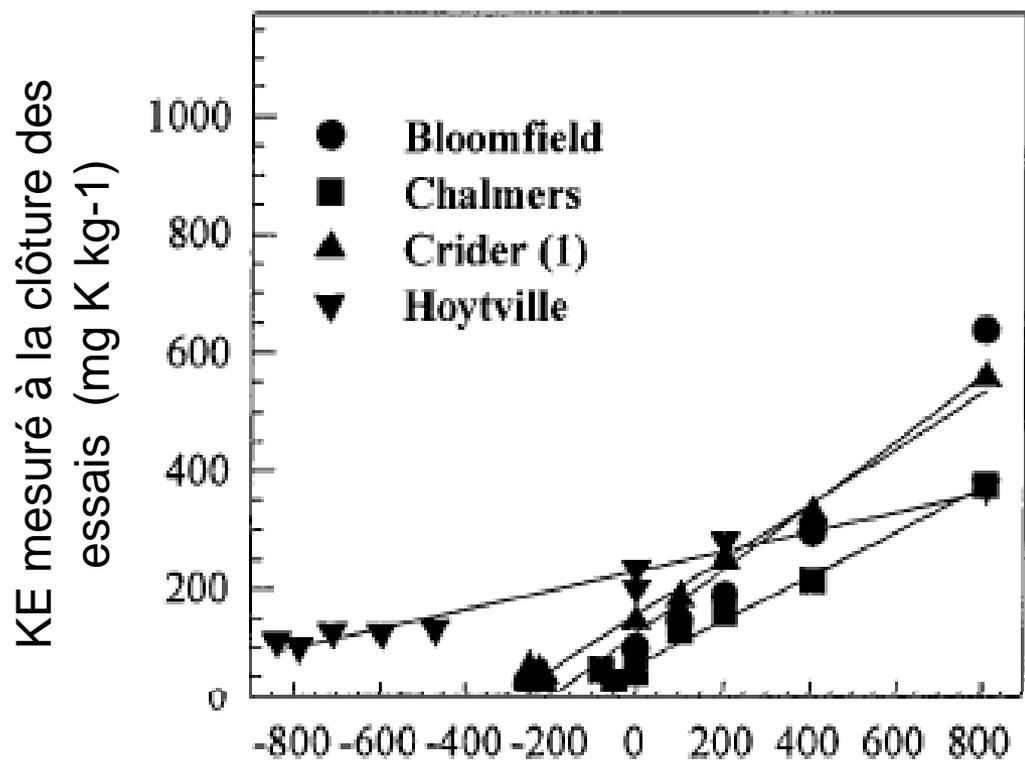
K substituable

Les théories qui font encore débat ...

1. Contribution du K fixé à la nutrition :
Comment la caractériser ? Le processus est-il continu ?



Comment caractériser la contribution du $K_{\text{fixé}}$ à la nutrition des plantes ?



Bilan de K sur la période des essais (mg K kg⁻¹)

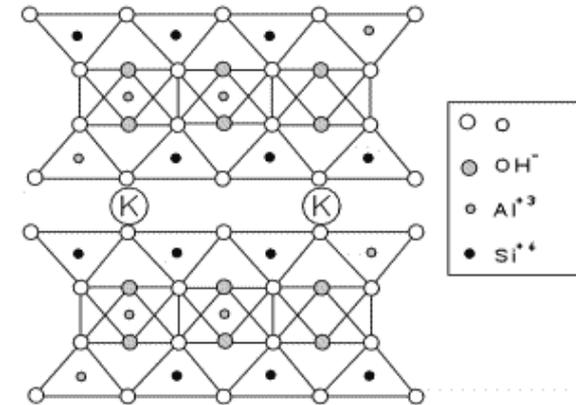
Les théories qui font encore débat ...

2. L'altération de la roche mère : vraiment négligeable ?



Micas

Muscovite $KAl_2AlSi_3O_{10}(OH)_2$



Feldspaths

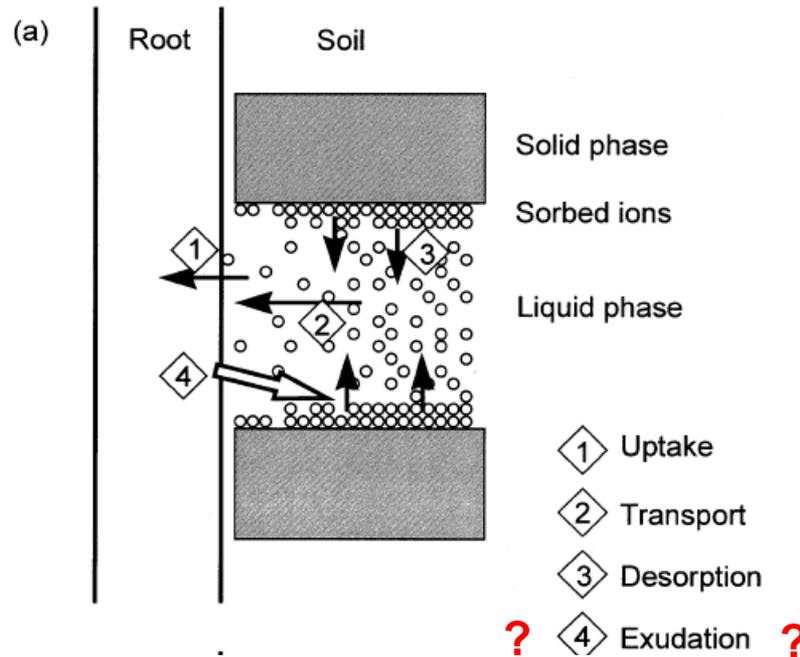
Orthoclase , Microcline : $KAlSi_3O_8$
Sanidine, Anorthoclase : $(K,Na)AlSi_3O_8$

L'altération de la roche mère : vraiment négligeable ?

Crop	Species/cultivar (where stated)	Mineral/rock	Trial type	Duration (months)	Agronomic benefits	Reference
Alfalfa	<i>Medicago sativa</i> L. cv Asta and cv Haifei	Gneiss	Pot	1.75	Insignificant	Wang et al., 2000
Clover	<i>Trifolium subterraneum</i>	Granite	Field/pot	12/1-1.5	Insignificant	Bolland and Baker, 2000
Clover	<i>Trifolium subterraneum</i> cv	Granite	Pot	5	<u>Increased yield and K uptake</u>	Coroneos et al., 1996
Grass	<i>Brachiaria dictioneura</i>	Feldspar (Ksp)	Field	14	Insignificant	Sanz-Scovino and Rowell, 1988
Grass	Italian ryegrass <i>Lolium multiflorum</i> L.	Gneiss	Pot	1.75	<u>Significant K mobilization</u>	Wang et al., 2000
Legume	<i>Pueraria phaseoloides</i>	Feldspar (Ksp)	Field	14	Insignificant	Sanz-Scovino and Rowell, 1988
Maize	<i>Zea mays</i> l. cv ND60	Gneiss	Pot	1.75	<u>Significant K mobilization</u>	Wang et al., 2000
Onions	<i>Allium cepa</i> , L.	Feldspar (Ksp)	Field	24	15% less yield than equivalent chemical fertiliser	Ali and Tallab, 2008
Pak choi	<i>Brassica campestris</i> L. ssp. <i>Chinensis</i> L.	Gneiss	Pot	1.75	<u>Significant K mobilization</u>	Wang et al., 2000
Rice	<i>Oryza</i> sp.	Phlogopite	Pot		<u>Increased grain yield</u>	Weerasuriya et al., 1993
Spruce	<i>Picea</i> sp.	Phonolite	Field	60	<u>Increased uptake</u>	Von Wilpert and Lukes, 2003
Tomatoes	<i>Solanum lycopersicum</i> : variety not stated	Feldspar (Ksp)	Field	12	<u>Increased yield</u>	Badr, 2006
Wheat	<i>Triticum aestivum</i>	Granite	Field/pot	12/1-1.5	Insignificant	Bolland and Baker, 2000
Wheat	<i>Triticum aestivum</i> cv Gutha	Granite	Pot	2.5	<u>Increased yield</u>	Hinsinger et al., 1996

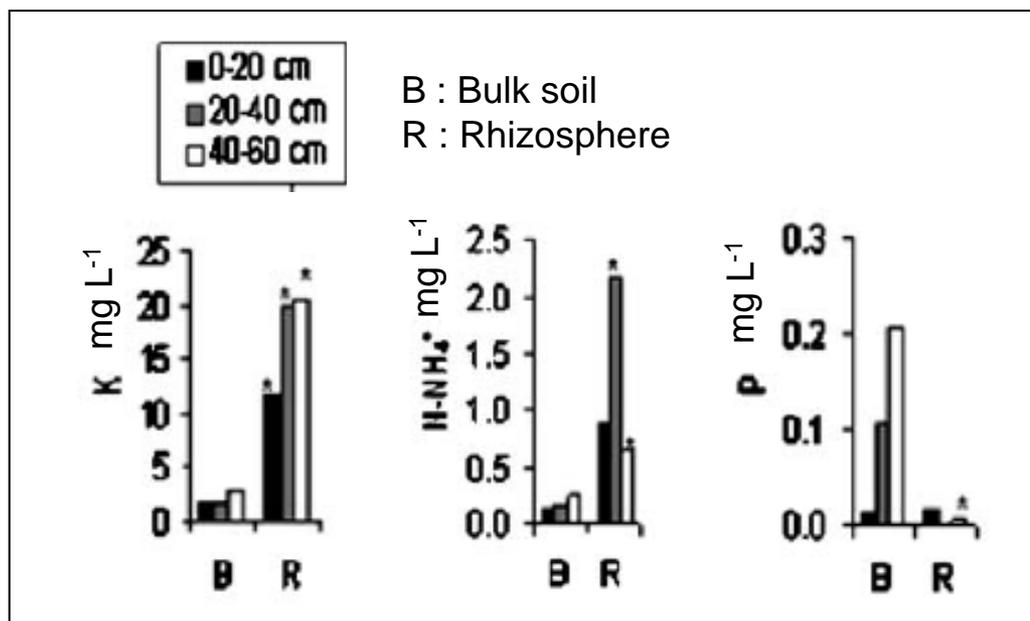
Les théories qui font encore débat ...

3. Pourquoi les modèles sous-estiment ils le prélèvement de K par certaines plantes dans les sols pauvres ?



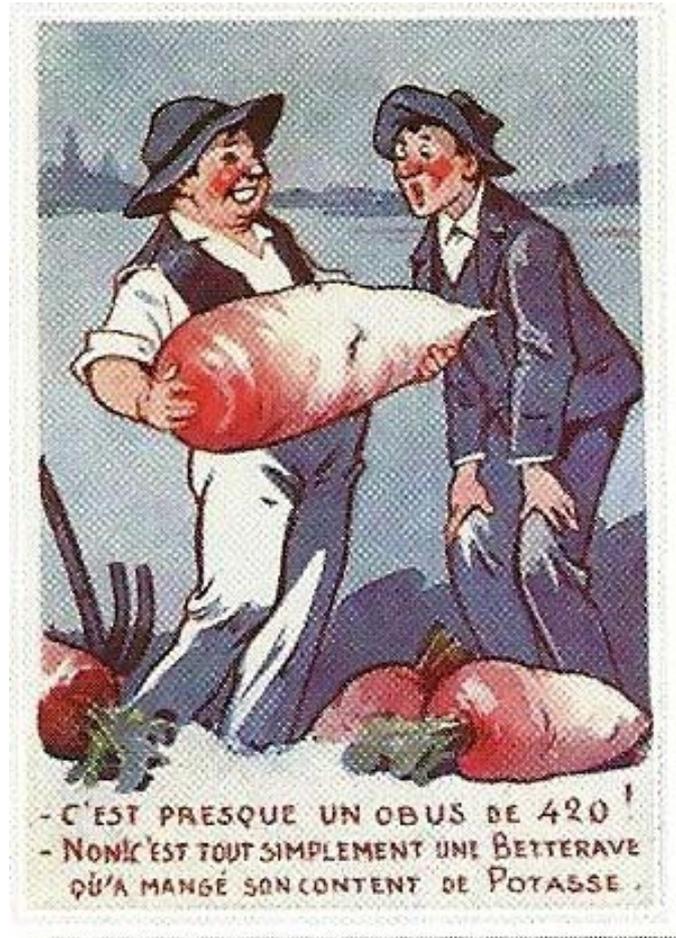
Pourquoi les modèles sous-estiment ils le prélèvement de K par certaines plantes dans les sols pauvres ?

- pouvoir tampon du sol mal évalué,
- non prise en compte de l'effet des poils absorbants et des mycorhizes,
- sous estimation de la capacité des plantes à adapter leurs capacités de prélèvement
- acidification de la rhizosphère
- ...

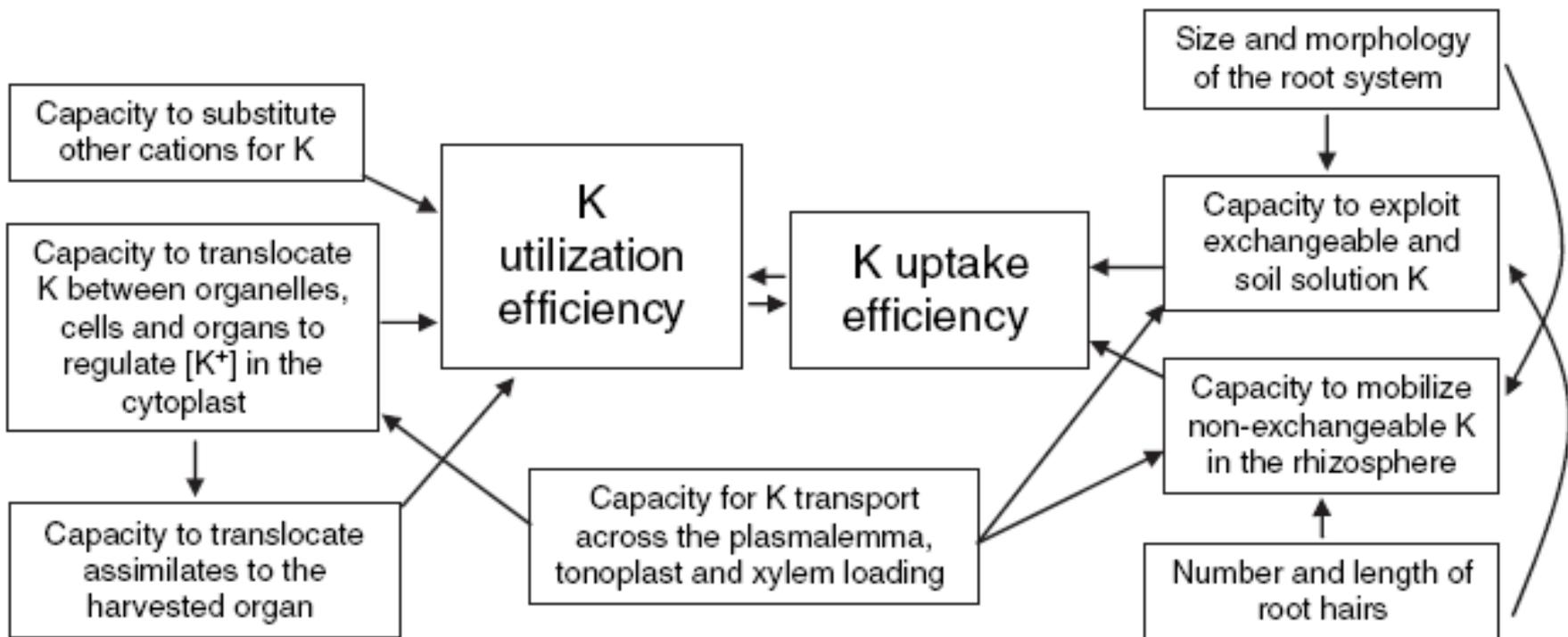


Quelles pistes de recherche explorer, ... et pour quoi faire ?

1. Proposer des critères de sélection des plantes basés sur l'efficience de prélèvement et d'utilisation du K

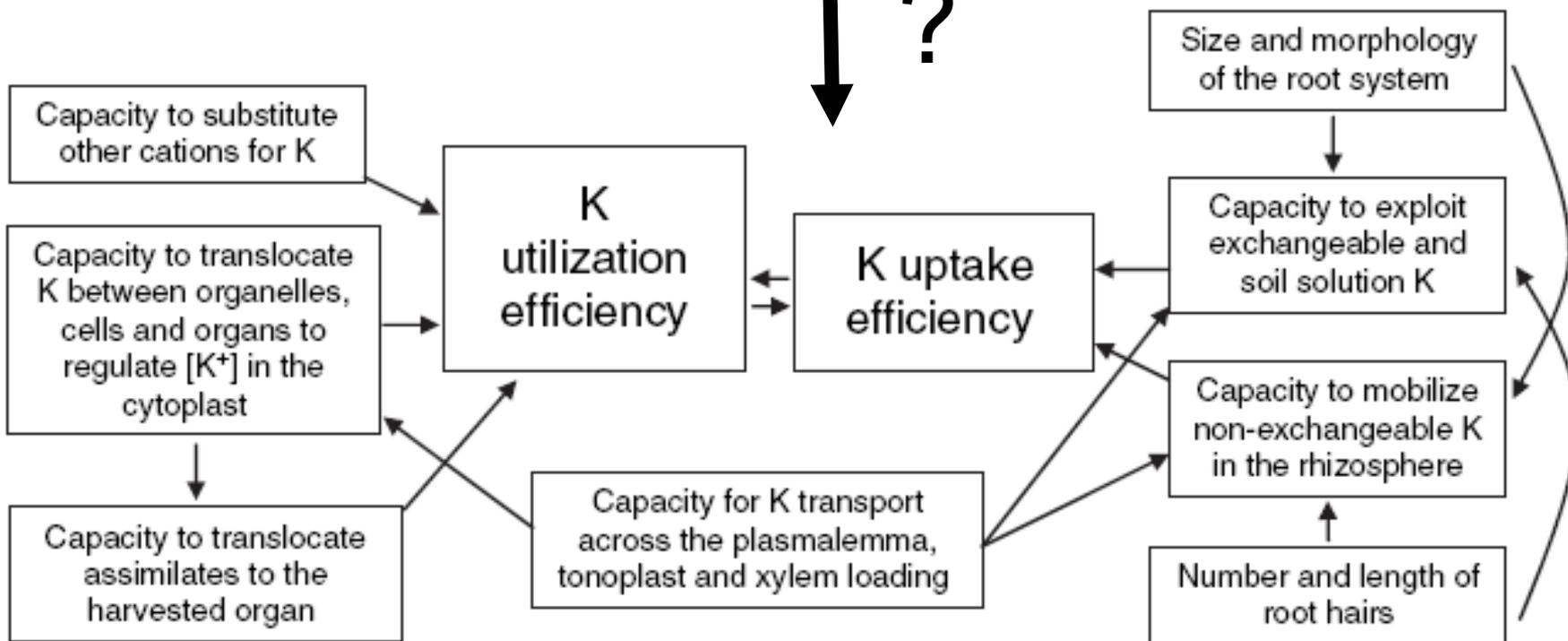
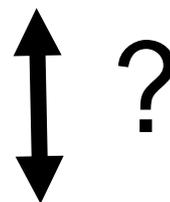


Proposer des critères de sélection des plantes basés sur l'efficacité de prélèvement et d'utilisation du K



Proposer des critères de sélection des plantes basés sur l'efficacité de prélèvement et d'utilisation du K

K₂O <i>Pour toute destination des résidus du précédent</i>	Cultures très exigeantes Betterave sucrière Pomme de terre	Moyennement exigeantes Colza - Maïs grain Pois - Tournesol Luzerne	Cultures peu exigeantes Blé tendre - Blé dur Orge - Avoine - Seigle
---	---	--	--



Quelles pistes de recherche explorer, ... et pour quoi faire ?

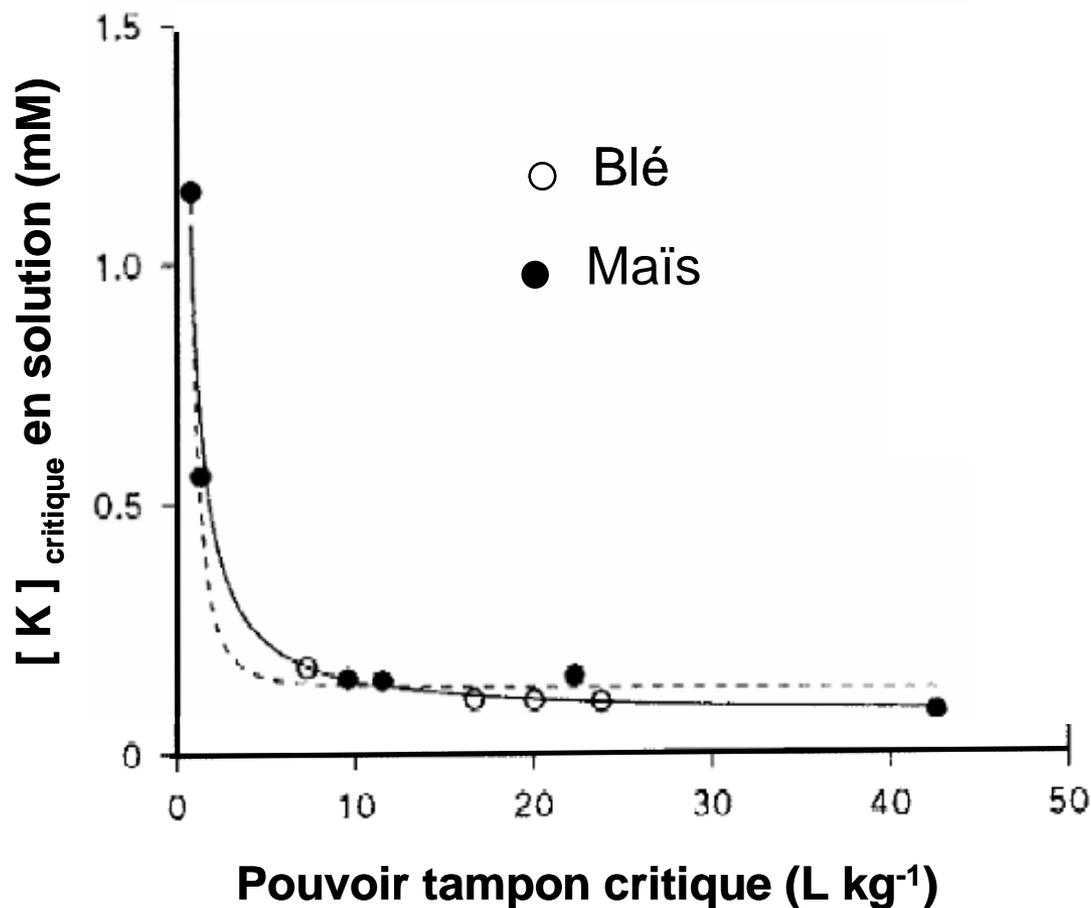
2. Affiner le raisonnement actuel de la fertilisation

K₂O extrait à l'acétate d'ammonium (ppm)

Type de sol	EXIGENCE des CULTURES			
	FAIBLE seuil imp.	MOYENNE		FORTE
		s. renf.	s. imp.	s.renf.
Argilo calcaire profond	180	200	300	250
Argilo calcaire sup	300	300	400	300
Argilo cal. très sup et caillx	450	400	600	450
Craies (champagne)	100	80	250	200
Limons (argile < 20 %)	150	120	180	170
Limons argileux	150	150	220	200
Sables	100	70	120	150

Affiner le raisonnement actuel de la fertilisation

Vers une approche plus mécaniste ?



Quelles pistes de recherche explorer, ... et pour quoi faire ?

3. Relations entre statuts hydrique et potassique chez les plantes



Quelles pistes de recherche explorer, ... et pour quoi faire ?

4. Comprendre et maîtriser les possibilités de substitution du K par du Na

Critical Reviews in Plant Sciences, 30:401–413, 2011
Copyright © Taylor & Francis Group, LLC
ISSN: 0735-2689 print / 1549-7836 online
DOI: 10.1080/07352689.2011.587728



Potassium Substitution by Sodium in Plants

Abdul Wakeel,^{1,2} Muhammad Farooq,³ Manzoor Qadir,^{4,5} and Sven Schubert¹

¹*Institute of Plant Nutrition, Interdisciplinary Research Center (IFZ), Justus Liebig University, Heinrich-Buff-Ring 26-32, 35392 Giessen, Germany*

²*Institute of Soil and Environmental Sciences, University of Agriculture, Faisalabad 38040, Pakistan*

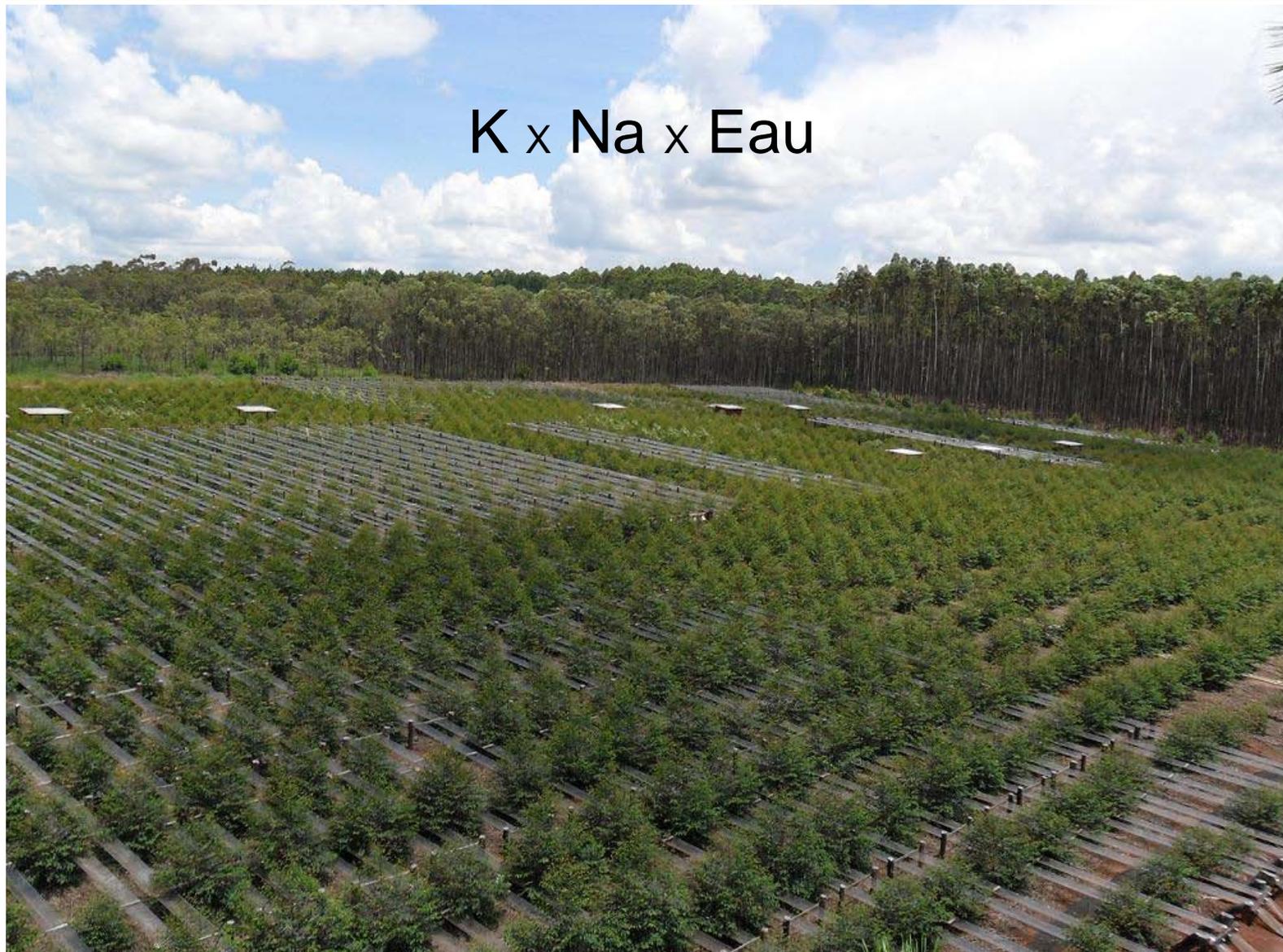
³*Department of Agronomy, University of Agriculture, Faisalabad 38040, Pakistan*

⁴*United Nations University Institute for Water, Environment and Health (UNU-INWEH), Hamilton, Ontario, Canada*

⁵*International Center for Agricultural Research in the Dry Areas (ICARDA) P.O. Box 5466, Aleppo, Syria*

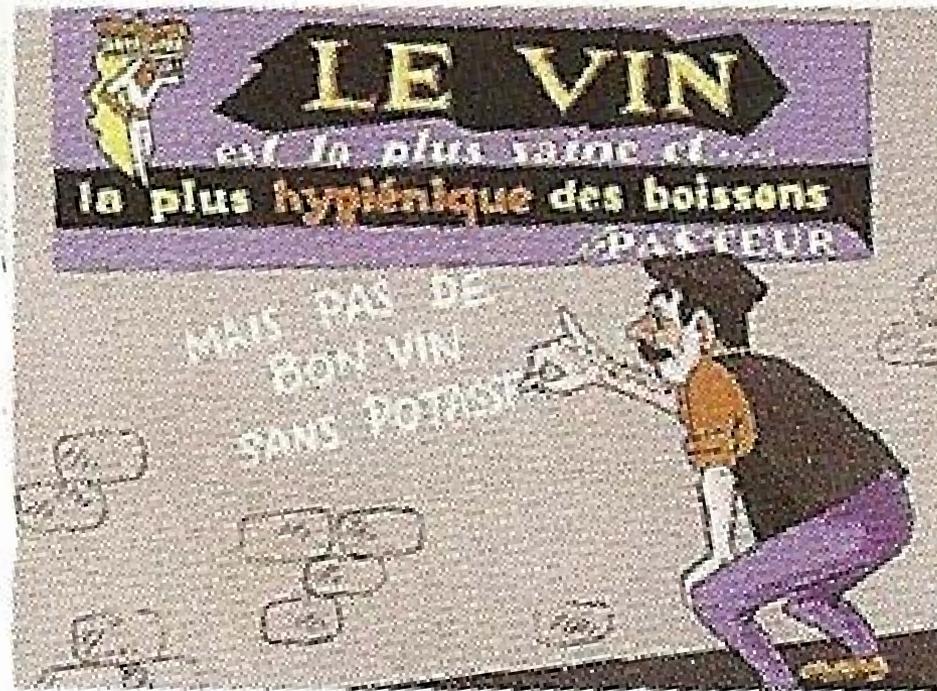
Comprendre et maîtriser les possibilités de substitution de K par du Na

K x Na x Eau



Quelles pistes de recherche explorer, ... et pour quoi faire ?

5. Identifier l'influence de la nutrition K sur la qualité des productions agricoles



UNIFA 2009

Quelles pistes de recherche explorer, ... et pour quoi faire ?

6. Comprendre les interactions entre statut K des plantes et leur sensibilité aux maladies et ravageurs

COVER INFORMATION:

- Organization: AU SERVICE DE L'AGRICULTURE
- Title: DOSSIER K_2O
- Issue: n° 12 Octobre 1978
- Main Title: LE POTASSIUM ET LA SANTÉ DES PLANTES
- Section: SOMMAIRE

SOMMAIRE	
Présentation, par Cl. FRICKER	2
Potassium et santé des plantes, par S. PERRENOUD	
Résumé	3
Introduction	5
Les facteurs exerçant une influence sur les effets du potassium	20

SCPA, 1978

Conclusions



Immenses surfaces carencées (durablement).



Géochimie relativement simple, $K_{éch}$: bon indicateur de biodisponibilité, mais uniquement des sols bien pourvus



L'ensemble des cations doit être désormais pris en compte pour comprendre les possibilités de substitution partielle (affiner les diagnostics) et affiner les impacts sur la qualité des produits.



Le raisonnement de la fertilisation peut être amélioré.



L'interaction "Alimentation K x Alimentation eau" devrait être clarifiée et faire l'objet d'approches technico-économiques.



Parallèlement aux études physiologiques, il faut (re)faire émerger une recherche plus agronomique.



strawberry
 recommendations
 characteristics extraction grapes
 cropping farming nutrition precision
sorghum plants response management soybean
sodium availability production Indian
 tropics nutrient fruits
 fields organic fertilizer grassland
pasture plant tomato fertility pH
Brassica growth farms
 dietary quality nitrogen manure
 fertilization sulfur balance phosphorus leaf palm
 leaves uptake rice spring
 sugar foliar crop soil yield balances
 mineral fruit fixation crops grain
 field potato efficiency
 humate water application maize sources
magnesium calcium wheat genotypes
 sustainable long-term physiological
 leaching integrated productivity
cotton phosphonate

World it out

Conséquences d'une déficience en K, selon l'échelle

Échelle concernée
par la carence

Conséquences

Intercations avec
facteurs biotiques et
abiotiques

Cellulaire

↑ teneurs en sucres solubles,
↓ teneur en eau, ↓ turgescence,
↓ ajustement stomatique
↓ élasticité pariétale,
↓ vitesse d'expansion cellulaire

Plante/organes

↓ Surface, durée de vie foliaire,
↓ assimilation, ↓ rythme dvpt,
↓ assimilation NO_3^-

Culture

↓ Indice foliaire,
↓ Racines primaires,
↑ Poils absorbants
↓ Production et allocation C

Récolte

↓ Rdt, ↓ % fibre, huile, sucres
↓ Indice récolte

Infections
Attaques parasitaires
Maladies

X Stress

Sécheresse,
Chaleur excessive,
Gel,
Carences minérales

Comment caractériser la contribution du K_{fixé} à la nutrition des plantes ?

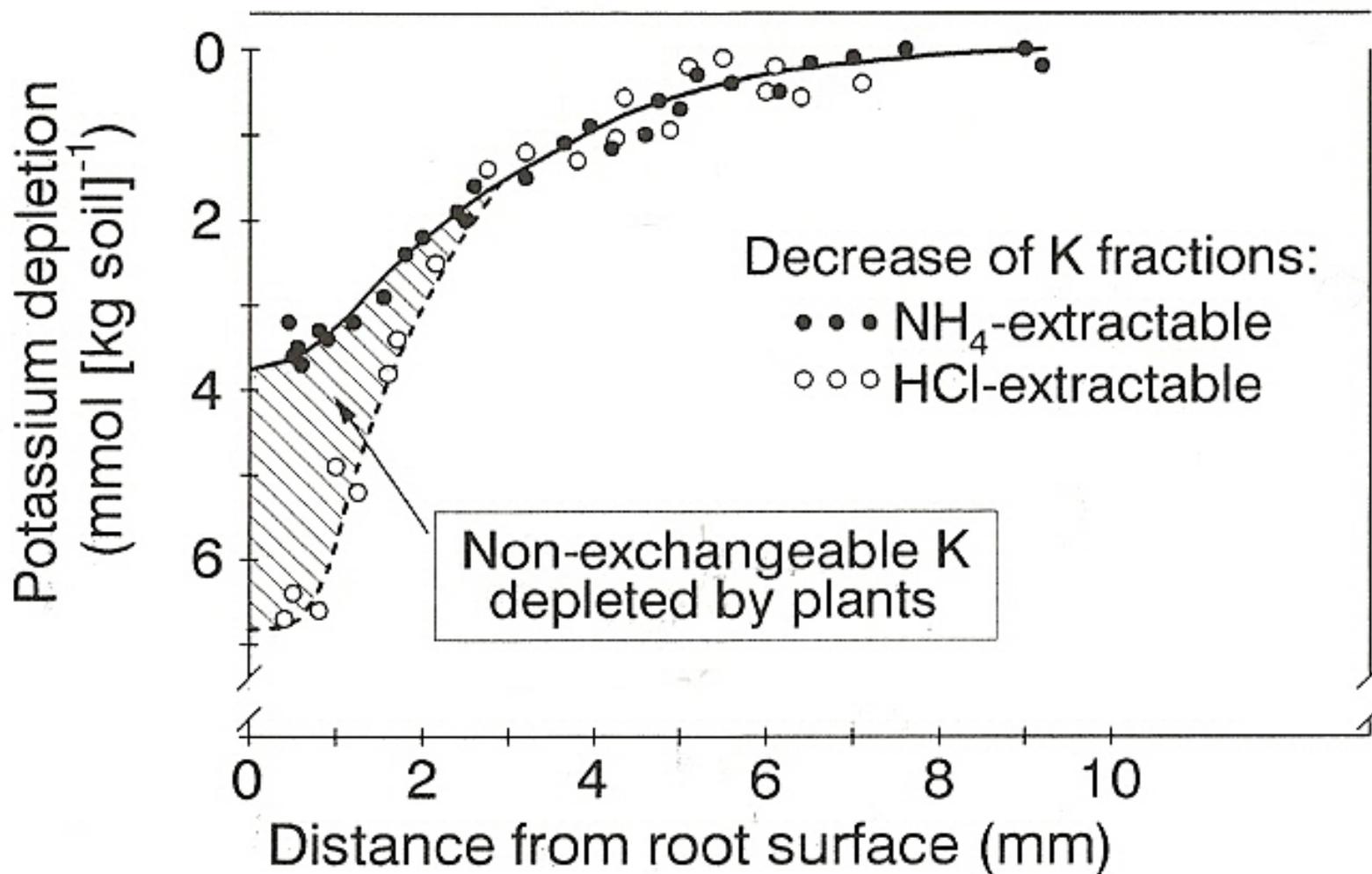
	K yield 1st yr	K yield 2nd yr	K yield 3rd yr
NH ₄ Acetate Lactate	0.34**	0.19 ^{ns}	0.09 ^{ns}
NH ₄ oAc	0.29*	0.10 ^{ns}	0.04 ^{ns}
0.01 M CaCl ₂	0.28*	0.07 ^{ns}	0.03 ^{ns}
0.5 M NaHCO ₃	0.29*	0.11 ^{ns}	0.04 ^{ns}
2 M HCl	0.58***	0.33*	0.25*
2 M HCl – AL	0.59***	0.47**	0.54**
0.1 M HNO ₃	0.51***	0.39**	0.41**
0.1 M HNO ₃ – AL	0.51***	0.53***	0.66***
0.5 M HNO ₃	0.36**	0.36**	0.61***
1 M HNO ₃	0.20 ^{ns}	0.22*	0.63***
2 M HNO ₃	0.20 ^{ns}	0.23*	0.62***

Ogaard and Krogstad 2005

*, **, *** significant at 5%, 1%, and 0.1% levels of probability, ns not significant.

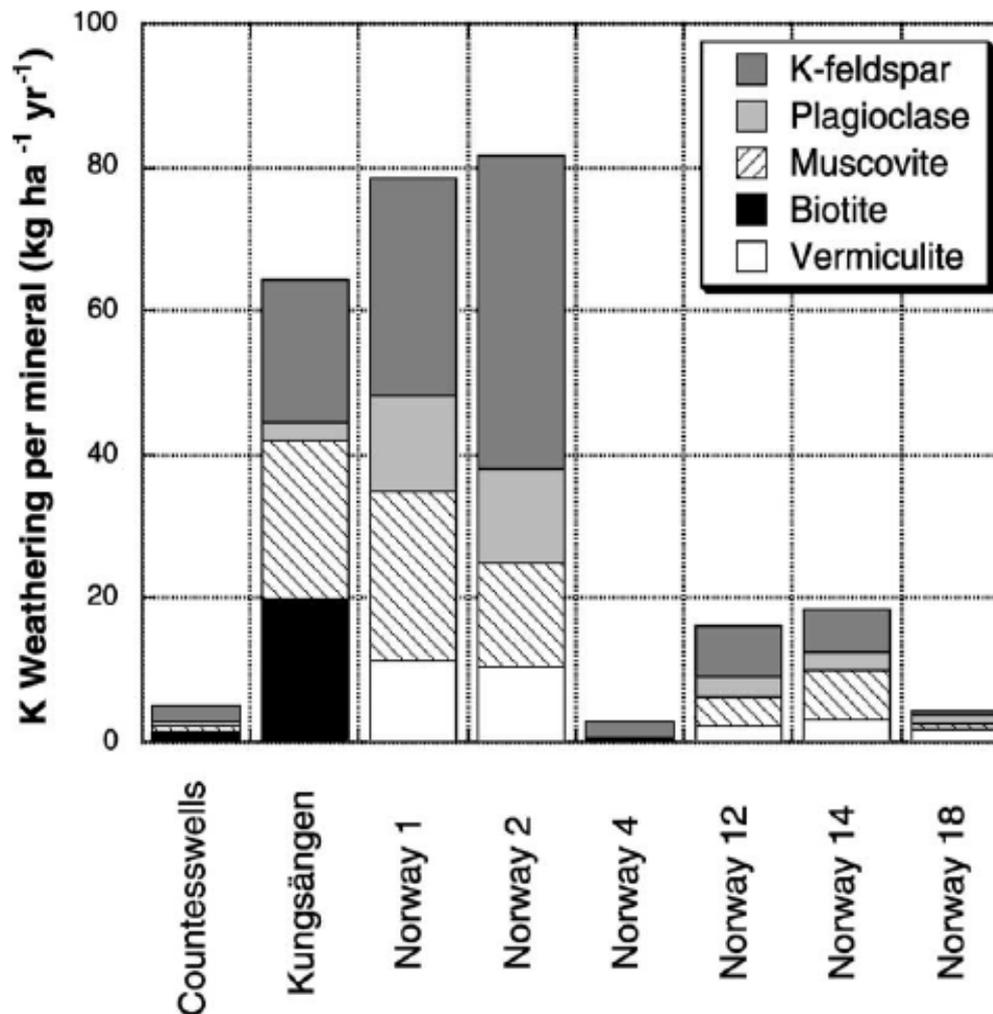
Coefficients de détermination (R²) établis sur la relation entre le K extrait chimiquement et une mesure de rendement, durant 3 ans.

La contribution du $K_{\text{fixé}}$ n'intervient-elle qu'en dessous d'un seuil ?



Barber 1985

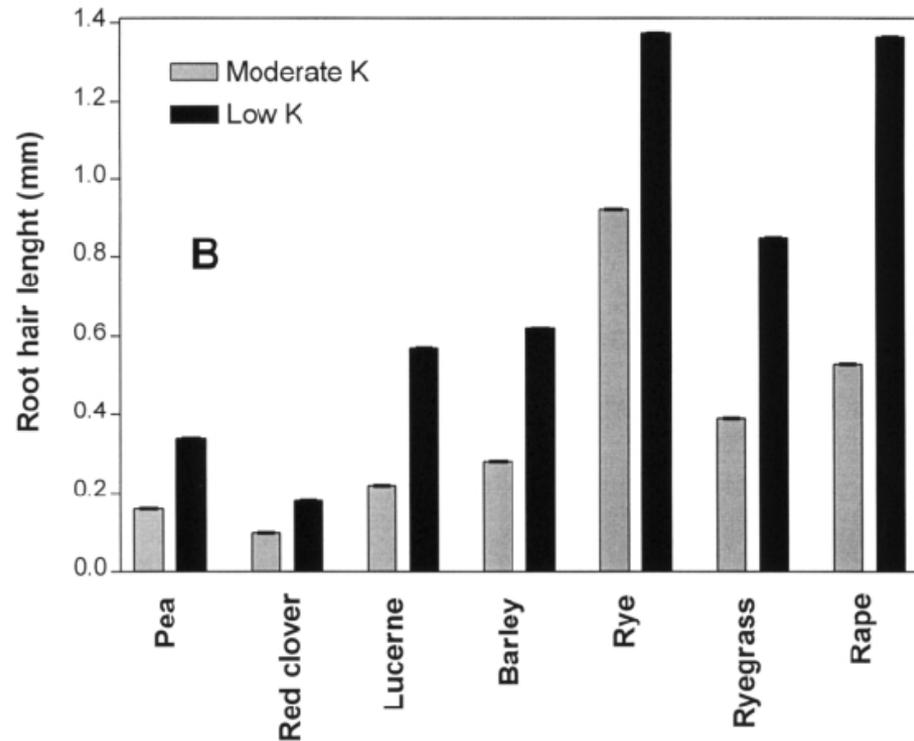
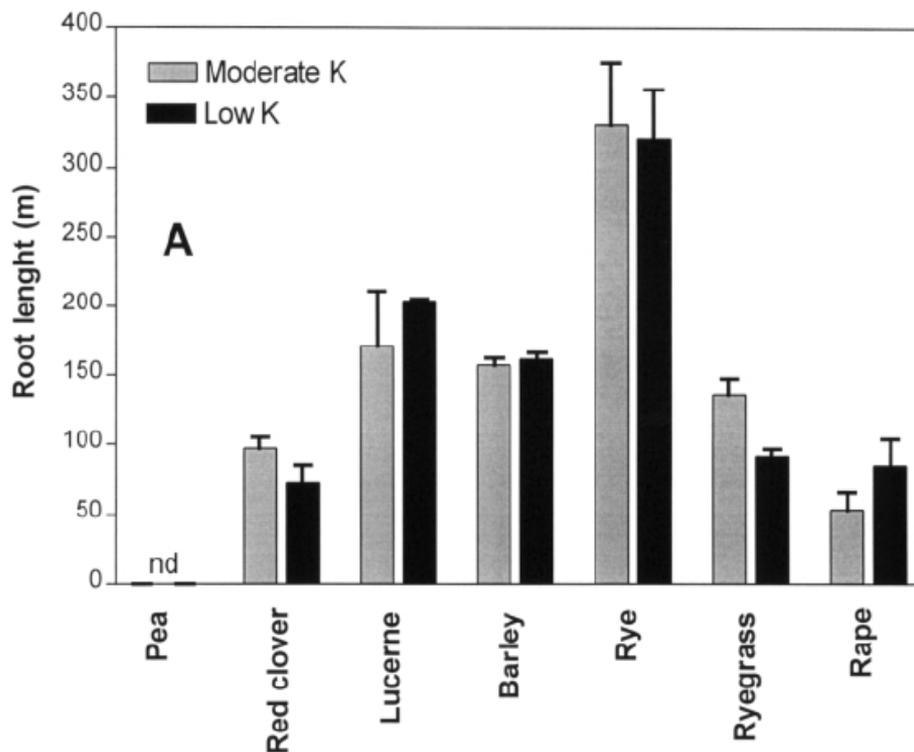
L'altération de la roche mère : vraiment négligeable ?



Histogramme montrant l'altération du K des minéraux primaires, selon les stations, calculée par le modèle PROFILE

Pourquoi les modèles sous-estiment ils le prélèvement de K par certaines plantes dans les sols pauvres ?

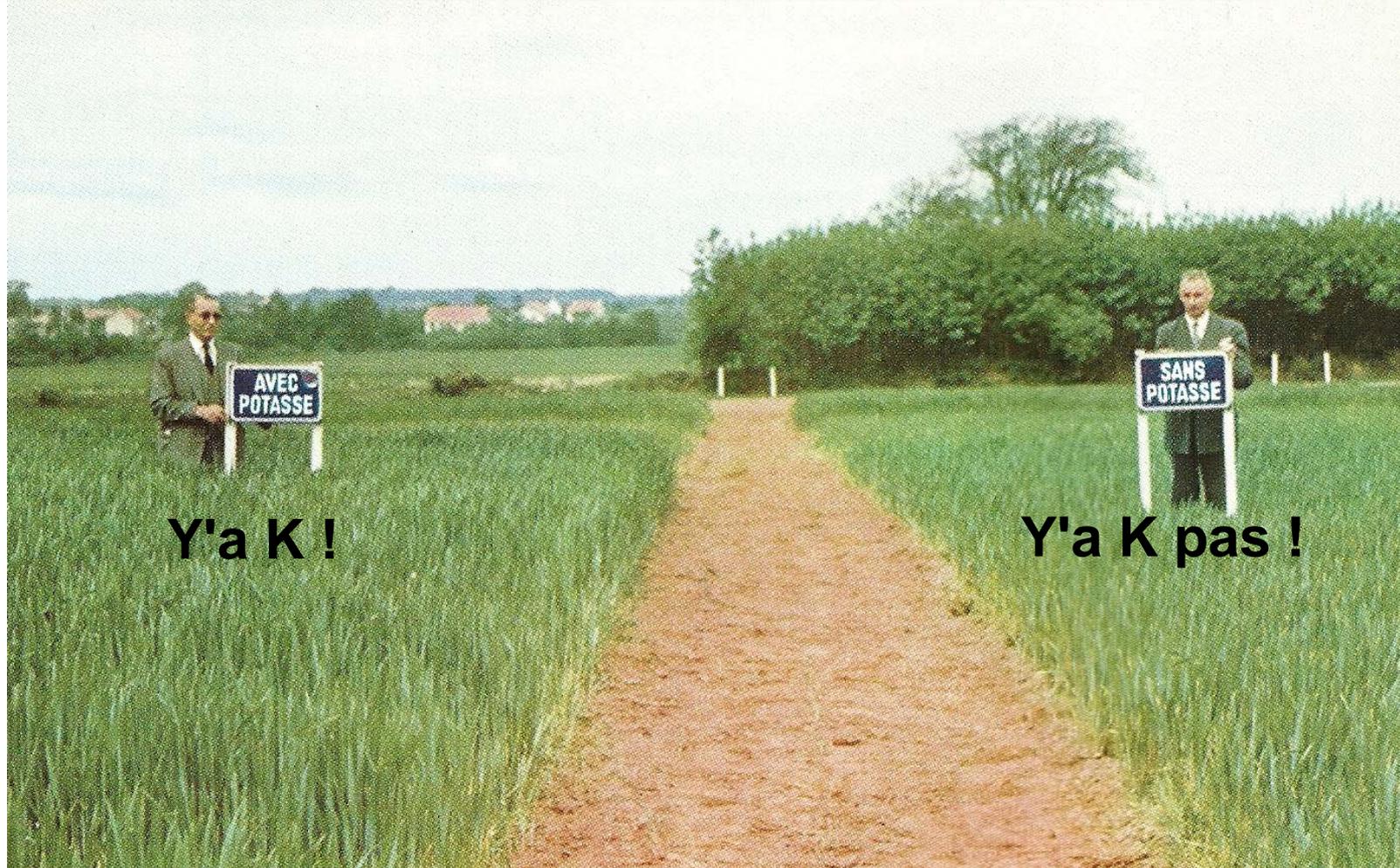
- pouvoir tampon du sol mal évalué,
- non prise en compte de l'effet des poils absorbants et des mycorhizes,



Hogh-Jensen and Pedersen 2003

Les théories qui font encore débat ...

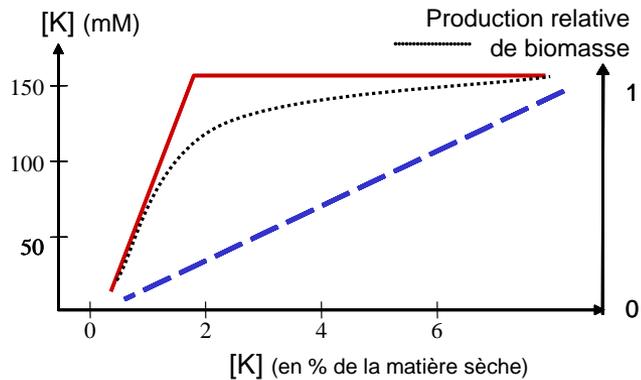
4. Comment modéliser l'effet de la carence en K sur les plantes ?



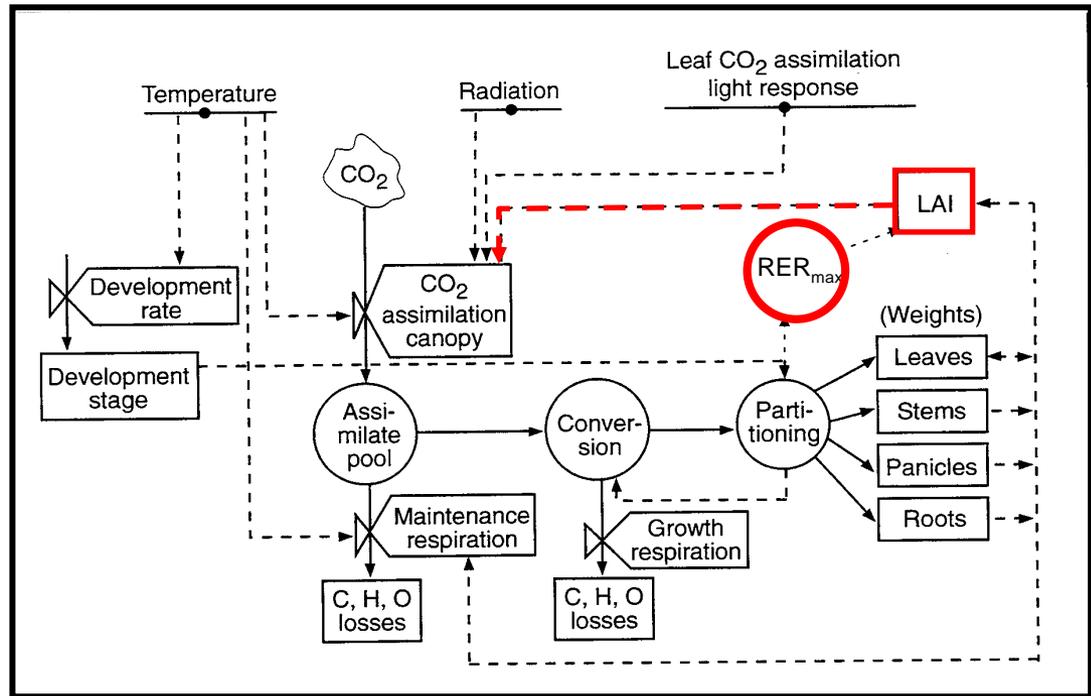
Comment modéliser l'effet de la carence en K sur les plantes ?

A. L'hypothèse de l'eau

Leigh et Jones 1984

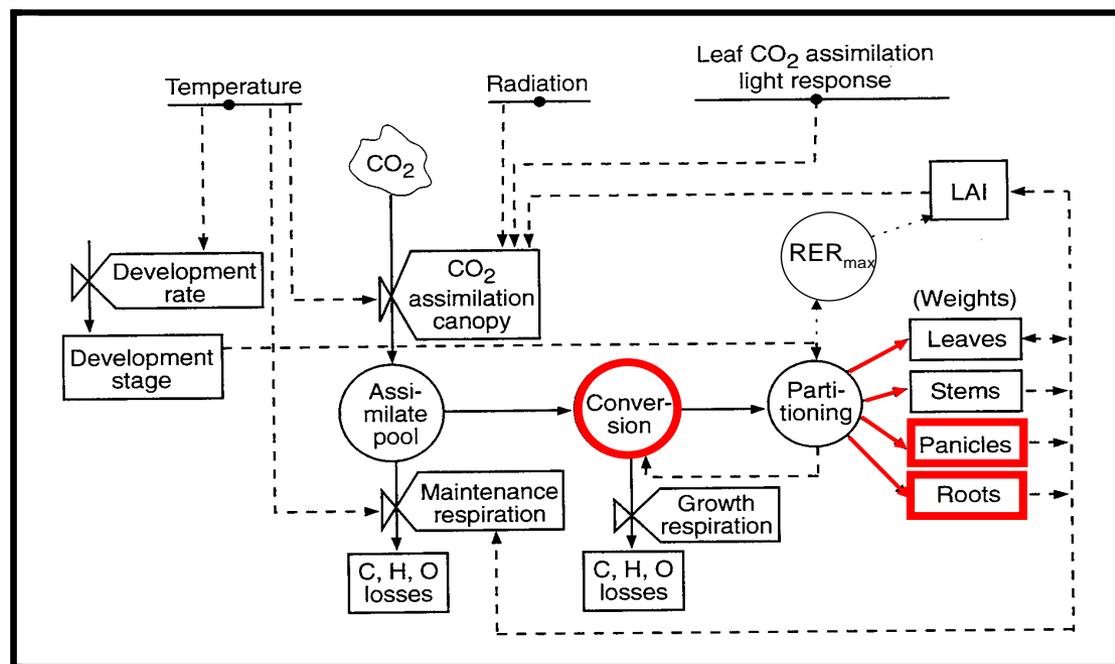
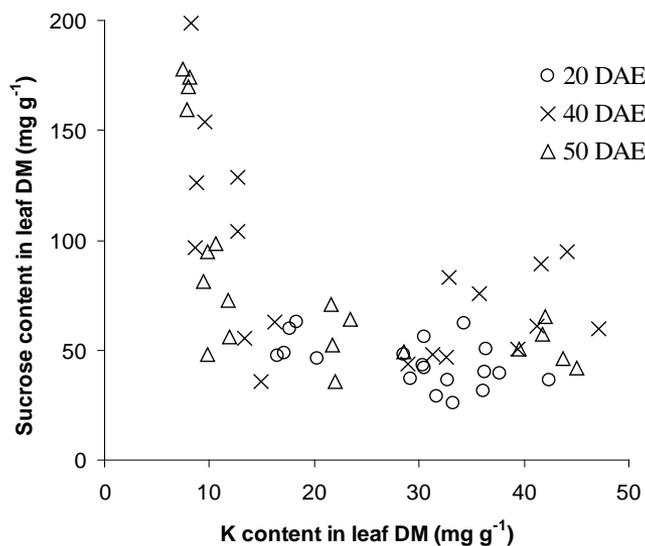


- — K_{vacuoles} : Fonctions bio-physiques, substitution possible
- — $K_{\text{cytoplasme}}$: Fonctions bio-chimiques, K non substituable



Comment modéliser l'effet de la carence en K sur les plantes ?

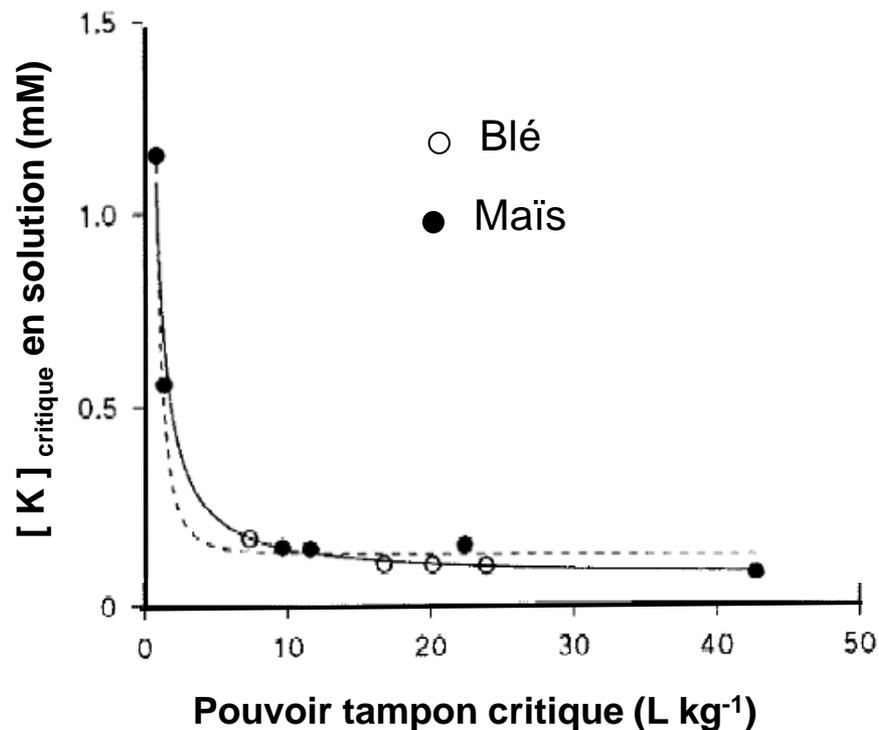
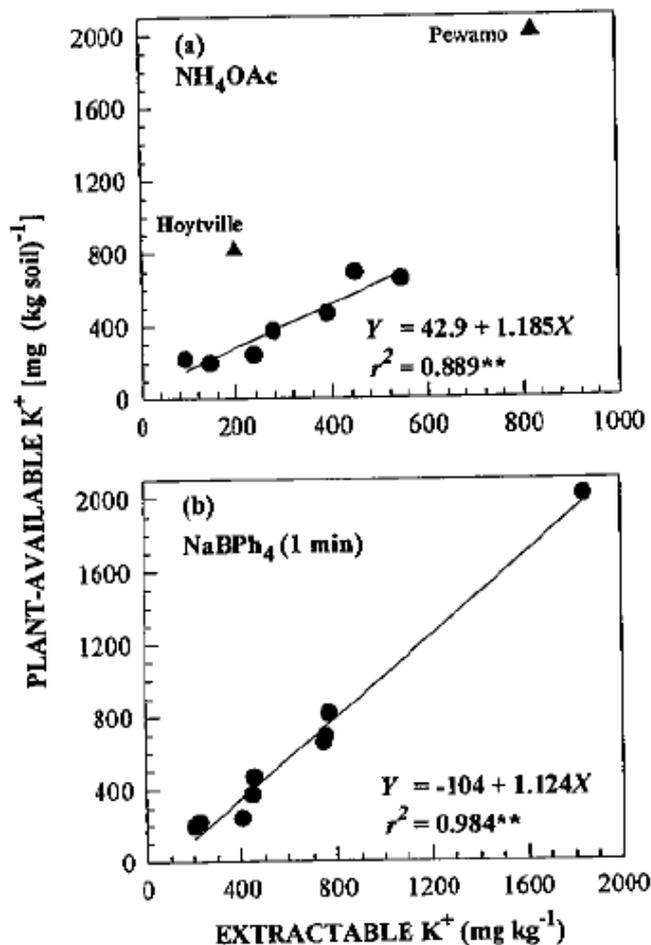
B. L'hypothèse des sucres



Affiner le raisonnement actuel de la fertilisation

Un meilleur réactif que NH_4OAc ?

Une approche plus mécaniste ?



Cox et al. 1999

Schneider et al. 2003

Proposer des critères de sélection des plantes basés sur l'efficience de prélèvement et d'utilisation du K

K₂O

Pour toute destination des résidus du précédent

Cultures très exigeantes

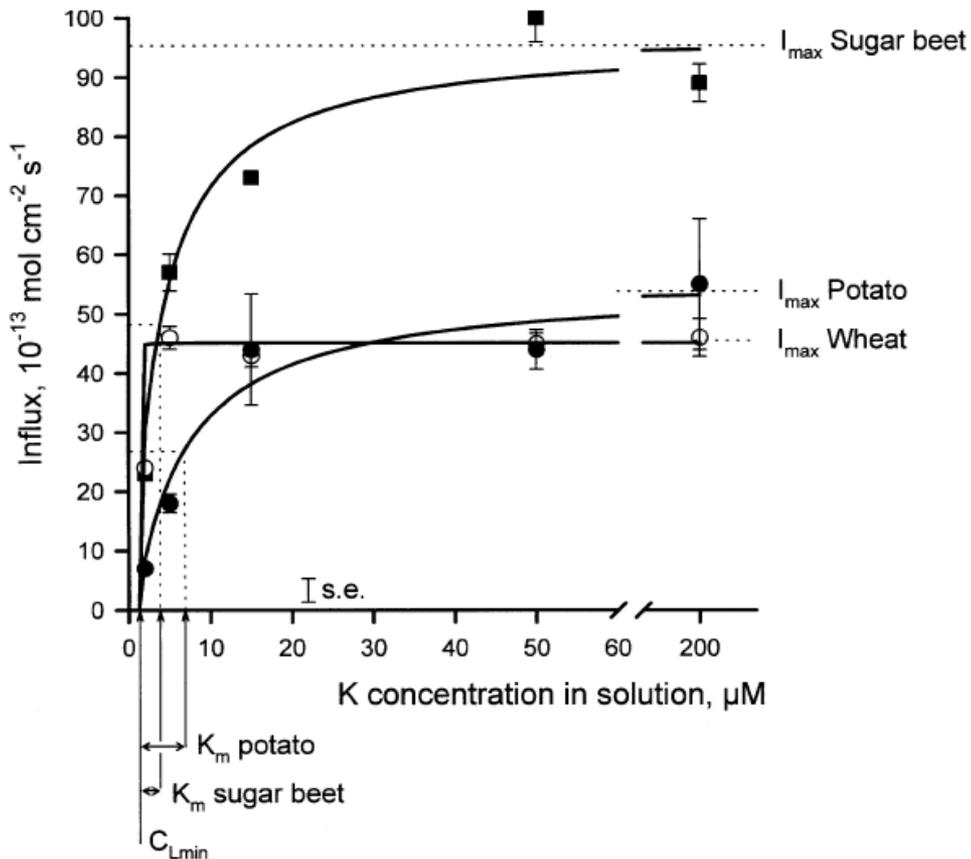
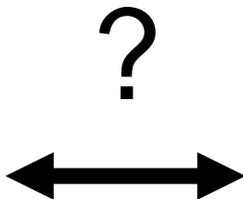
Betterave sucrière
Pomme de terre

Moyennement exigeantes

Colza - Maïs grain
Pois - Tournesol
Luzerne

Cultures peu exigeantes

Blé tendre - Blé dur
Orge - Avoine - Seigle



Steingrobe et Claassen, 1999

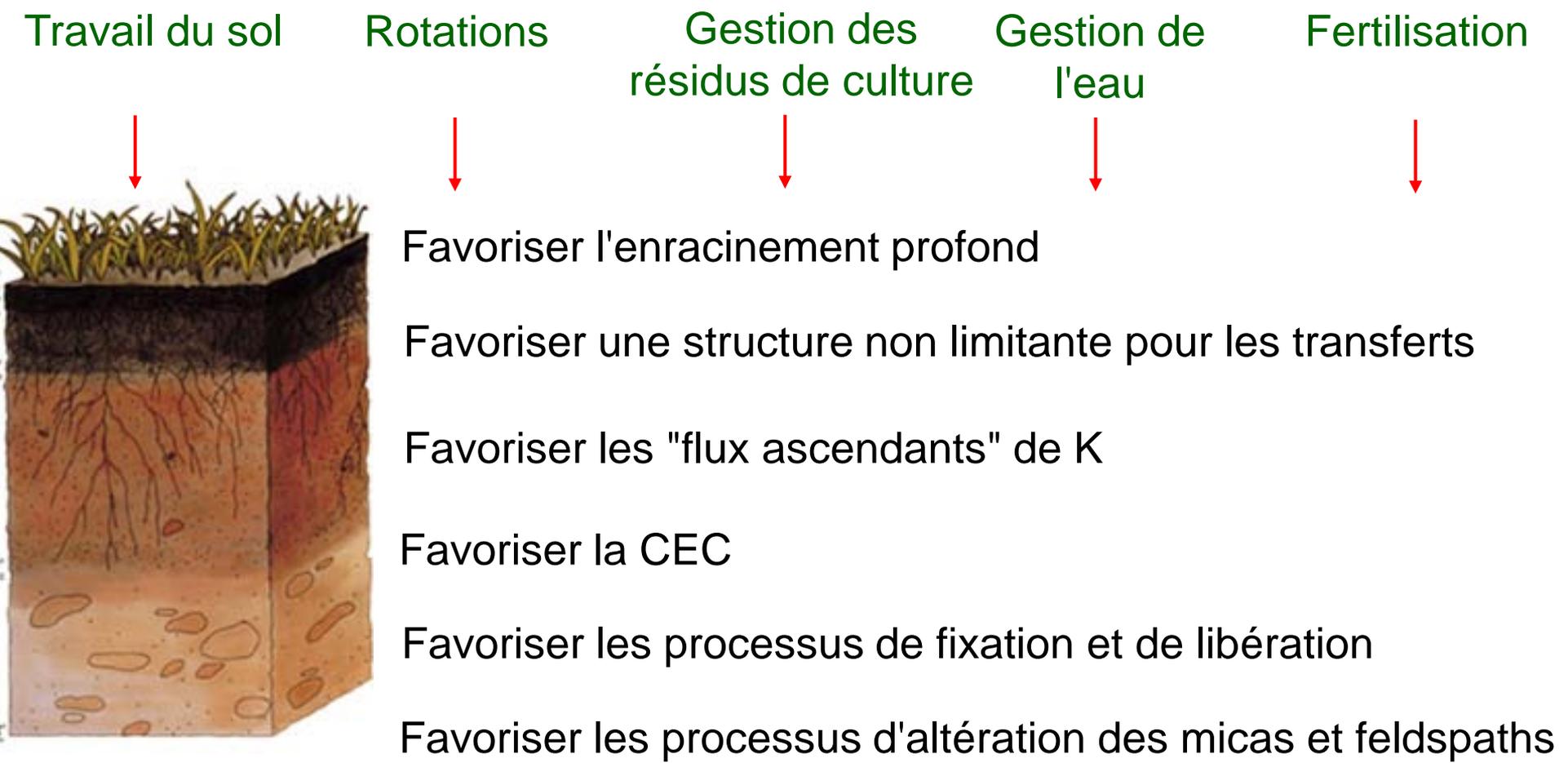
... et rendre plus explicite le classement des cultures en "classes d'exigences" du COMIFER

Quelles pistes de recherche explorer, ... et pour quoi faire ?

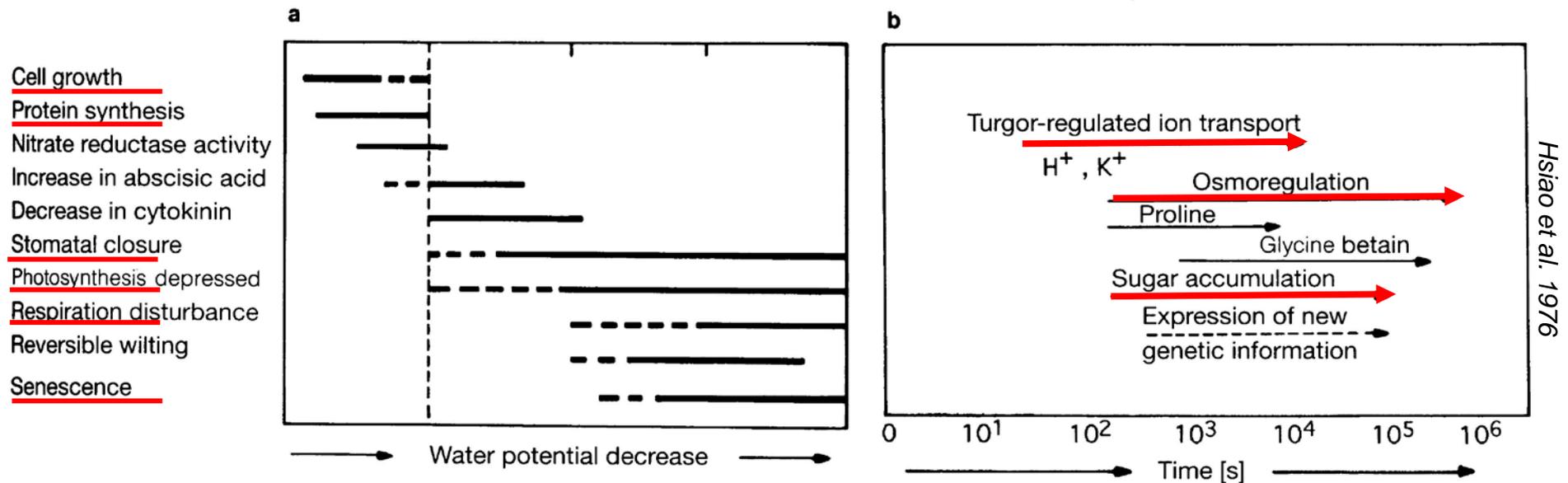
2. Concevoir des systèmes de culture performants vis-à-vis de la ressource en K



Concevoir des systèmes de culture performants vis-à-vis de la ressource en K



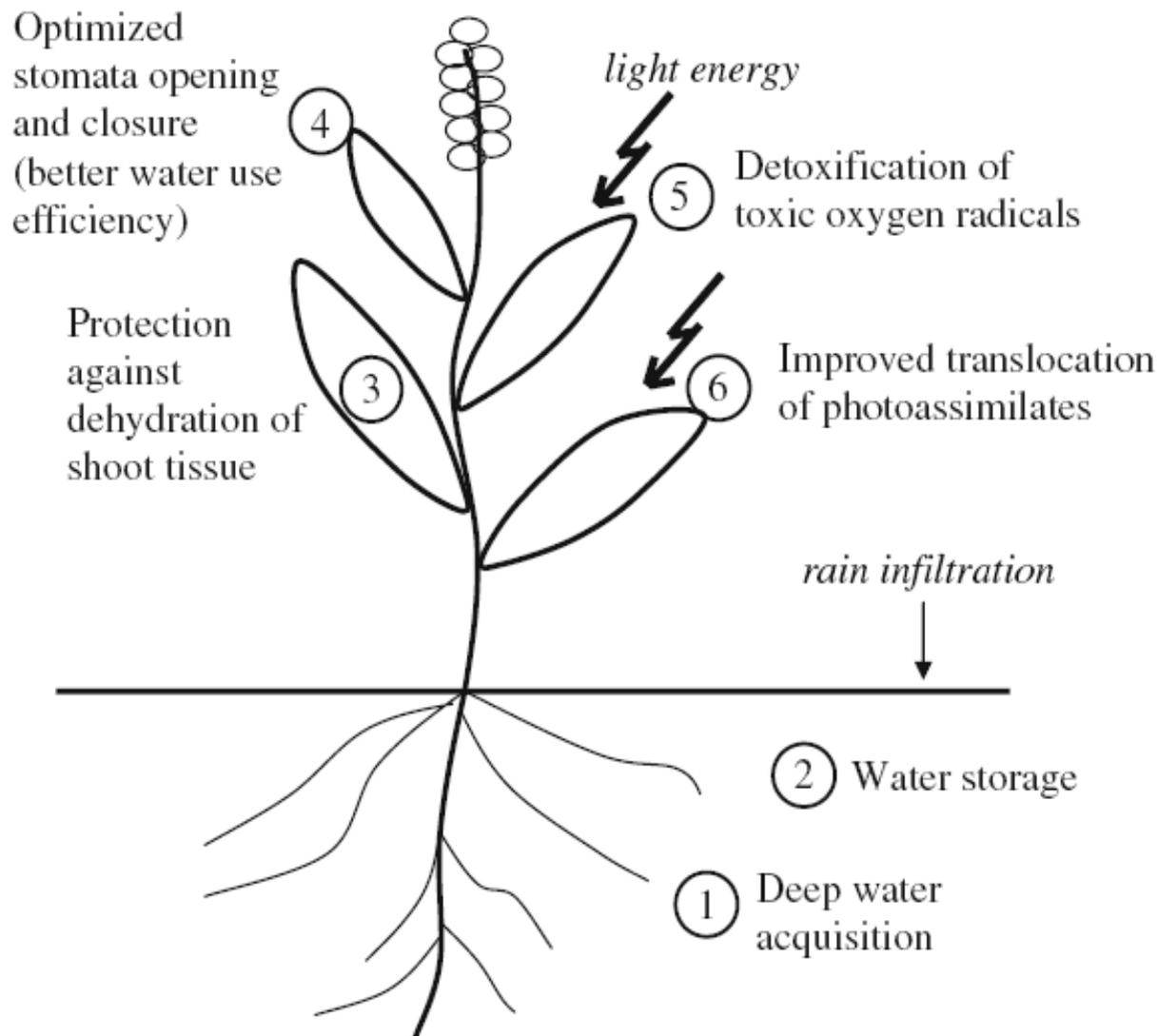
Relations entre statuts hydrique et potassique chez les plantes



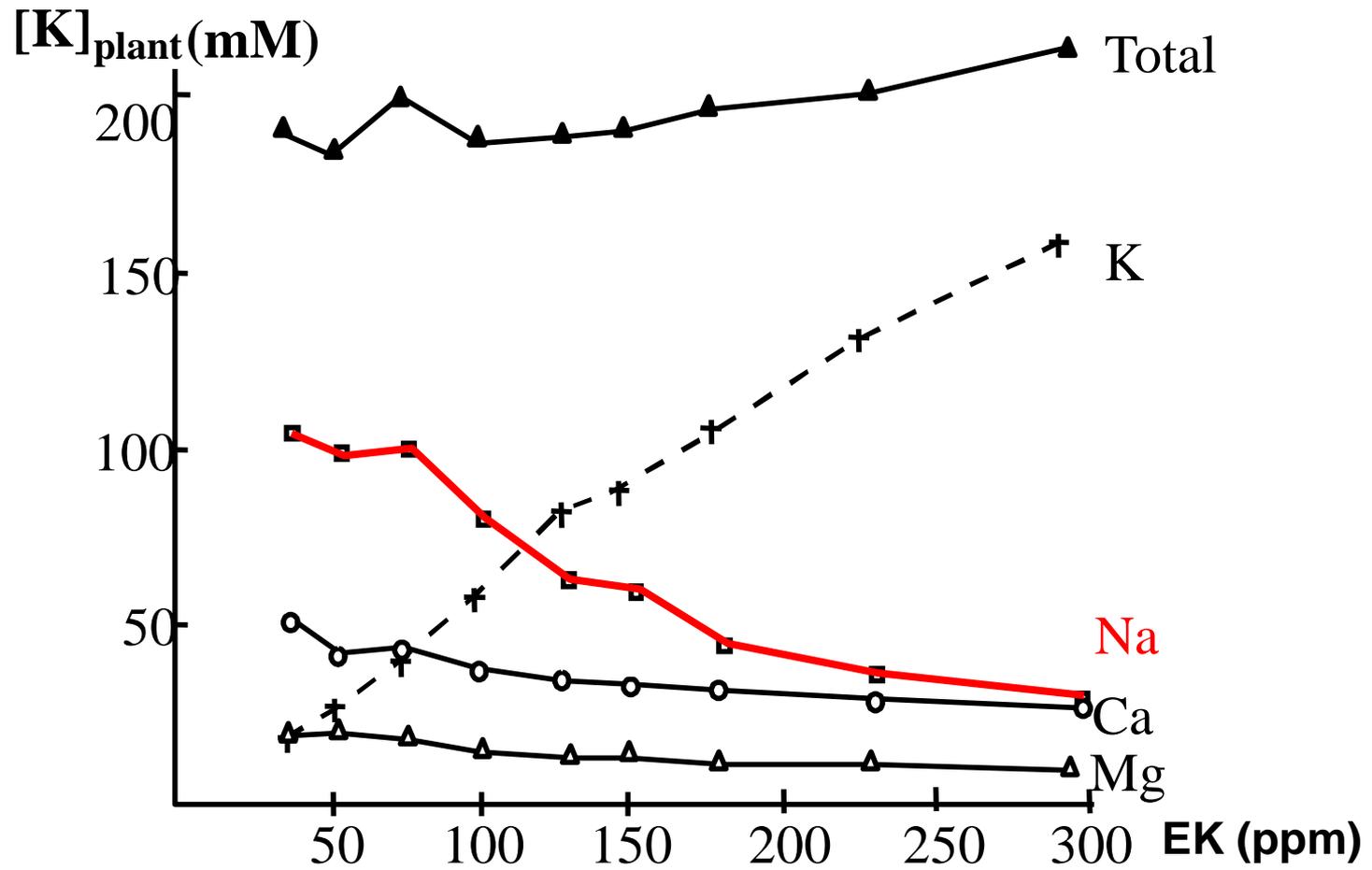
Processus physiologiques touchés par le stress hydrique (a) et réponses de la plante (b)

Similarités avec le stress K

Relations entre statuts hydrique et potassique chez les plantes

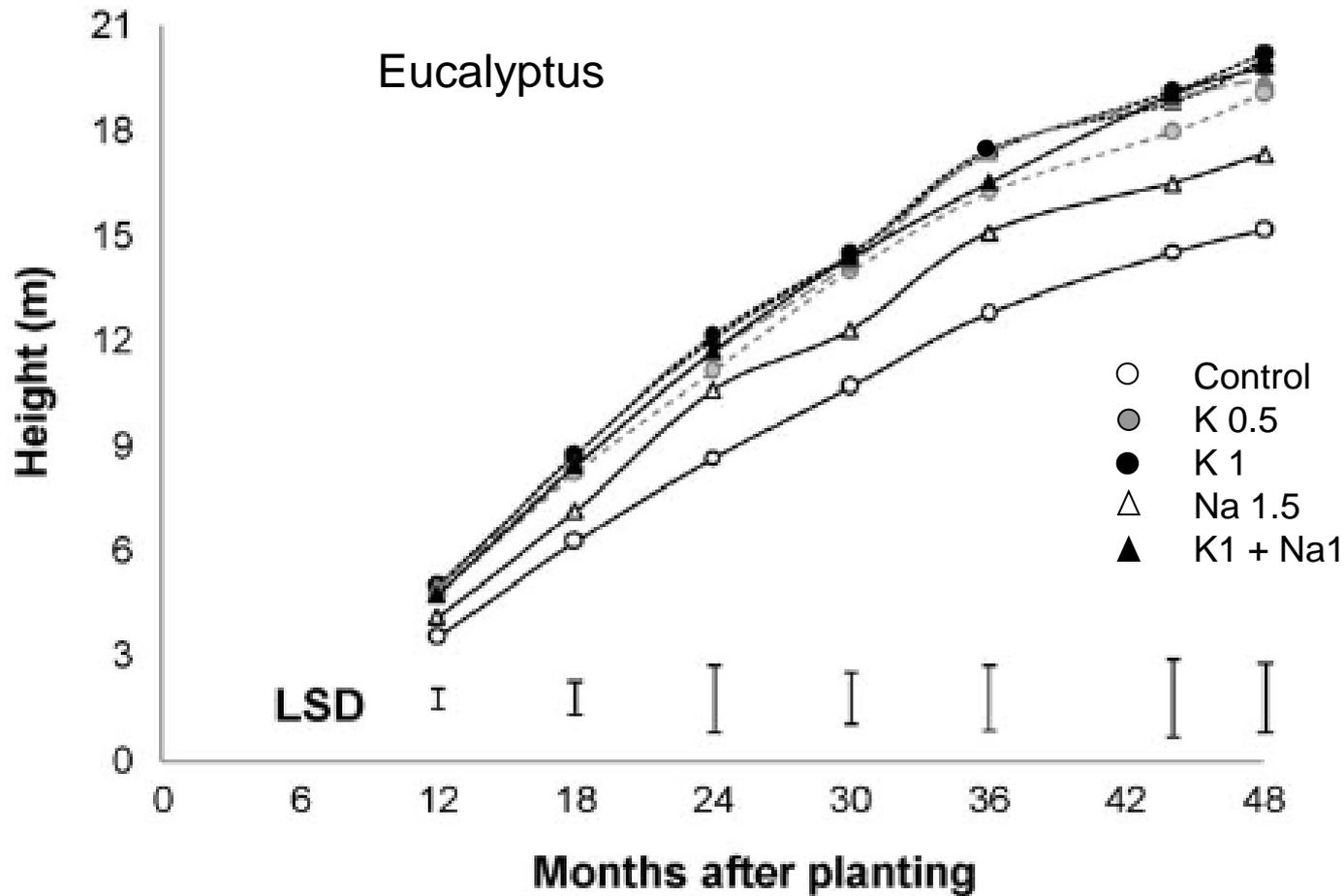


Comprendre et maîtriser les possibilités de substitution de K par du Na



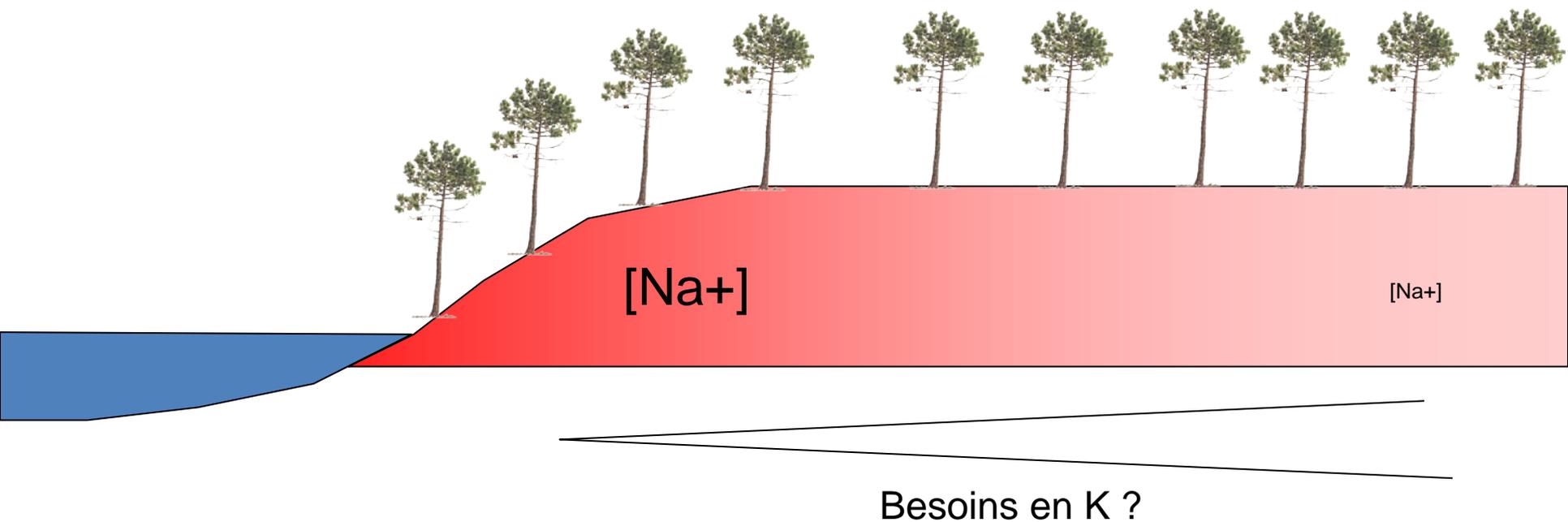
Leigh et al. 1986

Comprendre et maîtriser les possibilités de substitution de K par du Na

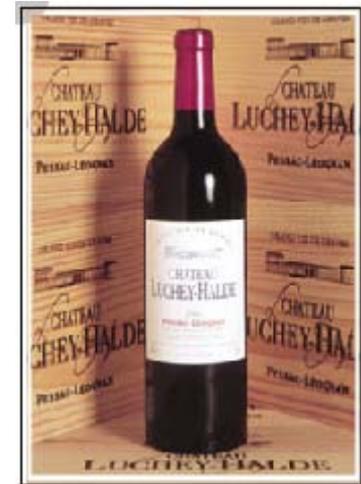
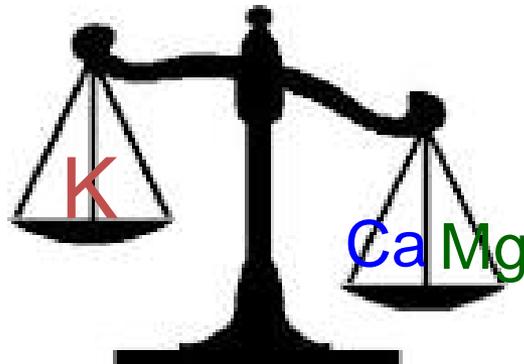
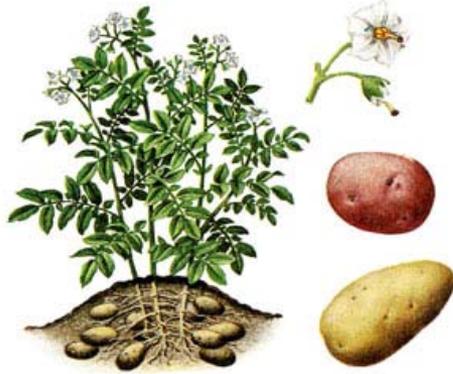


Almeida et al. 2010

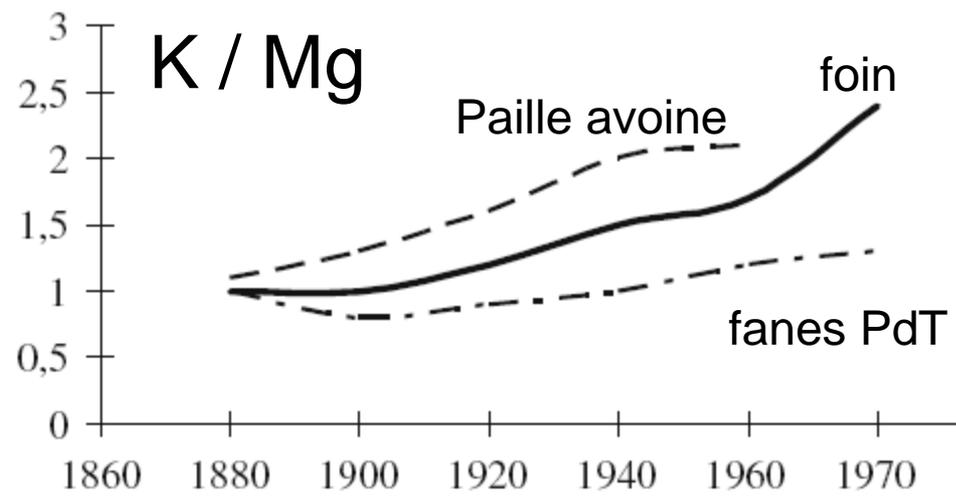
Comprendre et maîtriser les possibilités de substitution de K par du Na



Identifier l'influence de la nutrition K sur la qualité des productions agricoles



Identifier l'influence de la nutrition K sur la qualité des productions agricoles



Römheld and Kirkby 2010

Comprendre les interactions entre statut K des plantes et leur sensibilité aux maladies et ravageurs

Host plant	Disease	Pathogen	K effect	References
Apple	Gleosporium fruit rot	<i>Pezicula malicorticis</i> (Jacks) Nannf.	Increase	Schulz (1976)
Apricot <i>Prunus armeniaca</i> L.	Brown rot	<i>Sclerotinia fructicola</i> (Wint.) Rehm	Decrease	Wade (1956)
Aspen <i>Populus tremuloides</i> Michx.	Canker	<i>Hypoxylon mammatum</i> (Wahl.) Mill.	Decrease	Teachman et al. (1980)
Aster <i>Aster novi-belgii</i> L.	Wilt	<i>Phialophora asteris</i> Burge & Isaac	Increase	Burge & Isaac (1977)
Avocado <i>Persea americana</i> Mill.	Root rot	<i>Phytophthora cinnamomi</i> Rands	Decrease	Anderson (1951), Bingham et al. (1958), Last (1956)
Banana <i>Musa acuminata</i> Colla	Fusarium wilt	<i>Fusarium oxysporum</i> f. <i>cubense</i> (E. F. Smith) Snyder & Hansen	Decrease	Rishbeth (1957)
Barley <i>Hordeum vulgare</i> L.	Net blotch	<i>Helminthosporium teres</i> Sacc.	Decrease	Singh (1963)
Barley	Powdery mildew	<i>Erysiphe graminis</i> DC.	Decrease	Trolldenier (1982, 1983), Thomson & Ferguson (1982)
Bean <i>Phaseolus vulgaris</i> L.	Root rot	<i>Rhizoctonia solani</i> Kuehn	Increase	Bateman (1965), Bateman & Lumsden (1964, 1965), Bateman & Miller (1966)
Beet <i>Beta vulgaris</i> L.	Damping off	<i>Phythium ultimum</i> Trow.	Decrease	Yale & Vaughn (1962)
Bermuda grass <i>Cynodon dactylon</i> (L.) Pers.	Leaf blight	<i>Helminthosporium cynodontis</i> Marig.	Decrease	Matocha & Smith (1980)
Bluegrass, Kentucky <i>Poa pratensis</i> L.	Stripe smut	<i>Ustilago striiformis</i> (Westend.) Niessl	Decrease	Hull et al. (1979)
Broadbean <i>Vicia faba</i> L.	Chocolate spot	<i>Botrytis fabae</i> Sand	None	Deverall & Wood (1961)
Cabbage	Club root	<i>Plasmodiophora brassicae</i>	Increase	Eddins (1952),

Huber and Army, 1985

Comprendre les interactions entre statut K des plantes et leur sensibilité aux maladies et ravageurs

