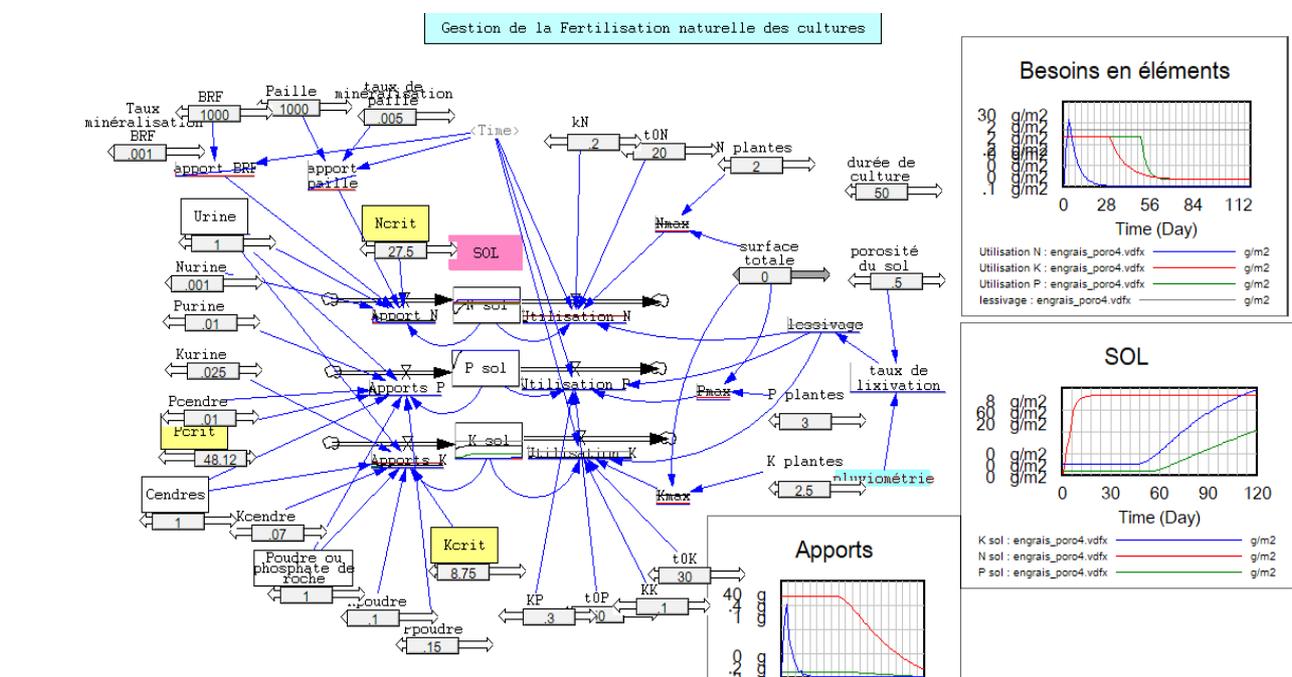


FICHE FERTILISATION NATURELLE 3 bis: Modélisation et simulation avec Vensim

Il est tout à fait possible de modéliser les proportions adéquates d'urine, de cendres, de poudre d'os ou de phosphate de roche 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.

Le modèle proposé est exploitable avec le visualiseur de modèles numériques est proposé au téléchargement ([Model Reader](#)). il permet d'ouvrir un modèle et de lancer des simulations en modifiant les paramètres . Il ne permet pas de construire ni de modifier un modèle, pour cela il faut utiliser la [version PLE](#) qui est gratuite. Cette version permet d'adapter et de corriger le modèle proposé pour des cultures.



I Structure du modèle dans Vensim

1. Stocks (levels) pour N, P, K :

Les "levels" représenteront les quantités d'azote (N), de phosphore (P), et de potassium (K) dans l'engrais en fonction des composants utilisés (urine, cendres, poudre d'os/phosphate de roche). Chaque élément aura son propre stock pour N, P, et K, modélisé par des équations.

- Stock N (Azote)
- Stock P (Phosphore)
- Stock K (Potassium)

2. Flows (flux d'entrée) :

Les composants comme l'urine, les cendres et la poudre d'os seront modélisés comme des flux entrant dans chaque stock. Ces flux seront proportionnels à la concentration en N,

P, K de chaque source. Par exemple, l'urine enrichit principalement en N, tandis que les cendres et la poudre d'os enrichissent en P et K.

3. Paramètres pour les cultures :

Vous pouvez modéliser les besoins en NPK des différentes cultures (laitue, tomate, blette, radis) sous forme de variables d'équation qui influenceront la quantité d'engrais nécessaire. Chaque culture aura des besoins spécifiques en NPK.

Exemple de modèle sous Vensim :

1. Urine (U) :

- Urine est riche en N (azote) et contient des quantités plus faibles de P (phosphore) et K (potassium) .

	N en g/l	NH4 en g/l	NO3	Urée	créatinine	A urique	P	K	apport l/m2	dilution	NaCl en g/l
urine	9										
urine	15	0,5		0	12	1,2	0,6		120	3	0,05
sol opti	2	0,01		0,05							
cendres								0,01		0,1	
poudre de Phosphate								0,1			
besoins /m2 en g	20						0,8		3		
apports en urine en litres/m2	2										
besoin en N en g/mois											
salade	2										
besoin en g/j	0,05										
besoin en g/plante	3										
un m ² de laitue soit en moyenne.	6 L d'urine								0,1 à 0,15 L d'urine par jour par m ²		

- Pour chaque litre d'urine appliqué :

$$N_{urine} = 10 \text{ g/L}, \quad P_{urine} = 1 \text{ g/L}, \quad K_{urine} = 2.5 \text{ g/L}$$

- Le flux de N, P, et K depuis l'urine est donné par l'équation :

$$\text{Flux } N_{urine} = U \times 10 \text{ g/L}$$

$$\text{Flux } P_{urine} = U \times 1 \text{ g/L}$$

$$\text{Flux } K_{urine} = U \times 2.5 \text{ g/L}$$

où (U) est la quantité d'urine appliquée en litres.

2. Cendres de bois (C) :

- Les cendres apportent principalement du P et du K .

- Pour chaque kg de cendres appliqué :

$$P_{cendres} = 10 \text{ g/kg}, \quad K_{cendres} = 50 \text{ g/kg}$$

- Le flux de P et K depuis les cendres est donné par :

$$\text{Flux } P_{cendres} = C \times 10 \text{ g/kg}$$

$$\text{Flux } K_{cendres} = C \times 50 \text{ g/kg}$$

où (C) est la quantité de cendres appliquée en kg.

3. Poudre d'os ou phosphate de roche (O) :

- La poudre d'os ou le phosphate de roche est riche en P .
- Pour chaque kg de poudre appliqué :

$$P_{\text{poudre}} = 150 \text{ g/kg}$$

- Le flux de P depuis la poudre est donné par :

$$\text{Flux } P_{\text{poudre}} = O \times 150 \text{ g/kg}$$

où (O) est la quantité de poudre appliquée en kg.

4. Besoins en NPK des cultures :

Pour modéliser les besoins spécifiques des différentes cultures, chaque culture aura une équation définissant ses besoins en fonction du temps et de l'élément NPK.

- Laitue :

$$N_{\text{laitue}} = 2 \text{ g/m}^2, \quad P_{\text{laitue}} = 0.5 \text{ g/m}^2, \quad K_{\text{laitue}} = 2 \text{ g/m}^2$$

- Tomate :

$$N_{\text{tomate}} = 3 \text{ g/m}^2, \quad P_{\text{tomate}} = 0.8 \text{ g/m}^2, \quad K_{\text{tomate}} = 3.5 \text{ g/m}^2$$

- Blette :

$$N_{\text{blette}} = 2.5 \text{ g/m}^2, \quad P_{\text{blette}} = 0.6 \text{ g/m}^2, \quad K_{\text{blette}} = 2.8 \text{ g/m}^2$$

- Radis :

$$N_{\text{radis}} = 1.5 \text{ g/m}^2, \quad P_{\text{radis}} = 0.4 \text{ g/m}^2, \quad K_{\text{radis}} = 1.8 \text{ g/m}^2$$

5. Équilibrage des proportions :

En fonction des besoins en NPK des différentes cultures, vous pouvez ajuster les proportions de chaque composant (urine, cendre, poudre d'os) pour atteindre un équilibre proche des 30 % N, 20 % P, 20 % K pour l'engrais final.

Par exemple, pour ajuster les apports en NPK pour les tomates :

$$\text{Besoin total en NPK (tomate)} = N_{\text{tomate}} : P_{\text{tomate}} : K_{\text{tomate}} = 3 : 0.8 : 3.5$$

Le modèle calculera ensuite les proportions optimales de chaque composant pour s'approcher de ces valeurs.

Conclusion :

Ce modèle peut être simulé dans Vensim pour observer comment chaque composant (urine, cendres, poudre d'os) contribue aux niveaux de N, P et K, et comment ces niveaux évoluent en fonction des besoins des cultures. Les équations établissent les flux d'entrée des éléments nutritifs et permettent d'optimiser les proportions des différents composants pour répondre aux besoins spécifiques des cultures maraîchères.

Pour intégrer la durée des cultures et les cycles de cultures sur une année dans un

modèle Vensim, il est possible de modéliser la dynamique de l'absorption des nutriments par les plantes en fonction du temps, tout en prenant en compte la période de croissance de chaque culture et les rotations ou cycles de plantation sur une saison. Voici comment structurer le modèle en fonction du temps et des cycles de cultures .

1. Définir la période de croissance pour chaque culture

Chaque culture a une durée spécifique de croissance. Par exemple :

- Laitue : 6 à 8 semaines (environ 50 jours)
- Tomate : 90 à 120 jours
- Blette : 60 à 90 jours
- Radis : 25 à 30 jours

Ces périodes de croissance influencent l'absorption des nutriments (N, P, K) au cours du temps. Le modèle doit donc ajuster les stocks de NPK en fonction de la durée de croissance de chaque culture.

2. Modéliser la consommation de NPK au fil du temps

Dans Vensim, les stocks (levels) de N, P, et K diminueront à mesure que les cultures absorberont les nutriments. La consommation dépendra de la croissance des plantes pendant leur période de culture, donc il est nécessaire de modéliser cette consommation de manière dynamique.

Consommation des nutriments en fonction du temps : On peut modéliser la consommation en tant que flux sortant des stocks N, P, et K, représentant l'absorption par les plantes au cours du temps.

Par exemple, si une laitue consomme 2 g/m² de N, et que la période de croissance est de 50 jours, la consommation quotidienne de N serait :

$$\text{Consommation quotidienne de N (laitue)} = \frac{2 \text{ g/m}^2}{50 \text{ jours}} = 0.04 \text{ g/m}^2/\text{jour}$$

Ce flux serait appliqué chaque jour de la croissance des laitues.

Pour chaque culture (généralisation) :

- Pour la culture (X) de durée (Dx) :

$$\text{Consommation journalière de N}_X = \frac{\text{Besoin total de N}}{D_X}$$

$$\text{Consommation journalière de P}_X = \frac{\text{Besoin total de P}}{D_X}$$

$$\text{Consommation journalière de K}_X = \frac{\text{Besoin total de K}}{D_X}$$

Ces équations décrivent les flux d'absorption des nutriments par les plantes au fil du

temps pendant leur période de croissance.

3. Rotations et cycles des cultures

Si plusieurs cycles de cultures sont prévus sur une année (par exemple, des rotations entre laitues, radis, tomates, etc.), cela peut être modélisé en Vensim en prenant en compte les périodes de culture successives. Chaque cycle ajoutera une nouvelle demande en NPK dans le sol, et il faudra ajuster les stocks d'engrais disponibles.

Intégration des cycles dans Vensim :

- Stock NPK total dans le sol : Représente la quantité de N, P, et K disponibles au début de chaque cycle de culture.
- Rotation des cultures : Chaque nouvelle culture commence à une date définie après la fin de la précédente. Les flux de consommation de N, P, et K pour chaque culture sont activés uniquement pendant leur période de croissance.

Exemple pour une année avec rotations de laitue et radis :

- Cycle 1 : Laitue (mars à avril, 50 jours)

Pendant ces 50 jours, les laitues absorbent du N, P, et K quotidiennement.

Une fois la récolte terminée, un nouveau cycle commence.

- Cycle 2 : Radis (mai, 30 jours)

Pendant les 30 jours, les radis absorbent les nutriments, et ainsi de suite.

Ces cycles se répètent jusqu'à la fin de l'année, avec des cultures différentes à chaque fois.

4. Prise en compte de la saisonnalité et des ajouts d'engrais

Entre chaque cycle, il est possible de réapprovisionner le sol avec de l'engrais pour rétablir les niveaux de N, P, et K. Ces ajouts peuvent être modélisés comme des flux entrants qui augmentent les stocks de N, P, et K dans le sol au début ou pendant chaque cycle de culture.

Exemple de réapprovisionnement en engrais :

- Ajout d'urine et de cendres avant chaque cycle : définir des flux entrants représentant la quantité d'urine, de cendres ou de poudre d'os ajoutée avant le début de chaque nouvelle culture.

- Par exemple, ajoutez 3 litres d'urine avant chaque plantation de laitue :

$$\text{Ajout } N_{\text{urine}} = 3 \times 10 \text{ g/L} = 30 \text{ g}$$

et cela serait ajouté au stock N du sol.

5. Modélisation en temps continu

Vensim permet de modéliser en temps continu. Chaque jour, le modèle met à jour les niveaux de N, P, et K dans le sol en fonction des flux entrants (apports d'engrais) et des flux sortants (absorption par les cultures). Les équations se présentent comme suit :

Flux entrants (apports d'engrais) :

$$\text{Flux entrant N} = \text{apport d'urine} \times 10 \text{ g/L}$$

$$\text{Flux entrant P} = (\text{apport de cendres} \times 10 \text{ g/kg}) + (\text{apport de poudre d'os} \times 150 \text{ g/kg})$$

$$\text{Flux entrant K} = \text{apport de cendres} \times 50 \text{ g/kg}$$

Flux sortants (absorption par les cultures) :

$$\text{Flux sortant N} = \sum_{\text{cultures}} \frac{\text{Besoin total de N}}{\text{durée de croissance}}$$

$$\text{Flux sortant P} = \sum_{\text{cultures}} \frac{\text{Besoin total de P}}{\text{durée de croissance}}$$

$$\text{Flux sortant K} = \sum_{\text{cultures}} \frac{\text{Besoin total de K}}{\text{durée de croissance}}$$

6. Simuler plusieurs scénarios

En ajustant les variables comme les quantités d'engrais (urine, cendres, phosphate de roche) et la fréquence des cycles de culture, vous pouvez simuler différents scénarios :

- Quelle quantité d'engrais faut-il ajouter pour répondre aux besoins d'une culture spécifique ?
- Quel est l'effet d'un excès ou d'un manque de nutriments sur une période de plusieurs cycles ?
- Comment les rotations de cultures influencent-elles l'équilibre NPK du sol au fil du temps ?

Conclusion

En modélisant les besoins en NPK, les périodes de croissance, et les cycles de cultures dans Vensim, nous pouvons optimiser les apports d'engrais (urine, cendres, poudre d'os, etc.) en fonction des besoins des différentes cultures maraîchères tout au long de l'année. Cette approche permet d'anticiper les variations des niveaux de nutriments dans le sol et d'ajuster les apports d'engrais de manière précise pour éviter les carences ou excès.

Dans la réalité, les besoins en N, P, et K d'une plante varient au cours de son cycle de vie, en fonction de ses stades de croissance (germination, croissance végétative, floraison, fructification, etc.). Pour intégrer ces variations dans un modèle Vensim, il est possible de représenter les besoins en nutriments comme des fonctions du temps qui tiennent compte des différents stades de développement de la plante. Voici comment ajuster le modèle pour prendre en compte cette variabilité dans le temps.

1. Stades de croissance des plantes

Chaque culture a des besoins différents en fonction de ses stades de croissance. Par exemple :

- Stade de germination : Faible demande en NPK
- Stade de croissance végétative : Forte demande en azote (N)
- Stade de floraison ou fructification : Forte demande en phosphore (P) et en potassium (K)

Exemple pour la tomate :

- Germination (0 à 10 jours) : Très faible demande en nutriments
- Croissance végétative (10 à 50 jours) : Forte demande en azote
- Floraison et fructification (50 à 120 jours) : Forte demande en phosphore et potassium

2. Modéliser les besoins en NPK comme des fonctions du temps

Dans Vensim, les besoins en N, P, et K pour chaque culture peuvent être modélisés comme des fonctions dépendantes du temps, ce qui permet d'ajuster la consommation de nutriments en fonction des différents stades de développement de la plante.

a. Modélisation des besoins en NPK sur un cycle de culture

Pour une plante donnée (par exemple, une tomate), les besoins en N, P, et K peuvent être représentés par des courbes qui varient avec le temps.

Fonction pour l'azote (N) :

- $N(t)$ représente la quantité d'azote absorbée par la plante à un moment donné t de son cycle de croissance. Cette fonction peut être définie par une combinaison de segments pour les différents stades de croissance.

Exemple :

$$N(t) = \begin{cases} N_{\text{germination}} & \text{si } t \in [0, 10] \\ N_{\text{végétatif}} & \text{si } t \in [10, 50] \\ N_{\text{fructification}} & \text{si } t \in [50, 120] \end{cases}$$

- Pendant la germination (0 à 10 jours) : $N(t)$ est très faible.
- Pendant la croissance végétative (10 à 50 jours) : $N(t)$ augmente fortement.
- Pendant la floraison et la fructification (50 à 120 jours) : $N(t)$ peut rester constant ou légèrement diminuer.

Fonction pour le phosphore (P) et le potassium (K) :

De manière similaire, les besoins en P et K sont plus élevés pendant la floraison et la fructification :

$$P(t) = \begin{cases} P_{\text{germination}} & \text{si } t \in [0, 10] \\ P_{\text{végétatif}} & \text{si } t \in [10, 50] \\ P_{\text{fructification}} & \text{si } t \in [50, 120] \end{cases}$$

$$K(t) = \begin{cases} K_{\text{germination}} & \text{si } t \in [0, 10] \\ K_{\text{végétatif}} & \text{si } t \in [10, 50] \\ K_{\text{fructification}} & \text{si } t \in [50, 120] \end{cases}$$

Les courbes de ces besoins peuvent être représentées sous forme de segments linéaires, de fonctions exponentielles ou de fonctions de type sigmoïde pour modéliser les périodes de forte absorption.

3. Intégrer les fonctions de consommation dans Vensim

En fonction des fonctions définies ci-dessus, nous pouvons modéliser le flux sortant des nutriments en fonction du temps et des besoins de chaque culture.

Exemple : Flux de consommation d'azote pour une culture de tomate
Le flux de consommation d'azote sera défini par l'équation :

$$\text{Flux sortant N} = N(t) \times \text{surface plantée (m}^2\text{)}$$

Cela signifie que, pour chaque jour du cycle de croissance, la plante consommera une certaine quantité d'azote en fonction de la phase de croissance.

Flux de consommation de phosphore et potassium
De même, les flux pour le phosphore et le potassium sont :

$$\text{Flux sortant P} = P(t) \times \text{surface plantée (m}^2\text{)}$$

$$\text{Flux sortant K} = K(t) \times \text{surface plantée (m}^2\text{)}$$

Ces flux seront dynamiquement ajustés en fonction du jour (t) dans le cycle de croissance de la culture.

4. Modélisation des cycles de cultures multiples sur une année

Si plusieurs cycles de cultures sont prévus sur une année, ces fonctions dynamiques de besoins en NPK devront être répétées pour chaque cycle, en fonction des dates de début et de fin de chaque culture. Chaque cycle pourra être modélisé de manière indépendante avec ses propres besoins en fonction du temps.

5. Gestion des apports en NPK (engrais) sur la durée

Pour maintenir un équilibre des stocks de NPK dans le sol, il faut également modéliser les apports d'engrais en fonction des stades de croissance des plantes. Par exemple :

- Pendant la croissance végétative, nous pourrions ajuster les flux entrants d'azote pour répondre à la demande croissante.
- Pendant la floraison/fructification, les apports en P et K devraient être augmentés.

6. Équations de base pour les flux dans Vensim

- Stock N (azote dans le sol) :

$$dN/dt = \text{apports N} - \text{consommation N par les cultures}$$

- Stock P (phosphore dans le sol) :

$$dP/dt = \text{apports P} - \text{consommation P par les cultures}$$

- Stock K (potassium dans le sol) :

$$dK/dt = \text{apports K} - \text{consommation K par les cultures}$$

Les apports peuvent être modélisés comme des flux entrants basés sur l'ajout d'engrais (urine, cendres, poudre d'os, etc.), tandis que les flux sortants sont modifiés selon les besoins de chaque culture au fil du temps.

7. Visualiser et ajuster les scénarios

Vensim permet de simuler ces équations sur plusieurs cycles de culture, en ajustant les apports d'engrais en fonction des besoins temporels de chaque culture. Nous pouvons visualiser :

- L'évolution des stocks de N, P, et K dans le sol au fil du temps.
- Les moments où l'ajout d'engrais est nécessaire pour éviter une carence ou un excès de nutriments.
- L'impact des besoins spécifiques des cultures à chaque stade de développement.

Conclusion

En modélisant les besoins en NPK comme des fonctions du temps, vous pouvez représenter plus fidèlement les variations des besoins nutritionnels des plantes au cours de leur cycle de vie. Cela nous permet de mieux ajuster les apports d'engrais naturels (urine, cendres, poudre d'os) en fonction des stades de croissance des cultures (laitues, tomates, radis, etc.) et d'éviter les excès ou les carences en nutriments tout au long de l'année.

Pour modéliser les variations des besoins en nutriments (N, P, K) au cours du temps avec des fonctions sigmoïdes, l'idée est d'utiliser des fonctions qui représentent une montée progressive (phase de forte absorption) suivie d'une stabilisation (phase de faible absorption). Les fonctions sigmoïdes sont parfaites pour modéliser ce type de comportement car elles augmentent progressivement, atteignent un plateau, et se stabilisent.

II Utiliser ces fonctions pour modéliser les besoins en N, P, K des plantes dans Vensim.

1. Fonction sigmoïde de base

La forme générale d'une fonction sigmoïde est la suivante :

$$f(t) = \frac{L}{1 + e^{-k(t-t_0)}}$$

- (L) : le maximum que la fonction peut atteindre (besoin maximal en N, P, ou K).
- (k) : le taux de croissance de la fonction, déterminant la rapidité avec laquelle la plante passe d'une faible absorption à une forte absorption.
- (t₀) : le moment où la fonction commence à augmenter rapidement (le point d'inflexion), correspondant souvent à une phase critique dans la croissance de la plante (comme la

transition entre la germination et la croissance végétative).

- (t) : le temps (généralement en jours) au cours du cycle de croissance de la plante.

2. Modélisation du besoin en azote (N)

Prenons l'exemple de la tomate, qui a un besoin en azote particulièrement élevé pendant sa phase de croissance végétative. Voici comment une fonction sigmoïde peut modéliser ce besoin.

$$N(t) = \frac{N_{\max}}{1 + e^{-k_N(t-t_{0N})}}$$

- N_{\max} : Le besoin maximal en azote, atteint pendant la phase de croissance végétative.

- k_N : Le taux d'absorption, déterminant à quelle vitesse la plante augmente sa demande en azote.

- t_{0N} : Le moment où le besoin en azote commence à augmenter significativement (par exemple, à partir de la fin de la germination).

Exemple concret pour la tomate :

- Germination (0 à 10 jours) : Faible besoin en azote.

- Croissance végétative (10 à 50 jours) : Forte absorption d'azote.

- Floraison/fructification (50 à 120 jours) : Stabilisation ou légère diminution du besoin en azote.

Paramètres possibles :

- $N_{\max} = 3 \text{ g/m}^2$ (par exemple)
- $k_N = 0.2$ (croissance moyenne du besoin)
- $t_{0N} = 20 \text{ jours}$ (augmentation significative des besoins à partir du 20ème jour)

La fonction devient alors :

$$N(t) = \frac{3}{1 + e^{-0.2(t-20)}}$$

Cette fonction augmentera rapidement après 20 jours, atteignant un plateau autour de 3 g/m², reflétant la forte absorption d'azote pendant la phase végétative.

3. Modélisation du besoin en phosphore (P) et en potassium (K)

Les besoins en phosphore et en potassium augmentent souvent plus tard dans le cycle, surtout pendant la floraison et la fructification.

Fonction sigmoïde pour le phosphore :

$$P(t) = \frac{P_{\max}}{1 + e^{-k_P(t-t_{0P})}}$$

- (P_{\max}) : Le besoin maximal en phosphore, atteint pendant la floraison/fructification.
- (k_P) : Le taux de croissance du besoin en phosphore.
- (t_{0P}) : Le point d'inflexion, correspondant au moment où le besoin en phosphore commence à augmenter (par exemple, autour de 50 jours).

Exemple :

- $P_{\max} = 1.5 \text{ g/m}^2$
- $k_P = 0.3$
- $t_{0P} = 60 \text{ jours}$ (le besoin en P commence à croître pendant la phase de fructification)

La fonction devient :

$$P(t) = \frac{1.5}{1 + e^{-0.3(t-60)}}$$

Cette fonction modélise une absorption plus tardive du phosphore, correspondant à la phase de floraison.

Fonction sigmoïde pour le potassium (K) :

De même, pour le potassium, qui est essentiel pour le développement des fruits et le renforcement des tissus, le modèle peut être similaire :

- (K_{\max}) : Le besoin maximal en potassium.
- (k_K) : Le taux de croissance du besoin en K.
- (t_{0K}) : Le moment où le besoin en K commence à croître.

4. Combinaison des besoins en N, P, et K sur une culture

Vous pouvez combiner ces trois fonctions pour modéliser l'évolution des besoins en N, P, et K au fil du temps pour une culture donnée.

Pour une culture de tomates, par exemple :

- $N(t)$ modélise une absorption rapide pendant la phase végétative.
- $P(t)$ et $K(t)$ modélisent une absorption tardive pendant la floraison et la fructification.

Les équations pour chaque nutriment peuvent être ensuite utilisées dans Vensim pour modéliser les flux de consommation des nutriments en fonction du temps.

5. Impact sur le modèle Vensim

Dans le modèle Vensim, ces fonctions sigmoïdes seront utilisées pour modéliser les flux sortants de N, P, et K à chaque moment t dans le cycle de culture. Par exemple :

Ces flux seront dynamiquement ajustés en fonction du jour t dans le cycle de croissance de chaque culture, permettant de refléter fidèlement les périodes de forte et faible absorption des nutriments par la plante.

6. Ajustement des paramètres

Les paramètres peuvent être ajustés en fonction des caractéristiques spécifiques de chaque culture et de leur période de croissance. Par exemple :

- Les laitues auront des besoins en N principalement pendant les premières semaines de croissance.
- Les tomates auront des besoins en N élevés pendant la phase végétative, suivis de forts besoins en P et K pendant la fructification.

Conclusion: Les fonctions sigmoïdes permettent de modéliser de manière réaliste les besoins en nutriments des plantes au cours de leur cycle de vie. En ajustant les paramètres des fonctions sigmoïdes, nous pouvons représenter les périodes de forte et faible absorption des nutriments et les intégrer dans un modèle Vensim pour mieux planifier l'apport en NPK pour chaque culture au fil du temps.

Pour modéliser les flux sortants de N, P, et K sous Vensim, il est nécessaire d'écrire les équations des flux basées sur les fonctions sigmoïdes que nous avons définies précédemment.

Conclusion: En utilisant ces équations sigmoïdes sous Vensim pour les flux sortants de N, P, et K, nous pouvons modéliser de manière réaliste les besoins en nutriments des cultures au fil du temps. Chaque flux est modulé par une fonction dépendant du temps, qui permet de représenter à la fois les périodes de forte absorption des nutriments et celles de moindre besoin. Cette approche permet d'optimiser les apports d'engrais naturels tout au long des cycles de croissance des cultures.

Les valeurs "max" devraient effectivement refléter les besoins totaux des plantes sur la surface cultivée, mais ces besoins doivent être ajustés en fonction de plusieurs facteurs environnementaux et agronomiques, tels que la pluviométrie, la texture du sol, la porosité, le pH, et la vulnérabilité au lessivage.

Ce sont les besoins unitaires de chaque plante par m^2 , et "surfaceplante" est la surface cultivée de chaque culture. Cela donne une première approximation des besoins théoriques.

Cependant, dans le cadre d'un modèle réaliste, ces besoins théoriques seront ensuite modulés par des facteurs environnementaux comme la pluviométrie, la texture du sol, etc.

Dans le modèle proposé il est intégré la lixivation avec la porosité, l'apport en amendement et le pH, l'utilisation de matière organique fraîche (paille, BRF, C/N)

Les points clé :

- Besoins (ou demandes) sont influencés par les nutriments disponibles dans le sol et l'état des plantes, et sont plus dynamiques.
- Utilisation est la quantité effectivement extraite du sol par les plantes, qui dépend à la fois des besoins et de la disponibilité dans le sol.

Dans ce modèle, si le flux de sortie exprime les besoins des plantes, il est logique que ces besoins diminuent proportionnellement lorsque les niveaux de nutriments dans le sol augmentent. Les plantes n'ont pas besoin de demander plus de nutriments lorsqu'elles en ont déjà suffisamment à disposition.

Pour modéliser l'utilisation réelle des nutriments, il faudra probablement revoir certaines équations pour que le flux de sortie soit proportionnel à la quantité effectivement absorbée par les différentes espèces de plantes, plutôt qu'à leur demande totale.

Cela peut aussi expliquer pourquoi on observe que les apports massifs initiaux provoquent une baisse des besoins, car les nutriments sont déjà présents en quantité suffisante dans le sol, réduisant proportionnellement les flux de sorties par les plantes.