

Fiche 3: Fertilisation naturelle (urine, cendres et matières organiques)



I Un fertilisant naturel, l'urine:

1 Composition de l'urine:

La composition en azote de l'urine varie en fonction de plusieurs facteurs, tels que l'alimentation, l'hydratation et le métabolisme d'une personne. Toutefois, en moyenne, la concentration en azote total dans l'urine humaine est d'environ 9 à 15 g/L. Cet azote se retrouve principalement sous forme d'urée, qui représente environ 80 à 90 % de l'azote urinaire. Le reste est constitué d'autres composés azotés comme la créatinine, l'acide urique, et l'ammoniac.

Voici une répartition approximative des formes azotées dans l'urine :

- Urée : 7 à 12 g/L
- Créatinine : 0,5 à 1,5 g/L
- Acide urique : 0,2 à 1 g/L
- Ammoniac : 0,3 à 1 g/L

La concentration optimale d'azote dans le sol pour les cultures maraîchères dépend du type de culture, mais en général, les légumes et autres plantes maraîchères nécessitent des niveaux modérés à élevés d'azote pour une bonne croissance. Voici quelques valeurs typiques en termes de concentration d'azote dans le sol :

- Azote total : généralement de 0,1 à 0,3 % (ou 1 à 3 g/kg de sol)
- Azote nitrique (NO_3^-) : souvent de 20 à 50 mg/kg (ou ppm) pour les cultures maraîchères sensibles à l'azote, comme les salades, les épinards, et autres légumes-feuilles.
- Azote ammoniacal (NH_4^+) : il peut être autour de 5 à 20 mg/kg (ou ppm), mais ce niveau est plus variable et dépend de la gestion des engrais et de la biologie du sol.

Les besoins en azote varient selon les plantes. Par exemple :

- Les légumes-feuilles (laitue, épinard) nécessitent beaucoup d'azote pour un bon développement.
- Les légumes-fruits (tomates, poivrons) ont besoin d'azote mais aussi d'un bon équilibre avec les autres nutriments (potassium, phosphore) pour éviter un excès de croissance végétative au détriment des fruits.

Un bon suivi de l'azote disponible dans le sol, via des analyses régulières et une gestion raisonnée des apports d'engrais, est crucial pour éviter les carences ou les excès, qui peuvent affecter la qualité des cultures et l'environnement.

Pour calculer la quantité d'urine nécessaire par m² de cultures maraîchères, il faut d'abord déterminer l'apport en azote requis pour les cultures. Les cultures maraîchères typiques nécessitent entre 100 et 200 kg d'azote par hectare (soit 10 à 20 g/m²), selon le type de plante. Nous allons utiliser ces données pour faire un calcul estimatif.

Données de base :

1. Concentration moyenne en azote de l'urine : 9 à 15 g/L .
2. Besoin moyen en azote des cultures maraîchères : 10 à 20 g/m² .

Calcul :

Si l'urine contient en moyenne basse 10 g d'azote par litre, et que la culture nécessite environ 10 à 20 g d'azote par m², on peut estimer le nombre de litres d'urine nécessaires par m² :

- Pour 10 g/m² d'azote :

$$\frac{10 \text{ g/m}^2}{10 \text{ g/L}} = 1 \text{ L/m}^2$$

- Pour 20 g/m² d'azote :

$$\frac{20 \text{ g/m}^2}{10 \text{ g/L}} = 2 \text{ L/m}^2$$

Conclusion :

Il faudrait environ 1 à 2 litres d'urine par m² de cultures maraîchères pour satisfaire leurs besoins en azote, en fonction des exigences spécifiques de la plante et des conditions de culture.

2 Contamination par le sel (Chlorure de sodium)

Pour estimer la concentration en NaCl dans le sol après un an d'application d'urine comme fertilisant, il est nécessaire de prendre en compte plusieurs facteurs, notamment :

- a. Concentration en NaCl dans l'urine : En moyenne, l'urine contient environ 2 à 6 g/L de sel (NaCl), bien que cela puisse varier.
- b. Quantité d'urine appliquée : Nous avons calculé qu'environ 1 à 2 litres d'urine par m² sont nécessaires pour satisfaire les besoins en azote des cultures maraîchères.
- c. Dynamique du sel dans le sol : Le sodium et le chlore peuvent s'accumuler dans le sol si l'irrigation ou les précipitations ne sont pas suffisantes pour le lessivage. Le sol pourrait retenir une partie de ces sels, surtout dans des conditions de sécheresse ou avec une faible percolation d'eau.

Hypothèses :

- Concentration moyenne de NaCl dans l'urine : 4 g/L .
- Application d'urine : 1 à 2 L/m²/an .

Calcul de la quantité de NaCl apportée :

- Pour 1 litre d'urine par m²/an :

$$1 \text{ L} \times 4 \text{ g/L} = 4 \text{ g/m}^2 \text{ de NaCl}$$

- Pour 2 litres d'urine par m²/an :

$$2 \text{ L} \times 4 \text{ g/L} = 8 \text{ g/m}^2 \text{ de NaCl}$$

Résultat :

Après un an d'application, la quantité de NaCl dans le sol serait d'environ 4 à 8 g/m², en supposant qu'il n'y a pas de lessivage important par l'eau ou d'autres processus d'élimination du sel.

Concentration de sel (NaCl) dans le sol :

La concentration en NaCl dans le sol dépend aussi de la profondeur de la couche active du sol dans laquelle ce sel se répartit. Si l'on considère une couche de sol de 10 cm de profondeur avec une densité du sol d'environ 1,3 g/cm³, le volume de sol sur 1 m² serait de :

$$1 \text{ m}^2 \times 0,1 \text{ m} = 0,1 \text{ m}^3$$

En convertissant en centimètres cubes :

$$0,1 \text{ m}^3 = 100,000 \text{ cm}^3$$

Avec une densité de 1,3 g/cm³, la masse de cette couche de sol est :

$$100,000 \text{ cm}^3 \times 1,3 \text{ g/cm}^3 = 130,000 \text{ g}$$

Ainsi, pour 4 à 8 g de NaCl dans 130,000 g de sol, la concentration en NaCl serait approximativement :

- Pour 4 g de NaCl :

$$\frac{4 \text{ g}}{130,000 \text{ g}} \times 1,000,000 = 30,8 \text{ ppm}$$

- Pour 8 g de NaCl :

$$\frac{8 \text{ g}}{130,000 \text{ g}} \times 1,000,000 = 61,5 \text{ ppm}$$

Conclusion :

Après un an d'application d'urine, la concentration en NaCl dans le sol serait d'environ 30 à 60 ppm. Cela reste généralement dans une plage acceptable pour la plupart des cultures, mais un suivi et une gestion des sels sont nécessaires, notamment en cas d'irrigation insuffisante ou dans des sols déjà salins.

3 Un exemple de culture avec la laitue

La laitue (*Lactuca sativa*), comme beaucoup de légumes-feuilles, a une demande relativement élevée en azote pour assurer une bonne croissance et un développement optimal. La consommation d'azote d'une laitue dépend de son stade de croissance, des conditions de culture,

et de la variété spécifique, mais voici une estimation basée sur des données moyennes.

Besoins en azote de la laitue :

- Quantité totale d'azote requise : Une laitue consomme environ 2 à 5 g d'azote au cours de son cycle de croissance (qui dure généralement 45 à 70 jours selon les conditions).

Consommation en azote par unité de temps :

Si nous considérons un cycle de croissance de 60 jours et un besoin total en azote de 3 g pour une laitue, nous pouvons estimer la consommation d'azote par jour de la façon suivante :

$$\frac{3 \text{ g d'azote}}{60 \text{ jours}} = 0,05 \text{ g/jour}$$

Cela donne une consommation moyenne d'environ 0,05 g d'azote par jour pour une laitue. Cependant, cette consommation n'est pas uniforme tout au long du cycle de croissance. La demande en azote est plus faible lors des premiers stades de croissance et augmente à mesure que la plante se développe, en particulier au moment de la formation des feuilles.

Consommation en azote par m² :

En pratique, la densité de plantation des laitues est d'environ 20 à 30 plantes par m², ce qui signifie que la consommation totale d'azote par m² peut atteindre environ :

$$20 \text{ plantes/m}^2 \times 3 \text{ g d'azote par plante} = 60 \text{ g d'azote/m}^2 \text{ par cycle}$$

Cette consommation se produit sur une période de 45 à 70 jours (60 jours en moyenne), soit environ 1 à 1,5 g d'azote par m² par jour pendant la période de croissance active.

Pour convertir la consommation d'azote de la laitue en équivalent de litres d'urine, nous devons utiliser la concentration moyenne d'azote dans l'urine.

Données utilisées :

- Concentration moyenne en azote de l'urine: environ 10 g/L .
- Consommation d'azote d'une laitue: environ 0,05 g/jour (environ 3 g sur tout son cycle de croissance de 60 jours).
- Densité de plantation : 20 à 30 laitues/m² .
- Consommation d'azote par m²: environ 1 à 1,5 g/m²/jour , soit 60 g/m² par cycle de culture.

Calcul de l'équivalent en litres d'urine :

a. Pour une laitue seule :

- Si une laitue consomme 3 g d'azote sur un cycle de 60 jours et l'urine contient 10 g/L d'azote, alors:

$$\frac{3 \text{ g d'azote}}{10 \text{ g/L}} = 0,3 \text{ L d'urine par laitue}$$

b. Pour 1 m² de laitues :

- Si une surface d'1 m² consomme 60 g d'azote sur un cycle complet de croissance :

$$\frac{60 \text{ g d'azote}}{10 \text{ g/L}} = 6 \text{ L d'urine/m}^2/\text{cycle}$$

c. Consommation journalière d'azote par m² :

- Si la consommation d'azote est d'environ 1 à 1,5 g/m²/jour , alors :

$$\frac{1 \text{ g d'azote}}{10 \text{ g, } \downarrow} = 0,1 \text{ L/m}^2/\text{jour}$$

- Ou pour 1,5 g d'azote :

$$\frac{1,5 \text{ g d'azote}}{10 \text{ g/L}} = 0,15 \text{ L/m}^2/\text{jour}$$

Conclusion :

- Une laitue individuelle a besoin d'environ 0,3 L d'urine sur tout son cycle de croissance.
- Pour un m² de laitue, il faudrait environ 6 L d'urine sur un cycle complet, soit 0,1 à 0,15 L d'urine par jour par m² en moyenne.

4 Exemple de culture avec la tomate

Les tomates (*Solanum lycopersicum*) ont des besoins en azote plus importants que les laitues, surtout en raison de leur production de fruits et de leur croissance plus longue. Voici une estimation des besoins en azote des tomates, en tenant compte de leur cycle de culture et de leur développement.

Besoins en azote des tomates :

a. Quantité totale d'azote requise :

- Une plante de tomate nécessite environ 7 à 10 g d'azote au cours de son cycle de croissance, qui dure généralement 90 à 120 jours selon les variétés et les conditions de culture.

b. Consommation d'azote par m² :

- La densité de plantation des tomates est généralement d'environ 2 à 3 plantes/m² , ce qui signifie que la consommation totale d'azote par m² peut atteindre environ :

$$3 \text{ plantes/m}^2 \times 10 \text{ g d'azote par plante} = 30 \text{ g d'azote/m}^2 \text{ par cycle}$$

- Cette quantité peut être plus élevée dans les cultures intensives.

Consommation d'azote par unité de temps :

Sur un cycle de culture de 120 jours , si une plante de tomate consomme 10 g d'azote , la consommation journalière serait d'environ :

$$\frac{10 \text{ g}}{120 \text{ jours}} = 0,083 \text{ g/jour par plante}$$

Pour 3 plantes par m², la consommation journalière par m² serait :

$$0,083 \text{ g/jour} \times 3 \text{ plantes} = 0,25 \text{ g d'azote/m}^2/\text{jour}$$

Consommation d'azote totale par m² (sur le cycle complet) :

Sur un cycle de 120 jours , la consommation totale d'azote par m² serait de :

$$0,25 \text{ g d'azote/m}^2/\text{jour} \times 120 \text{ jours} = 30 \text{ g d'azote/m}^2$$

Conversion en équivalent litres d'urine :

- * Concentration moyenne d'azote dans l'urine : 10 g/L .
- * Besoin total en azote par plante de tomate : environ 10 g d'azote .

Pour une plante individuelle :

- Si une tomate consomme 10 g d'azote au cours de son cycle de 120 jours, alors en urine :

$$\frac{10 \text{ g d'azote}}{10 \text{ g/L}} = 1 \text{ L d'urine par plante}$$

Pour 1 m² de tomates :

- Si 3 plantes de tomates consomment 30 g d'azote par m² , alors en urine :

$$\frac{30 \text{ g d'azote}}{10 \text{ g/L}} = 3 \text{ L d'urine/m}^2 \text{ par cycle}$$

Consommation journalière en équivalent urine :

- Si la consommation journalière est d'environ 0,25 g d'azote/m²/jour , alors en urine :

$$\frac{0,25 \text{ g d'azote}}{10 \text{ g/L}} = 0,025 \text{ L d'urine/m}^2/\text{jour}$$

Conclusion :

- Une plante de tomate nécessite environ 1 litre d'urine sur tout son cycle de croissance.
- Pour un m² de culture de tomates, il faudrait environ 3 litres d'urine sur un cycle complet de 120 jours, soit environ 0,025 L (25 ml) d'urine par jour et par m² en moyenne.

II Les apports naturels en Phosphates et Potassium

1 Composition des cendres de bois

Pour réaliser un engrais naturel équilibré avec une composition de 10 % d'azote (N) , 10 % de phosphore (P) , et 10 % de potassium (K) , avec le reste étant des matières humiques, il faut comprendre d'abord les apports nutritionnels des cendres, particulièrement en phosphore (P) et potassium (K).

Les cendres de bois, par exemple, sont souvent utilisées comme amendement naturel car elles sont riches en phosphore (P) et potassium (K) , mais contiennent très peu ou pas d'azote (N). Les cendres de bois contiennent en moyenne :

Composition moyenne des cendres de bois de poêle (en % de la masse) :

- Phosphore (P): 0,5 % à 1 %
 - Le phosphore est présent sous forme de phosphate (P_2O_5).
- Potassium (K): 3 % à 7 %
 - Le potassium est surtout présent sous forme d'oxyde de potassium (K_2O), souvent responsable des propriétés alcalines des cendres.
- Calcium (Ca) : 20 % à 40 %
 - Le calcium est l'un des composants majeurs, principalement sous forme d'oxyde de calcium (CaO) ou de carbonate de calcium ($CaCO_3$), contribuant fortement à l'alcalinité des cendres.
- Magnésium (Mg) : 3 % à 10 %
 - Le magnésium se trouve sous forme d'oxyde de magnésium (MgO).
- Sodium (Na) : 1 % à 2 %
 - Le sodium peut être présent sous forme d'oxyde de sodium (Na_2O).
- Silice (SiO_2) : 10 % à 30 %
 - Les cendres contiennent une certaine quantité de silice provenant des composés inorganiques présents dans le bois.
- Oligo-éléments et métaux : Les cendres peuvent contenir des traces d'autres éléments comme le fer (Fe), le manganèse (Mn), le zinc (Zn), et d'autres métaux à très faibles concentrations (généralement moins de 1 %).

Composition simplifiée pour 100 g de cendres :

- Phosphore (P_2O_5) : 1 %
- Potassium (K_2O) : 3 à 7 %
- Calcium (CaO) : 20 à 40 %
- Magnésium (MgO) : 3 à 10 %
- Sodium (Na_2O) : 1 à 2 %
- Silice (SiO_2) : 10 à 30 %
- Oligo-éléments : < 1 %

Considérations :

a. pH des cendres : Les cendres de bois sont très alcalines avec un pH souvent compris entre 9 et 13 , principalement en raison des fortes concentrations de calcium et de potassium. Cela signifie que l'ajout de grandes quantités de cendres peut modifier l'acidité du sol et rendre le sol plus alcalin, ce qui peut être bénéfique ou néfaste en fonction des cultures.

b. Faible teneur en azote : Les cendres ne contiennent pratiquement pas d'azote (N). Cela signifie qu'elles sont utiles pour enrichir le sol en potassium, calcium et autres minéraux, mais ne suffisent pas comme source d'engrais complet sans complément d'azote.

Nous retiendrons en moyenne pour nos calculs

- 1 % de phosphore (P_2O_5)
- 5 % de potassium (K_2O)
- 0 % d'azote (N)

Objectif : 10 % N, 10 % P, 10 % K pour un sol pauvre

- Azote (N) : Comme les cendres ne contiennent pas d'azote, il faudra l'ajouter séparément, par exemple via des sources naturelles comme l'urine, des engrais vert, un compost riche en azote, ou du fumier.
- Phosphore (P): Les cendres apportent en moyenne 1 % de phosphore, mais pour atteindre les 10 % nécessaires, il faudra ajouter une quantité importante de cendres.
- Potassium (K): Les cendres contiennent entre 5 % et 10 % de potassium, il faudra donc ajuster la quantité de cendres pour atteindre les 10 % de potassium dans l'engrais final.

Calculs approximatif :

- Phosphore (P): Si les cendres contiennent en moyenne 1 % de phosphore, pour atteindre 10 % de phosphore, il faudra utiliser environ 10 fois la quantité de cendres par rapport à la proportion totale d'engrais.
- Potassium (K): Si les cendres contiennent 5 % de potassium, pour atteindre 10 % de potassium, il faudra utiliser 2 fois la quantité de cendres par rapport à l'engrais.

Nous allons donc baser le calcul sur l'élément limitant, ici le phosphore, car il est en plus faible concentration.

Exemple de proportion (en g) pour 100 g d'engrais :

- Phosphore :
Pour avoir 20 % de P dans l'engrais et sachant que les cendres contiennent 1 % de P, il faut 1 g de cendres. Cela signifie que, théoriquement, pour atteindre 10 g de phosphore, il faudrait utiliser 1 kg de cendres.
- Potassium :
Avec 5 % de K dans les cendres et un objectif de 10 % de K, cela correspond à 200 g de cendres.
Ainsi, 200 g de cendres apportent suffisamment de potassium, mais nous aurions trop de cendres pour le phosphore. Le phosphore étant plus limitant, il nous faudra ajuster.

Conclusion :

- Pour 100 g d'engrais équilibré, il faudrait ajouter 10 % de phosphore et 10 % de potassium, ce qui correspondrait à utiliser environ 1 kg de cendres pour atteindre ces niveaux en phosphore (1 % dans les cendres).
- Ensuite, il faudrait compléter avec une source d'azote comme de l'urine ou un compost riche en azote pour atteindre 10 % d'azote.

En pratique, cela montre qu'il est difficile d'obtenir un engrais équilibré NPK à 10-10-10 uniquement à partir de cendres. Les cendres peuvent fournir principalement le phosphore et le potassium, mais il faudra combiner avec des sources riches en azote et d'autres matières organiques pour équilibrer la formule.

La composition des cendres de bois varie en fonction du type de bois brûlé, de la température de combustion, et d'autres facteurs, mais on peut établir une composition moyenne basée sur les données disponibles pour les cendres issues de bois communs (feuillus et résineux).

Conclusion : Pour enrichir le sol en phosphore et potassium à un niveau adéquat, des apports supplémentaires d'engrais ou de matières organiques seraient nécessaires.

Pour obtenir un engrais avec une composition NPK 10-10-10 à partir de l'urine et des cendres de bois (ou d'autres sources), il est nécessaire de combiner les deux en tenant compte de leurs concentrations respectives en azote (N), phosphore (P), et potassium (K).

Données utilisées:

a. Urine humaine (en moyenne) :

- Azote (N) : 9 à 11 g/L (on prendra ici 10 g/L pour simplifier)
- Phosphore (P) : 0,7 à 1 g/L (on prendra 1 g/L)
- Potassium (K) : 2 à 3 g/L (on prendra 2,5 g/L)

b. Cendres de bois (moyenne) :

- Phosphore (P) : 1 % (soit 10 g de P_2O_5 /kg de cendres)
- Potassium (K) : 5 % (soit 50 g de K_2O /kg de cendres)
- Les cendres ne contiennent pas d'azote (N) .

Impact de l'excès de potassium (K) dans un engrais

Un excès de potassium (K) dans le sol peut avoir plusieurs conséquences, notamment sur la santé des plantes et l'équilibre nutritionnel du sol. Voici les principaux effets :

a. Compétition avec d'autres nutriments :

- Carence en calcium (Ca) et en magnésium (Mg) : Le potassium, le calcium et le magnésium sont tous des cations qui partagent les mêmes canaux d'absorption dans les racines des plantes. Un excès de potassium peut limiter l'absorption de calcium et de magnésium, provoquant des carences en ces éléments essentiels. Cela peut entraîner des symptômes comme :
 - Chlorose (jaunissement des feuilles) en cas de manque de magnésium.
 - Problèmes de structure cellulaire en cas de manque de calcium (par exemple, la nécrose apicale chez les tomates).

b. Réduction de la qualité des fruits et légumes :

- Un excès de potassium peut réduire la qualité des récoltes, notamment en diminuant la teneur en sucre ou en acidité des fruits et légumes. Cela peut également affecter la conservation après récolte.

c. Effet sur l'équilibre du sol :

- Un excès de potassium peut perturber l'équilibre chimique du sol, entraînant une augmentation de la salinité du sol et une mauvaise rétention des autres nutriments essentiels.

d. Croissance déséquilibrée :

- Les plantes peuvent se concentrer sur la croissance des parties aériennes au détriment du développement des racines, réduisant leur capacité à absorber d'autres nutriments et l'eau. Cela peut entraîner une sensibilité accrue aux maladies et un développement inégal.

Comment modérer cet excès de potassium ?

Pour réduire l'excès de potassium dans notre engrais, nous avons plusieurs options :

Réduire la quantité de cendres utilisées :

- Puisque les cendres sont la principale source de potassium dans votre mélange, réduire la quantité de cendres utilisées est la méthode la plus directe. Cependant, cela réduira également l'apport en phosphore. Nous pouvons alors compenser le manque de phosphore par d'autres sources de phosphore qui n'ajoutent pas de potassium.

* Utiliser d'autres sources de phosphore sans potassium :

- Certaines sources naturelles de phosphore n'ont pas ou peu de potassium. En voici quelques-unes :

- Farine d'os : Très riche en phosphore et en calcium, mais ne contient pas de potassium.
- Guano : Contient principalement de l'azote et du phosphore, avec très peu de potassium.
- Phosphate de roche : Une source concentrée de phosphore qui ne contient pas de

potassium.

- En utilisant ces sources, nous pouvons réduire les cendres tout en atteignant notre objectif de 10 % de phosphore .

* Diluer l'engrais :

- Une autre option consiste à diluer l'engrais en le mélangeant à d'autres matières organiques qui n'ajoutent pas de potassium, comme le compost ou des matières humiques. Cela permet d'étaler la concentration de potassium sur une plus grande surface ou un volume de sol.

4. Améliorer la gestion des nutriments :

- Appliquer des pratiques comme le rotations des cultures et l'utilisation d'engrais verts (légumineuses par exemple) peut aider à mieux équilibrer l'absorption des nutriments dans le sol et éviter l'accumulation excessive de potassium.

Exemple de modification :

Si les 1 kg de cendres apportent trop de potassium (50 g de K pour seulement 20 g nécessaires), nous pouvons :

1. Réduire les cendres à 100 g pour atteindre les 5 g de potassium mais cela ne fournira que 1 g de phosphore .
2. Urine apportant 1 g de Phosphates
2. Ajouter du phosphate de roche ou de la farine d'os pour compléter l'apport en phosphore (5 à 8 g manquants).

BILAN :

Pour modérer l'excès de potassium dans votre formulation d'engrais NPK, la solution la plus simple est de réduire la quantité de cendres et de compléter avec des sources de phosphore sans potassium, comme la farine d'os ou le phosphate de roche. Cela permettrait de maintenir un bon équilibre en nutriments pour éviter les problèmes de carences et garantir une croissance saine des plantes.

Il est tout à fait possible de modéliser les proportions adéquates d'urine, de cendres, de poudre d'os ou de phosphate de roche ainsi que des apports en matières organiques (BRF/pailles apports lents ou différés de nutriments et enrichissement de la faune et mycorhizes)) pour obtenir un engrais NPK adapté à différentes cultures (comme les laitues, tomates, blettes, radis) en utilisant un outil de modélisation dynamique comme Vensim. Vensim permet de construire des modèles de systèmes complexes avec des stocks (levels) et flux (flows), qui sont adaptés pour représenter des systèmes dynamiques tels que les nutriments dans le sol (voir le document dédié).

Gestion de la Fertilisation naturelle des cultures

