



المعهد الوطني للبحث الزراعي
Institut National de la Recherche Agronomique

Notions sur les propriétés chimiques du sol et la nutrition des plantes

Zhor ABAIL

Laboratoire de fertilité des Sols

Projet: ACLIMAS.

28/02/2013

CRRA-Settat



المعهد الوطني للبحث الزراعي
Institut National de la Recherche Agronomique

Plan

- ☞ Terminologie
 - Terre
 - Evaluation des terres
 - Aptitude des terres
- ☞ Fertilité des sols
- ☞ Propriétés chimiques du sol
- ☞ Éléments nutritifs essentiels
- ☞ Rôle et dynamique des macroéléments



المعهد الوطني للبحث الزراعي
Institut National de la Recherche Agronomique

Terminologie

Terres

On entend par terres l'environnement physique, y compris le climat, le relief, les sols, l'hydrologie et la végétation dans la mesure où ces derniers influent sur leur potentiel d'utilisation. Elles comprennent les résultats des activités humaines passées et présentes. Le concept des terres est, par conséquent, plus vaste que celui des sols ou de la topographie.

Aptitude des terres

L'aptitude d'une terre est la résultante d'un ensemble de qualités et de défauts qui rendent cette terre plus ou moins propice à une utilisation donnée sous certaines conditions climatiques et hydrologiques d'une part et sous certains aspects économiques d'autre part (Vink, 1963).

Evaluation des terres

L'évaluation des terres a pour principal objet de choisir la meilleure utilisation possible pour chaque unité de terre, compte tenu de considérations à la fois physiques et socioéconomiques, ainsi que de la nécessité de conserver, pour l'avenir, les ressources naturelles (FAO, 1989).



المعهد الوطني للبحث الزراعي
Institut National de la Recherche Agronomique

Sol et ses fonctions

Le sol est le résultat d'une interaction dynamique entre milieu physique (lithosphère) et milieu biologique (biosphère).

le sol remplit un certain nombre de fonctions fondamentales (Ruellan, 2003) :

- **La fonction alimentaire:** il produit, contient, accumule, tous les éléments nécessaires à la vie.
- **La fonction filtre:** Le sol est un milieu poreux, en permanence traversé par des flux hydriques et gazeux. De ce fait, le sol transforme, épure ou pollue, les eaux qui le traversent.
- **La fonction biologique.** Le sol est un milieu vivant. C'est le lieu de vie et de passage obligé pour de nombreuses espèces animales et végétales.
- **La fonction mémoire:** Le sol conserve les traces de l'histoire, souvent très longue (plusieurs millions d'années), de sa formation.
- **La fonction matériau et support:** Le sol fournit les matériaux que l'homme utilise. Il contient également des ressources minérales et supporte les habitats et les infrastructures.

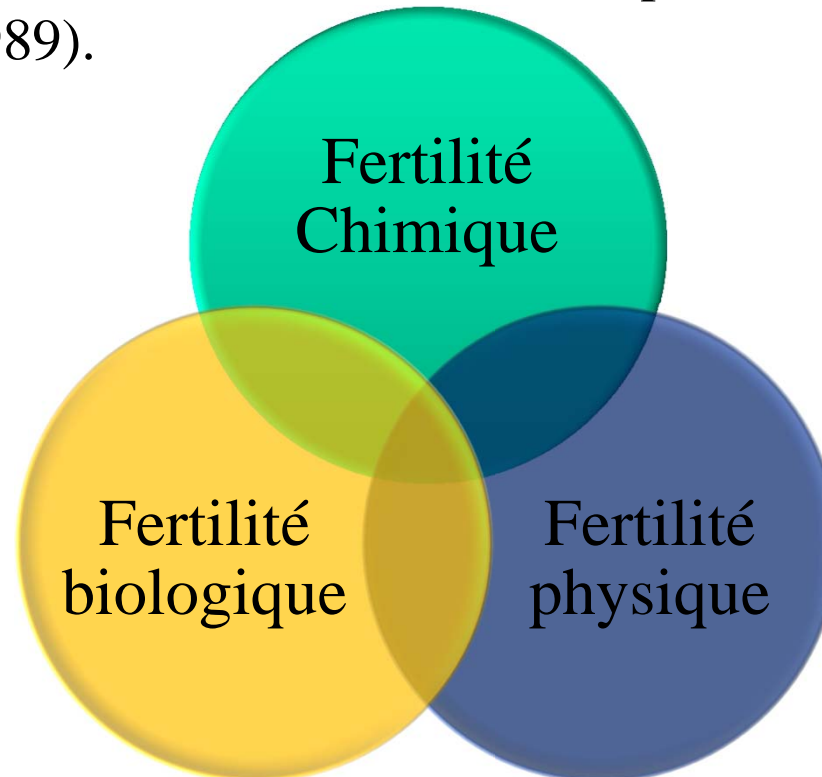


المعهد الوطني للبحث الزراعي
Institut National de la Recherche Agronomique

Fertilité du sol

La fertilité des sols a été considérée comme la richesse chimique du sol en éléments minéraux.

Elle est conçue actuellement comme une capacité à produire durablement de la biomasse végétale et ne se rapporte plus seulement au sol, mais au milieu naturel et à son exploitation par l'homme (Sebillote, 1989).





المعهد الوطني للبحث الزراعي
Institut National de la Recherche Agronomique

Fertilité du sol

Fertilité physique

La fertilité physique correspond à la plus ou moins grande facilité à créer et/ou maintenir un état physique du sol adapté au système de culture pratiqué (Merelle, 1998). Elle détermine les conditions de germination des semences, de colonisation efficace des racines, d'aération et d'économie en eau, à travers une structure meuble, perméable et aérée du sol (Schvartz et al., 2005).

Fertilité biologique

La fertilité biologique est liée à l'activité biologique du sol dont dépendent plusieurs fonctions, entre autres, les transferts des nutriments du sol à la plante, la minéralisation des matières organiques apportées et la stabilisation de la structure du sol (Merelle, 1998).



المعهد الوطني للبحث الزراعي
Institut National de la Recherche Agronomique

Fertilité du sol

Fertilité chimique

La fertilité chimique a trait à la nutrition minérale des végétaux via les concepts de biodisponibilité des éléments nutritifs, de carence, de toxicité et d'équilibre (Mérelle, 1998).

Elle réfère donc à l'aptitude du sol à fournir, en quantités suffisantes, les éléments nutritifs essentiels pour assurer la croissance des plantes.

Un sol fertile est un sol qui contient des quantités adéquates des substances nécessaires à la nutrition des plantes sous formes disponibles et qui n'est pas excessivement acide ou alcalin et qui ne contient pas des concentrations élevées en éléments toxiques.



المعهد الوطني للبحث الزراعي
Institut National de la Recherche Agronomique

Propriétés chimiques du sol

Les propriétés chimiques du sol correspondent aux teneurs et disponibilités des éléments minéraux nutritifs pour les plantes et aux paramètres chimiques du sol en lien avec leur restitution ou disponibilité.

- ❖ **Capacité d'échange cationique et anionique**
- ❖ **pH**
- ❖ **Matière organique**
- ❖ **Teneur en éléments nutritifs**



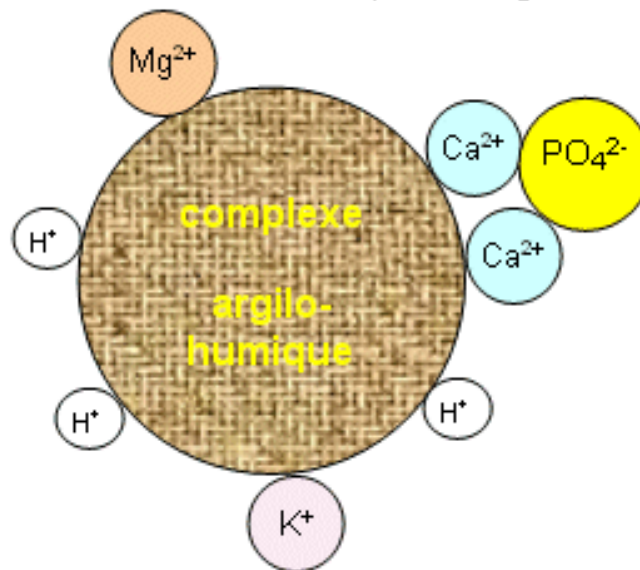
Propriétés chimiques du sol

❖ Capacité d'échange cationique et anionique

Elles mesurent la capacité d'un sol à retenir et fournir des éléments nutritifs à une culture :

- ✓ CEC: la capacité de retenir des cations
- ✓ CEA: la capacité de retenir des anions

Fixation des ions sur le complexe argilo-humique.





المعهد الوطني للبحث الزراعي
Institut National de la Recherche Agronomique

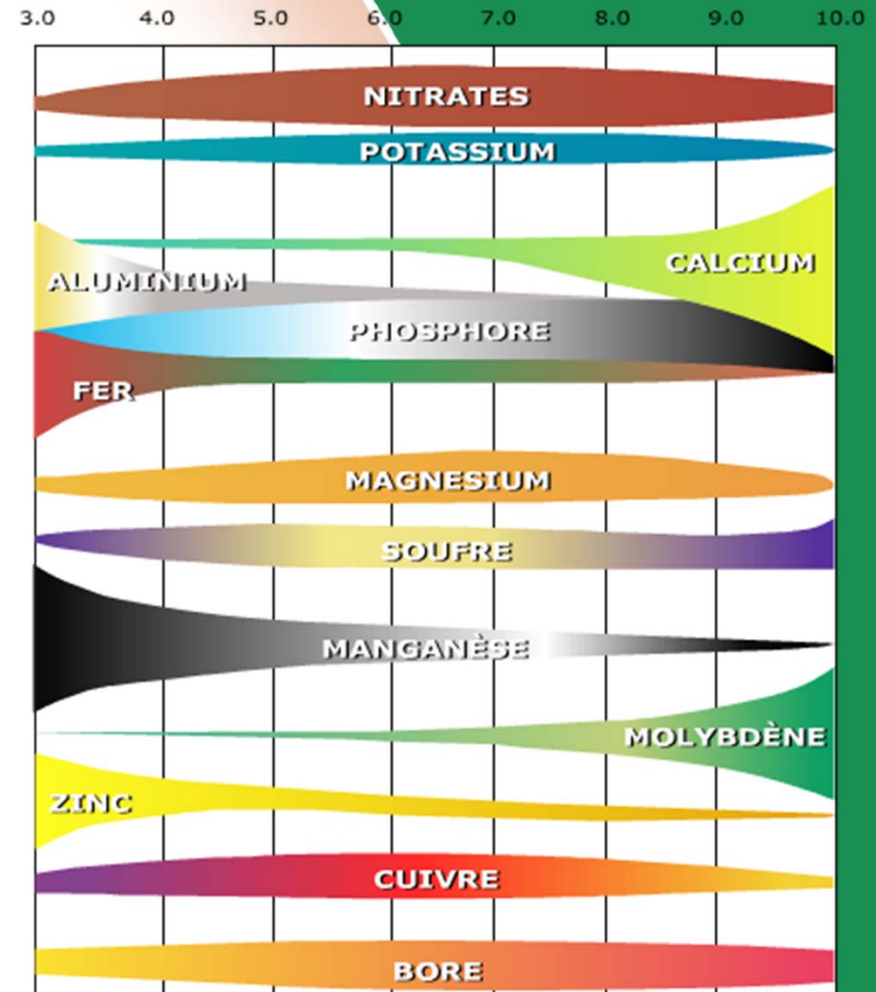
Propriétés chimiques du sol

❖ pH du sol

Le pH d'un sol est une mesure de l'acidité du sol, ou la concentration hydrogène (H^+).

Le pH est important pour plusieurs raisons :

- ✓ La disponibilité des éléments nutritifs
- ✓ Les problèmes de toxicité



pH : Disponibilité et toxicité.



المعهد الوطني للبحث الزراعي
Institut National de la Recherche Agronomique

Propriétés chimiques du sol

❖ Matière organique

La portion du sol la plus active chimiquement

- Elle affecte les propriétés physiques et chimiques
- Elle est responsable pour au moins la moitié de la capacité d'échange cationique des sols
- Elle est un excellent fournisseur d'éléments nutritifs pour les plantes.
- Elle peut retenir de grandes quantités d'eau qui permet aux éléments nutritifs de se déplacer du sol vers les racines des plantes.



المعهد الوطني للبحث الزراعي
Institut National de la Recherche Agronomique

Eléments nutritifs essentiels

Pour être classé essentiel, l'élément chimique doit satisfaire les critères suivants (Jones, 2001):

- La plante ne peut pas compléter son cycle de vie sans cet élément ;
- Les fonctions de l'élément ne peuvent pas être accomplies par un autre élément ;
- L'élément est directement impliqué dans la croissance et la reproduction de la plante ;



Eléments nutritifs essentiels

- 16 éléments nutritifs sont considérés essentiels pour les plantes (Foth et Ellis, 1997).
- Ils peuvent être répartis en deux groupes:

éléments
nutritifs non
minéraux

- le carbone (C), l'oxygène (O) et l'hydrogène (H).

éléments
nutritifs
minéraux

- en nombre de 13 et proviennent en grande partie du sol



Eléments nutritifs essentiels

Classe	Elément nutritif	Formes absorbées par la plante	Fonctions
Macroéléments	Azote (N) Phosphore (P) Potassium (K)	NO ₃ ⁻ , NH ₄ ⁺ H ₂ PO ₄ ⁻ , HPO ₄ ²⁻ K ⁺	
Méso-éléments	Calcium (Ca)	Ca ²⁺	Améliore la vigueur de la plante, Influence l'absorption d'autres éléments nutritifs. Important constituant de la membrane cellulaire
	Magnésium (Mg)	Mg ²⁺	Influence l'absorption d'autres éléments nutritifs, Aide à fabriquer les graisses, Assiste dans la translocation du phosphore et des graisses
	Soufre (S)	SO ₄ ²⁻	Augmente la croissance des racines et la croissance végétative, Essential pour la formation de protéines
Oligoélément	Fer (Fe)	Fe ²⁺	Essential pour la production de chlorophylle, Aide dans le transport d'électrons pour lier l'oxygène à d'autres éléments
	Manganèse (Mn)	Mn ²⁺	Rôles dans le métabolisme de la plante, et dans la transformation de l'azote
	Zinc (Zn)	Zn ²⁺	Important dans la métabolisme de la plante, Contribue dans la formation d'hormones de croissance
	Cuivre (Cu)	Cu ²⁺	Aide à l'utilisation du fer par la plante, Contribue dans la respiration
	Bore (B)	H ₃ BO ₃	Affecte l'absorption de l'eau par les racines, Contribue dans la translocation de sucres
	Molybdène (Mo)	MoO ₄ ²⁻	Contribue dans le développement de la plante et dans la reproduction
	Chlore (Cl)	Cl ⁻	essentiel pour certains processus dans la processus, Agit dans des systèmes enzymatiques
Eléments bénéfiques	L'aluminium (Al), le cobalt (Co), le fluor (F), l'iode (I), le sélénium (Se).....		Ces différents éléments peuvent être utiles mais les plantes ne les utilisent pas tous. De plus, à une certaine teneur déjà très faible, certains de ces éléments deviennent toxiques.

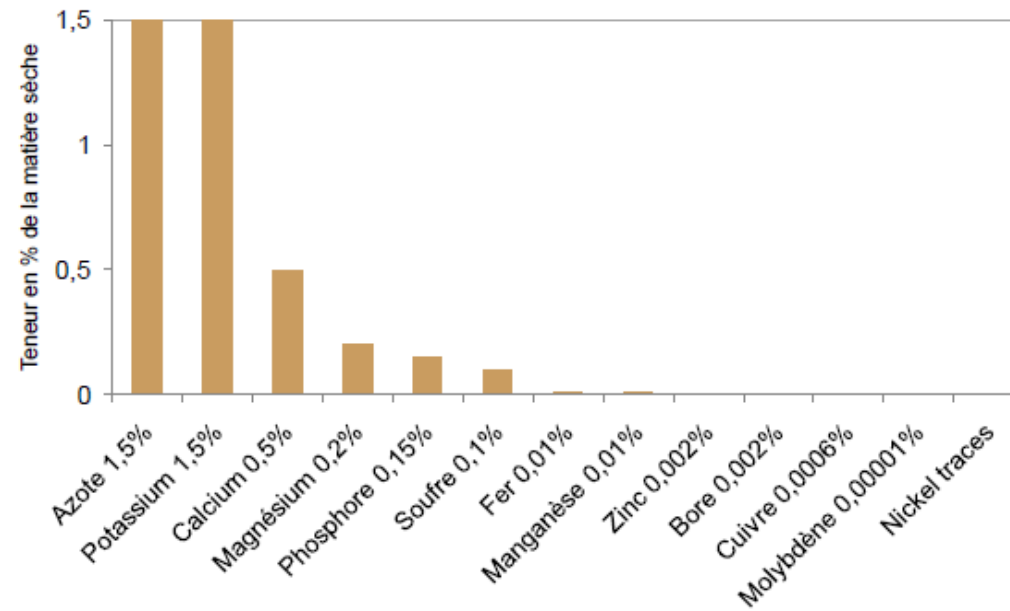


Eléments nutritifs essentiels

La teneur en éléments minéraux dépend essentiellement de deux facteurs:

- Facteur génétique lié au pouvoir d'absorption spécifique de la plante
- Disponibilité des éléments minéraux dans la solution du sol.

Ainsi, la teneur en un élément varie d'une espèce à l'autre et selon la concentration de l'élément dans le sol.



Teneurs moyennes des plantes en éléments nutritifs



المعهد الوطني للبحث الزراعي
Institut National de la Recherche Agronomique

Eléments nutritifs essentiels

Chaque élément nutritif a donc sa fonction propre dans la plante.
Une carence de l'un d'entre eux ne peut être compensée par une plus forte dose des autres.

- ✓ Cette loi met en évidence:
 - l'interdépendance entre les différents éléments fertilisants;
 - la nécessité d'atteindre une richesse suffisante du sol en tous éléments pour que le rendement optimum soit atteint.



PERTE DE RENDEMENT
Loi du minimum



Mobilité des éléments minéraux

❖ La mobilité dans la plante

Tous les éléments nutritifs déplacent de la racine vers la zone de croissance de la plante à travers le xylème. De plus, quelques éléments nutritifs peuvent aussi se déplacer des vieilles feuilles vers les plus jeunes.

La connaissance des éléments nutritifs mobiles est très utile dans le diagnostic des carences des éléments nutritifs

Eléments mobiles	Eléments immobiles
Chlore	Bore
Magnésium	Calcium
Molybdène	Cuivre
Azote	Fer
Phosphore	Manganèse
Potassium	Soufre
	Zinc



Mobilité des éléments minéraux

❖ La mobilité des éléments minéraux dans le sol

Ce gradient de mobilité entraîne une différence dans le raisonnement de la disponibilité en quantité ou en concentration de l'élément nutritif en question.

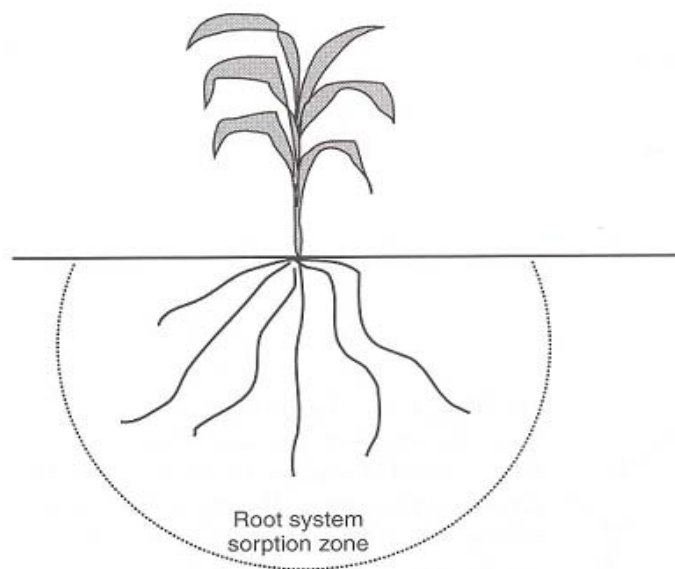
Eléments mobiles	Eléments relativement immobile
H ₃ BO ₃ [°] , H ₂ BO ₃ ⁻	NH ₄ ⁺
Cl ⁻	Ca ²⁺
NO ₃ ⁻	Cu ²⁺
SO ₄ ²⁻	Mg ²⁺
	Mn ²⁺
	MoO ₄ ²⁻
	Fe ²⁺ , Fe ³⁺
	H ₂ PO ₄ ⁻ , HPO ₄ ²⁻
	K ⁺
	Zn ²⁺



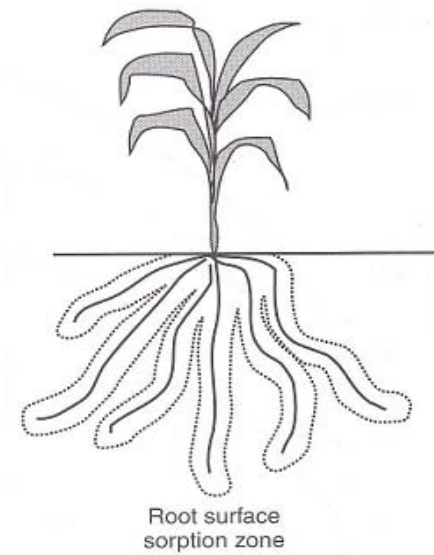
Mobilité des éléments minéraux

المعهد الوطني للبحث الزراعي
Institut National de la Recherche Agronomique

Un élément mobile est considéré adéquat quand il est présent en quantité suffisante dans la totalité de la zone racinaire. Par contre, un élément immobile n'est considéré adéquat que s'il est présent en quantité suffisante à la surface des racines où il est immédiatement absorbé.



MOBILE NUTRIENTS



IMMOBILE NUTRIENTS



المعهد الوطني للبحث الزراعي
Institut National de la Recherche Agronomique

Azote

L'azote (N) est prélevé en plus grandes quantités que les autres éléments

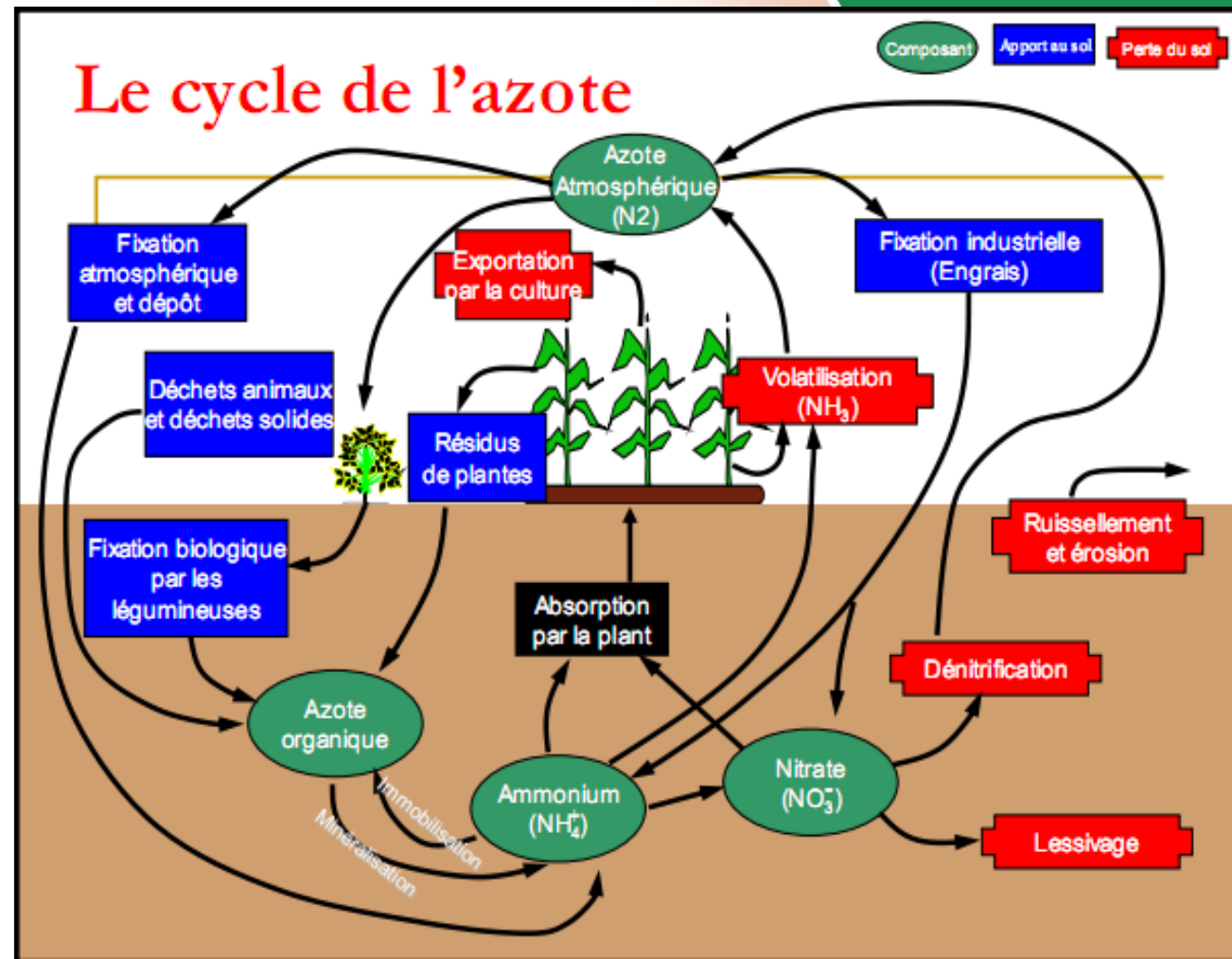
Il est l'élément nutritif le plus limitant pour les cultures.

- Composant principal de la chlorophylle
- Nécessaire pour la production des protéines des Cellules
- Donne une couleur verte foncée et améliore la qualité du feuillage
- Il a des impacts sur la quantité (grains, racines) et sur la qualité (protéine, teneur en sucre) de la récolte.



Azote

Le cycle de l'azote consiste en neuf processus majeurs: -
absorption par la plante,
- échange,
- nitrification,
- dénitrification,
- volatilisation,
- minéralisation,
- immobilisation,
- fixation de N_2
- lessivage





المعهد الوطني للبحث الزراعي
Institut National de la Recherche Agronomique

Azote

• Absorption par la plante

Les plantes absorbent la plupart de leur besoin en azote sous forme NH_4^+ et NO_3^- . Les nitrates sont souvent la source la plus dominante car ils se trouvent en concentration élevée dans les sols et sont mobiles et atteignent les racines facilement soit par mouvement en masse ou par diffusion.

• Échange

L'échange indique que des ions (ou des molécules chargées) sont attirés par une surface du sol.

Plus d'ammonium est retenu par des sols à pH élevé (neutres à alcalins) sols et inversement, l'ammonium se déplace plus aisément à travers les sols à pH bas pH (acides).



المعهد الوطني للبحث الزراعي
Institut National de la Recherche Agronomique

Azote

•Nitrification

L'ammonium (NH_4^+) du sol peut être rapidement converti (heures à quelques semaines) en nitrite (NO_2^-) et ensuite en nitrate (NO_3^-). Ce processus, connu sous le nom de nitrification, se produit en présence d'oxygène seulement, et il sera lent ou inexistant en cas d'excès d'eau ou dans des sols anaérobiques.

•Dénitrification

La dénitrification fait référence au processus où le nitrate (NO_3^-) se transforme en azote gaz (N_2g).

La dénitrification exige l'absence d'oxygène (conditions anaérobiques). Les sols mal drainés peuvent générer une perte de 4-5% de nitrate par jour qui peut causer des pertes de rendement substantielles.

•Volatilisation

La volatilisation de l'ammoniac (NH_3) fait référence à la perte de l'ammoniac comme gaz dans l'atmosphère, ce qui peut être une source de perte de N. Le processus est accentué à haut pH parce que NH_4^+ se convertit plus facilement en NH_3 à pH élevé.



المعهد الوطني للبحث الزراعي
Institut National de la Recherche Agronomique

Azote

•Minéralisation

La décomposition de la matière organique par les microorganismes et la libération de l'ammonium.

Les quantités minéralisées sont plus élevées dans les sols ayant des teneurs élevées en matière organique et par conséquent.

Comme ordre de grandeur, 20 à 30 kg N/ha sont minéralisé par 1% de matière organique.

•Immobilisation

L'immobilisation N fait référence au processus par lequel N minéral (NO_3^- ou NH_4^+) est converti biologiquement en N organique, ce qui est essentiellement l'inverse de la minéralisation.

•Fixation de l'azote

L'azote gaz ($\text{N}_2(\text{g})$) peut être converti en des formes disponibles de N à travers le processus de 'fixation de l'azote'.

•Lessivage

La quantité de N perdue par lessivage dépend des conditions climatiques et des pratiques culturales et ne concerne que N sous forme nitrates.

Phosphore

Le phosphore est un élément majeur. Il est présent dans les plantes et dans le sol en quantités plus faibles que celles de l'azote ou du potassium.

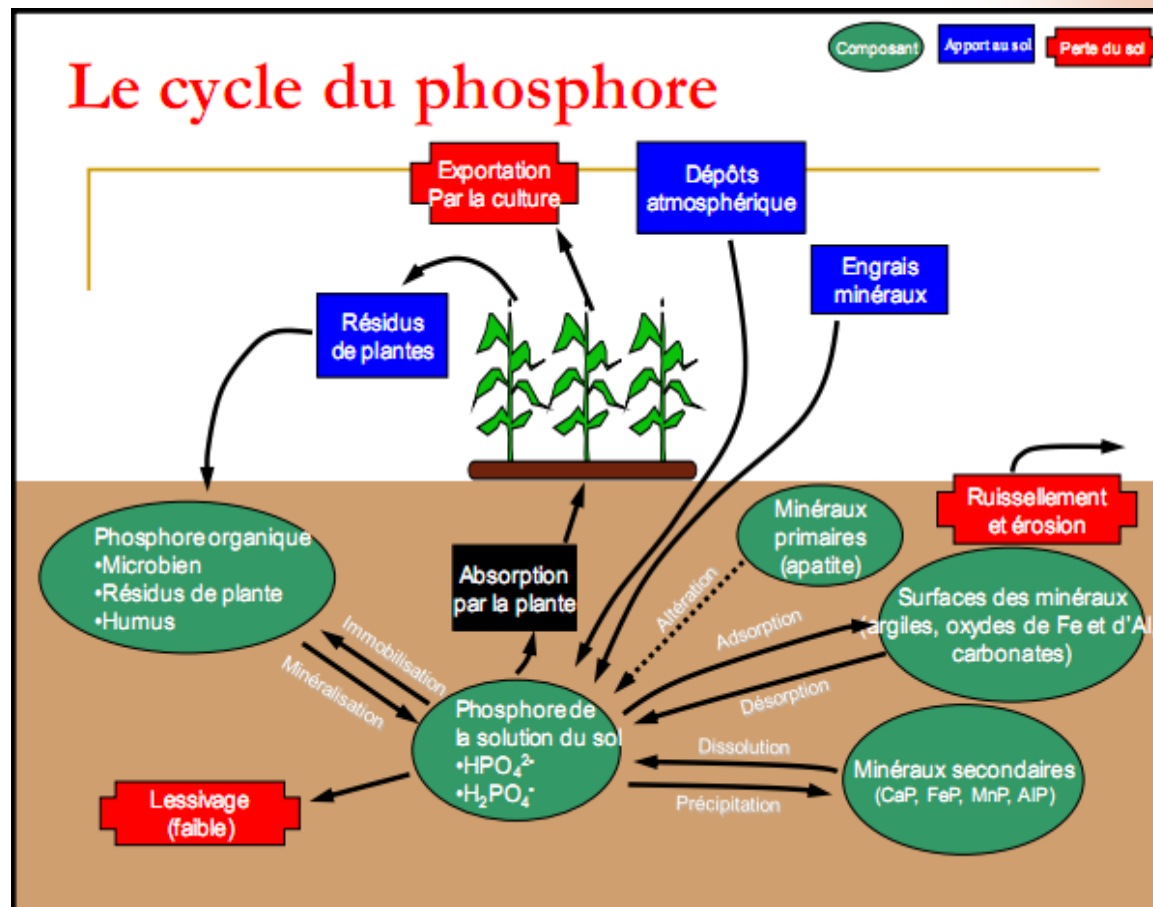
Le phosphore joue un rôle physiologique à plusieurs niveaux: il favorise la croissance de la plante, son action étant conjuguée à celle de l'azote, le développement des racines, la précocité, et la qualité des produits, la rigidité des tissus, la reproduction, la qualité des produits végétaux.

Les sols des zones arides sont caractérisés par des teneurs faibles en P assimilable.



Phosphore

Le phosphore peut exister dans le sol sous différents états : phosphate en solution (HPO_4^{2-} ou H_2PO_4^-), de P adsorbé, P organique et P dans les minéraux du sol.





المعهد الوطني للبحث الزراعي
Institut National de la Recherche Agronomique

Phosphore

Les processus qui contrôlent la quantité de P disponible dans le sol sont :

▪ le prélèvement par la plante

Les plantes peuvent prélever des quantités substantielles de P grâce à la désorption et à la dissolution de P, qu'on discutera après, suivis par la diffusion de P vers la racine de la plante.

▪ l'adsorption/désorption

L'adsorption fait référence à la liaison de P aux particules du sol. Parce que le phosphore a une charge négative (HPO_4^{2-} ou H_2PO_4^-). Il est fortement attiré et lié aux minéraux chargés positivement, tels que les hydroxydes et oxydes d'aluminium (Al) et de fer (Fe).

La désorption est la libération du phosphore adsorbé dans la solution du sol.



Phosphore

▪ La minéralisation/l'immobilisation

La minéralisation de P est le processus par lequel P organique est converti en phosphate minéral, résultat de la décomposition de P organique, et l'immobilisation est le processus par lequel P minéral disponible est prélevé par les microorganismes du sol.

▪ Précipitation et dissolution

La teneur du sol en P disponible pour la plante est en grande partie contrôlée par la solubilité des minéraux P qui sont dominés par les phosphates de calcium (Ca - P) dans les sols à pH neutre à basique, typiques des sols du Maroc.

▪ Erosion et ruissellement

L'érosion du sol représente une perte de P de champs agricoles et peut se produire d'eau ou vent parce que P est lié au sol généralement si hermétiquement.



المعهد الوطني للبحث الزراعي
Institut National de la Recherche Agronomique

Potassium

Les plantes exigent le potassium (K) pour:

- la photosynthèse, la production de l'ATP;
- la translocation des sucres;
- la production de l'amidon dans les grains;
- la fixation de l'azote par les légumineuses;
- la synthèse de protéines.

Dans la plante, K renforce les tiges et donc aide à protéger contre des maladies et contre la verse. Les plantes absorbent K sous forme d'ions K^+

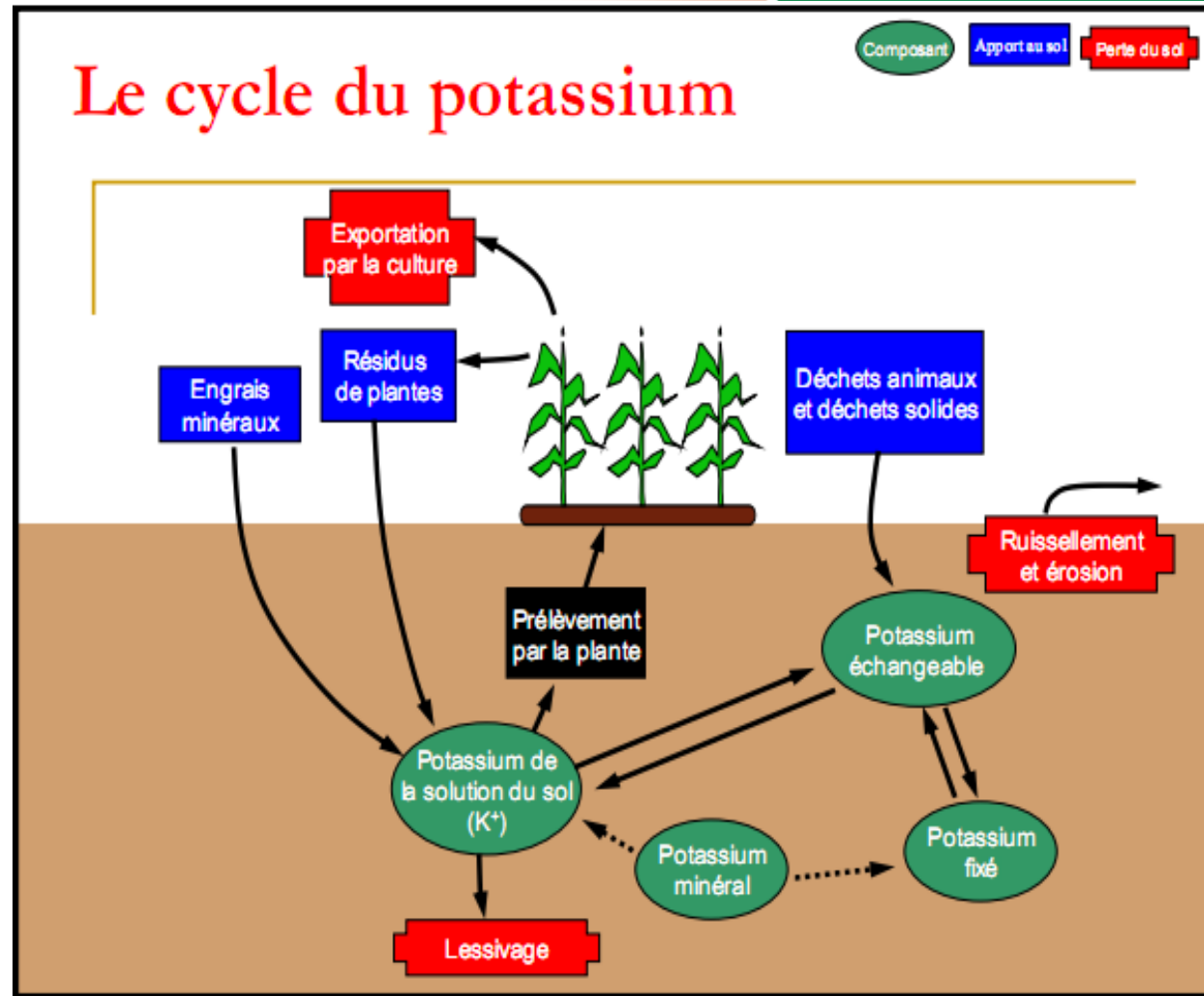
.



Potassium

Le potassium existe dans le sol sous forme:

- d'ion K^+ dissous (K de la solution du sol)
- K échangeable
- K non-échangeable
- K minéral





المعهد الوطني للبحث الزراعي
Institut National de la Recherche Agronomique

Potassium

▪ L'absorption par la plante

L'absorption par la plante est le processus le plus considérable d'exportation dans le cycle de K. Par rapport aux autres éléments nutritifs, l'absorption de K vient, généralement, après celle de l'azote seulement

▪ L'altération des minéraux primaires

La libération de K minéral est déterminée par les vitesses d'altération des minéraux qui peuvent être très lentes sous des climats froids et secs.

▪ Adsorption et désorption

Fait référence à la fixation et libération par les argiles.

▪ Lixiviation et érosion

Le lessivage dépend de la concentration de K dans la solution du sol, de la quantité d'eau qui traverse le sol et de la capacité du sol à retenir K.



المعهد الوطني للبحث الزراعي
Institut National de la Recherche Agronomique

CONCLUSION

Les propriétés physiques, chimiques et biologiques du système sol-plante sont interdépendantes et en conséquence toutes ces propriétés sont influencées par le système de travail du sol et l'incorporation ou le maintien en surfaces des résidus.



المعهد الوطني للبحث الزراعي
Institut National de la Recherche Agronomique

CONCLUSION

Dans les systèmes d'agriculture de conservation, la plupart des nutriments sont concentrés et maintenus dans la partie supérieure des sols (0 à 10cm) (Kassam et Friedrich, 2009).

La concentration en ces éléments diminue rapidement avec la profondeur en comparaison avec les systèmes conventionnels (Campbell et al., 1986 ; Dalal, 1989). D'autre part, Dowdell et Cannell (1975) ont rapporté que sous les conditions du no-till, l'immobilisation de l'azote minéral en surface est accentuée.

Plusieurs auteurs ont signalé une meilleure utilisation du phosphore par la culture sous le système de no-till (Mrabet, 1993).



المعهد الوطني للبحث الزراعي
Institut National de la Recherche Agronomique

CONCLUSION

une attention particulière est à donner à la conduite de la fertilisation et à la fertilité du sol dans le système d'agriculture de conservation en relation avec la croissance et le développement de la culture.

La plupart des choses apprises sur la fertilisation dans l'agriculture conventionnelle doivent être révisées, et de nouveaux concepts de gestion de la fertilité pour les systèmes sans labour ont besoin d'être développée et appliquée (Derpsch 2007b, cité par (Kassam et Friedrich, 2009)).



ي للبحث الزراعي
Institut National de la Recherche



Merci de votre Attention

CRRA-Settat