Comprendre la formation et la fertilité des sols

Un **s**ol est constitué d'éléments minéraux et de matières organiques. Il prend naissance à partir de la roche puis évolue sous l'action du climat et de la végétation. **L'altération des roches se fait par désagrégation mécanique à l'origine de fragments et par altération chimique à l'origine d'ions solubles**. Elle demande de l'eau et une température suffisante. Pour les roches silicatées cette altération se fait par hydrolyse (action de l'eau) et pour les roches calcaires par décarbonatation (solubilisation du carbonate par le CO_2 que contient l'eau). **Les sols présentent une structure stratifiée que les pédologues appellent horizons.** Deux types d'horizons se superposent habituellement : une suite d'horizons humifères, au-dessus des horizons minéraux.

Profil pédagogique (http://soils.usda.gov/technical/classification/orders/inceptisols.html)

La fertilité physique du sol

Les propriétés physiques des sols ont une influence sur :

La circulation de l'air : en absence d'air, les racines ne peuvent plus respirer ce qui provoque l'asphyxie et la mort des plantes (bien souvent c'est le résultat d'un excès d'eau).

La circulation et la rétention de l'eau : l'eau apporte des éléments nutritifs à la plante ; par ailleurs grâce à sa transpiration la plante régule sa température.

LA TEXTURE

La **texture** indique l'abondance relative, dans le sol, de particules de dimensions variées: sable, limon ou argile. De la texture dépendent la facilité avec laquelle le sol pourra être travaillé, la quantité d'eau et d'air qu'il retient, et la vitesse à laquelle l'eau peut entrer et circuler dans le sol (définition de la FAO). La texture d'un sol influence toutes les autres propriétés physiques du sol, y compris le drainage, la capacité de rétention, sa température, l'aération et la structure.
On peut classer les produits qui constituent la fraction minérale par diamètres décroissants:

- ✓ Les blocs ou les cailloux sont les éléments de taille supérieure à 2mm.
- ✓ Les sables : de 2 mm à 50 µm
- ✓ Les limons : de 50 µm à 2 µm
- ✓ Les argiles : < 2 µm

On peut attribuer à chaque sol une classe texturale en fonction de la proportion des particules de sable, de limon ou d'argile qu'il contient.

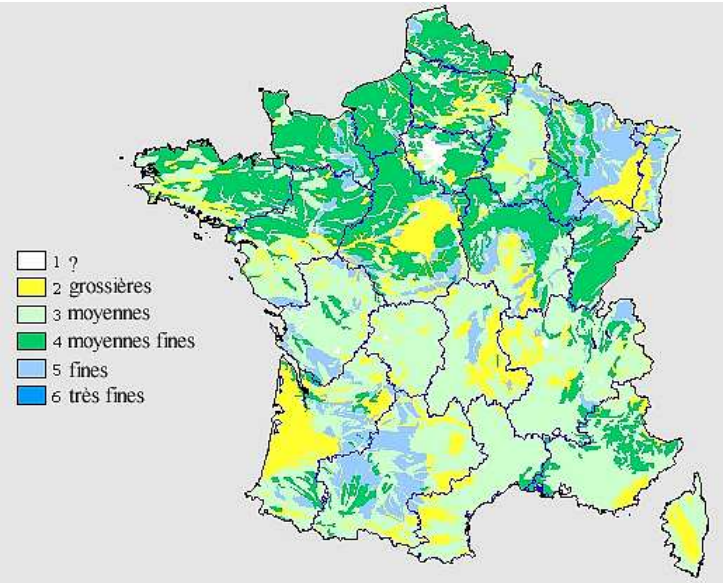
Texture sableuse : sol bien aéré, facile à travailler, pauvre en réserve d'eau et pauvre en éléments nutritifs.

Texture limoneuse : parfois l'insuffisance d'argile et l'excès de limon peuvent observer la formation d'une structure massive accompagnée de mauvaises propriétés physiques.

Texture argileuse : sol chimiquement riche, mais aux propriétés physiques très mauvaises (milieu imperméable et mal aéré, empêchant une pénétration harmonieuses des racines ; travail du sol difficile, en raison de la compacité dans le cas d'un sol sec ou de la forte plasticité dans le cas d'un sol humide.

Texture équilibrée : elle présente la plupart des qualités des trois types précédents, sans en avoir les défauts.

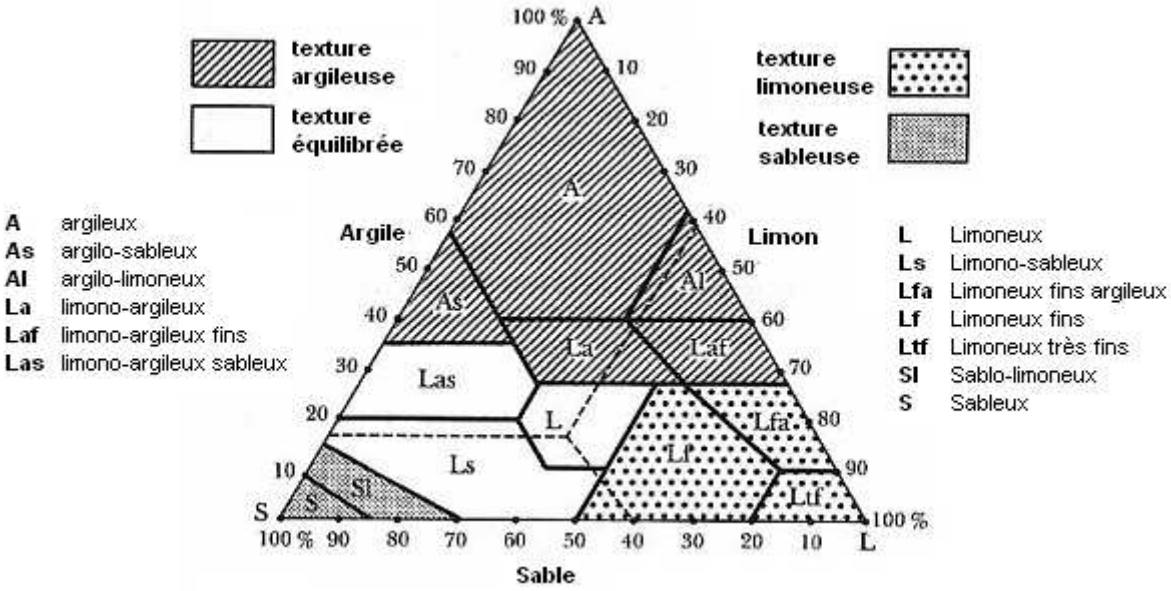
Exemple de granulométrie favorable à la culture : 40 à 50 % de sables, 30 à 35 % de limons, 20 à 25 % d'argile.



Texture des sols en France (http://www.ecosociosystemes.fr/texture.html)

Texture du sol (pourcentages, poids sec) Basée sur la classification granulométrique USDA (US département of agriculture)				
Appellation courante des sols	Sable	Limon	Argile	Classe texturale
Sols sableux (texture grossière)	86 -100 70 - 86	0 - 14 0 - 30	0 - 10 0 - 15	Sable Sable limoneux
Sols limoneux (texture modérément grossière)	50 - 70	0 - 50	0 - 20	Limon sableux
Sols limoneux (texture moyenne)	23 – 52 20 – 50 0 - 20	28 – 50 74 – 88 88 - 100	7 – 27 0 – 27 0 - 12	Limon Limon silteux Limon très fin (silt)
Sols limoneux (texture modérément fine)	20 – 45 45 – 80 0 - 20	15 – 52 0 – 28 40 - 73	27 – 40 20 – 35 27 - 40	Limon argileux Limon sablo-argileux Limon silto-argileux
Sols argileux (texture fine)	45 – 65 0 – 20 0 - 45	0 – 20 40 – 60 0 - 40	35 – 55 40 – 60 40 - 100	Argile sableuse Argile silteuse Argile

Diagramme triangulaire des classes texturales de sol d'après les dimensions des particules USDA



Pour utiliser le diagramme, Il faut porter sur les trois axes les pourcentages d'argile, de limons et de sables. Pour chacun des points ainsi trouvés, il conviendra ensuite de mener une parallèle à l'axe précédent : l'intersection de ces trois parallèles désigne la classe du sol.

LA STRUCTURE DU SOL

A l'échelle humaine du temps la texture du sol doit être considérée comme une propriété fixe. Son influence s'exprime sur la structure du sol.

On distingue trois structures particulaire, massive ou en agrégats.

- Particulaire : les particules restent libres car il n'y a aucune cohésion (sables, graviers).
- Massive : les particules forment un bloc (argiles lourdes).
- Agrégé : les particules forment des agrégats.

Le travail du sol et les amendements (apports calciques et organiques) qu'effectue un agriculteur sont destinés à améliorer la structure en particulier l'équilibre entre rétention et mouvement de l'eau. Une forte cohérence des agrégats est synonyme d'une bonne stabilité structurale ce qui impact sur l'infiltration de l'eau dans le sol. En-dessous de 15% d'argile, la stabilité structurale devient relativement faible et le sol facilement érodé ; en revanche, au dessus de 40%, le sol sera « lourd », avec une rétention d'eau importante et une structure massive.

Sols riches en limon	Faible cohésion / Faible stabilité structurale / particules facilement transportés par le ruissellement
Sols de sables fins	Très faible cohésion / Faible stabilité structurale / peu de ruissellement

LES CATIONS DU SOL

Dans la solution du sol, les cations du sol (Ca^{2+}, K^{+}, Mg^{2+}, Al^{3+}, H^{+}…) ont une charge électrostatique positive alors que celle des argiles est négative : cela provoque une attraction entre cations et argiles à l'origine des agrégats. Le calcium est particulièrement favorable à la formation de ces agrégats d'ou l'apport de calcaire broyé ou de chaux par les agriculteurs. En revanche le sodium provoque la dispersion des éléments du sol. Il est donc important de connaître la sodicité du sol en mesurant le pourcentage de sodium échangeable (Exchangeable Sodium Percentage ou ESP) et le Rapport de l'adsorption du sodium (Sodium Absorption Ratio - SAR).On considère que le sol est sodique si le SAR est supérieur ou égal à 13 et le ESP supérieur ou égal à 15. Dans la réalité, même avec un ESP de 4 et un SAR de 5, la stabilité structurale est déjà très réduite et provoque une forte érosion du sol.

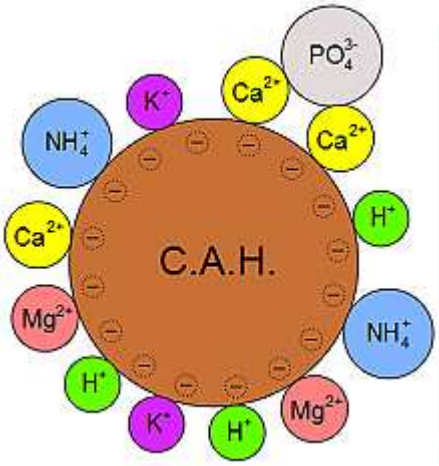
La fertilité chimique du sol

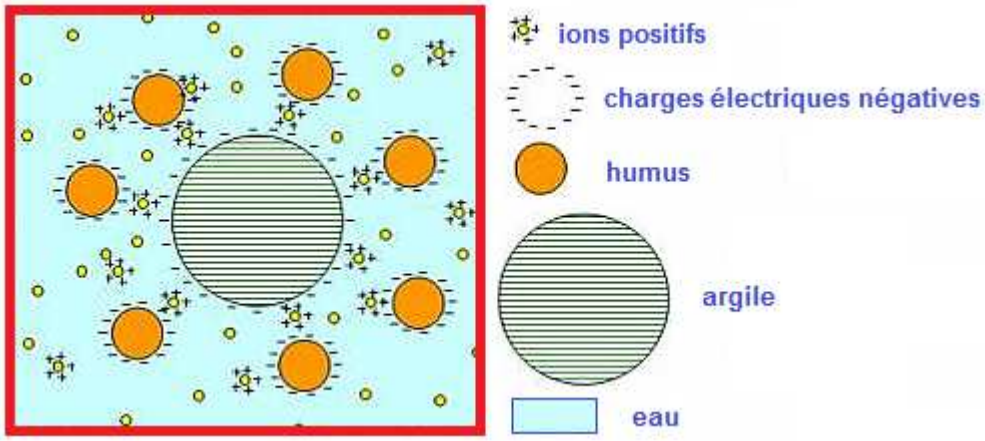
LES IONS DU SOL

Anions (-)	Cations (+)
Eléments nutritifs	
$H_2PO_4^-$ HPO_4^{2-} PO_4^{3-} SO_4^{2-} NO_3^-	NH_4^+ K^+
Stabilité structurale	
	K^+ Ca^{2+} (+) Mg^{2+} (+) Al^{3+} (+) Fe^{3+} (+) Na^+ (-)
Toxicité	
NO_3^-	Al^{3+} Fe^{3+}
OH^- sans effet	H^+ : permet de mesurer l'acidité du sol

LE COMPLEXE ARGILO-HUMIQUE

Quatre éléments sont présents dans le sol : l'air, l'eau, les minéraux et la matière organique. Le complexe argilo-humique résulte de l'association des argiles à l'humus (= matière organique du sol) grâce à l'action stabilisatrice du calcium. Les argiles ayant une puissante charge négative due à leur structure en feuillet, une certaine quantité de cations libres de la solution du sol peuvent s'y fixer (Ca2+, K+, H+, Na2+ etc.). **Le complexe argilo-humique constitue donc un véritable réservoir d'éléments nutritifs pour la culture** qui échange en permanence des ions avec la solution du sol environnante.





Complexe argilo-humique (Wikipedia) http://svt.ac-dijon.fr/schemassvt/article.php3?id_article=2437

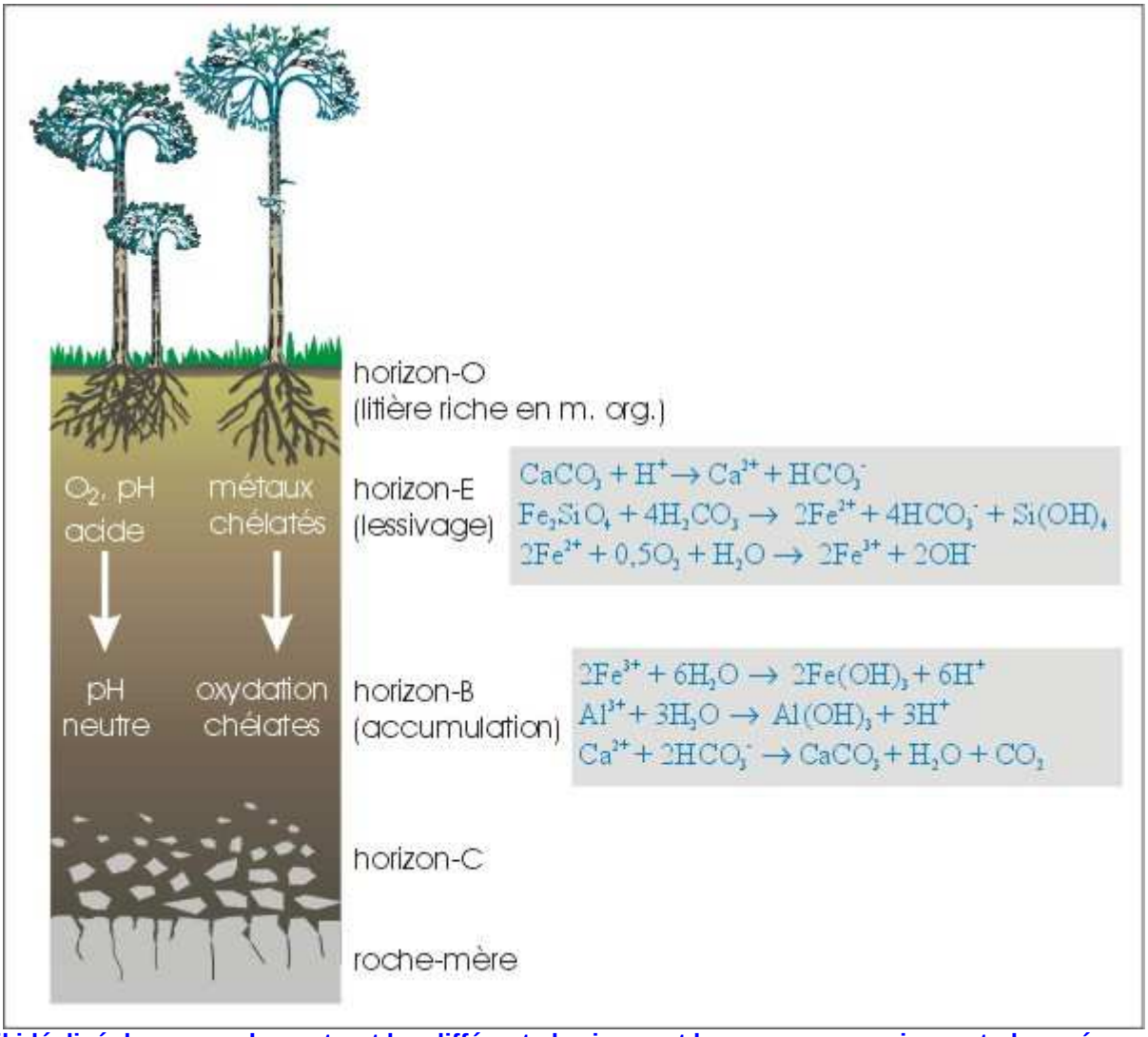
(licence Creative Commons)

La Capacité d'Echange Cationique (CEC)

La « Capacité d'Echange Cationique » (ou CEC) mesure le nombre de sites électronégatifs sur le complexe argilo-humique. En permanence il y a des échanges de cations (Ca^{2+}, Mg^{2+}, K^+, $Na^{+)}$ entre ces sites électronégatifs et la solution du sol. Le taux de saturation en cations correspond au pourcentage des sites électronégatifs (CEC) qu'ils occupent. Les cations sont donc retenus par le complexe argilo-humique ce qui évite leur lessivage. Plus la CEC est élevée, plus elle peut retenir des cations dans le sol ce qui améliore la structure du sol et permet d'alimenter correctement les végétaux.

Cas particulier des nitrates

Les nitrates (NO_3^-) sont des anions nécessaires à la croissance végétale. C'est pourquoi les agriculteurs en ajoute au sol sous forme d'engrais ou de fumier. La mobilité de cette anion, très toxique pour la santé humaine, fait qu'on le retrouve en abondance dans les nappes phréatiques.



Profil idéalisé dans un sol, montrant les différents horizons et les processus qui y sont observés.

D'après Konhauser (2007), modifié.(http://coursgeologie.com/Print-223.html)

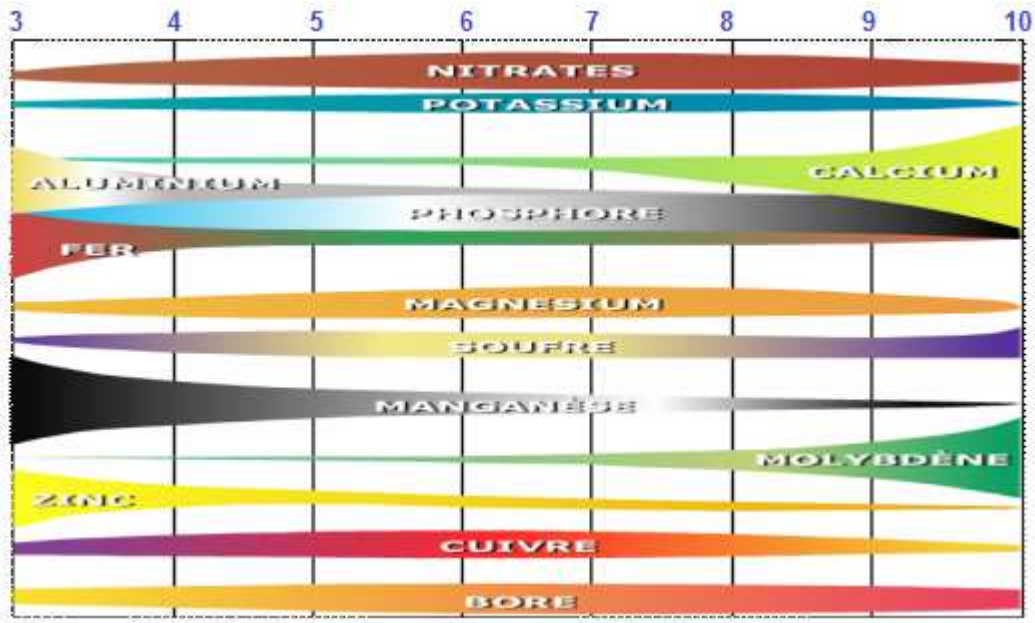
Le pH du sol

Le pH est une mesure de la concentration en ions H^+ dans la solution du sol. Un pH 7 est un pH neutre qui correspond à la concentration en ions H^+ présente dans l'eau pure .En dessous de 7, le sol est acide et au dessus de 7 le sol est alcalin ou basique . Le pH nous renseigne sur les éléments nutritifs et les risques de toxicité. Certains facteurs ont tendance à acidifier les sols : pluies acides, décomposition de la matière organique, apport de certains engrais comme l'ammonitrate (NH_4^+ NO_3^-).

pH du sol									
Acidité					Neutralité				Alcalinité
	très fort	forte	modéré	faible	faible	modéré	forte	très fort	
pH 3	4	5	6	7	8	9	10	11	
sols organiques			régions humides		régions sèches				sols alkalins

http://unt.unice.fr/uoh/degsol/fertilite-physique.php

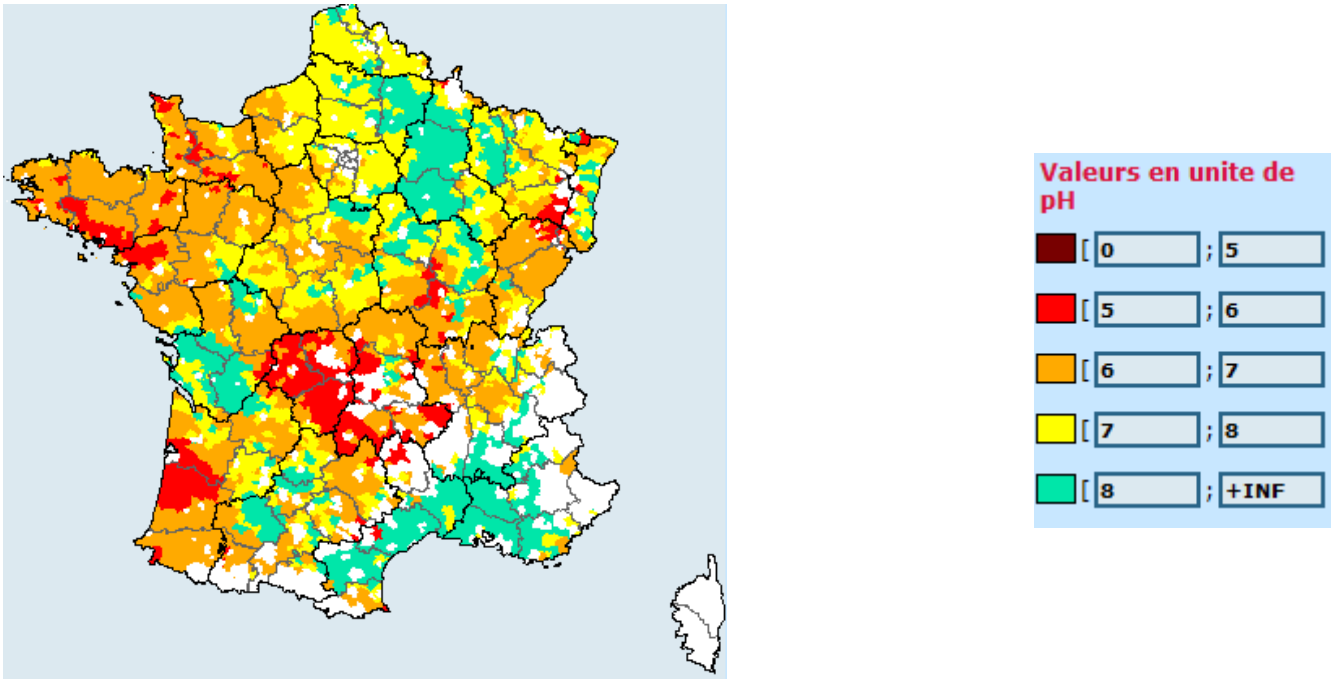
L'assimilation des éléments nutritifs par les plantes est meilleure pour des pH voisins de la neutralité. Par exemple, dans les sols basiques, le phosphore s'associe au calcaire alors que dans les sols acides, il s'associe au fer en devenant insoluble. Dans les deux cas il est indisponible pour les végétaux. En revanche à pH neutre il est soluble donc assimilable.



Impact du pH sur la disponibilité des éléments nutritifs et la toxicité des métaux

(http://unt.unice.fr/uoh/degsol/fertilite-physique.php)

Les métaux sont plus solubles que les éléments nutritifs. Il en résulte qu'ils sont assimilables à des pH acides. Ainsi l'aluminium, non soluble à des pH élevés, le devient en pH acide : il est alors assimilé et manifesté sa toxicité.



Médiane des teneurs en pH eau de l'horizon de surface des sols agricoles
(Période début 2000 à fin 2004 (http://bdat.gissol.fr/geosol/main.php)