

Contexte

Les nématodes sont un véritable fléau pour l'industrie de la betterave sucrière. En effet, les nématodes attaquent les racines latérales de la plante, qui en réponse produit un dense réseau de racines latérales, ce qui nuit au développement de la racine principale riche en sucre.

1. Modélisation de l'architecture racinaire

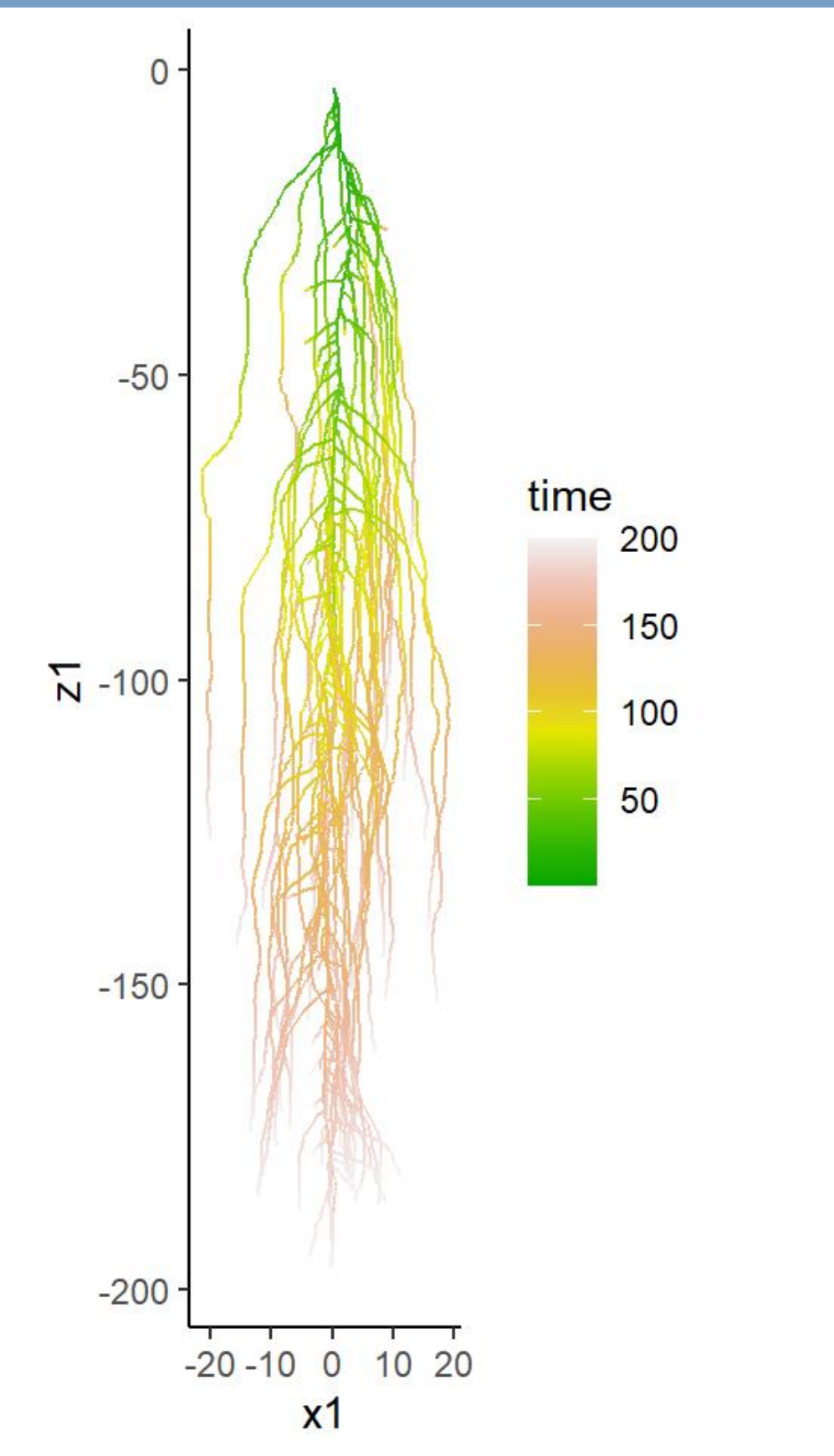
Analyse d'images d'architecture racinaire avec ImageJ-SmartRoot, sur base d'images de 3 systèmes de betteraves de la variété RTNT5.

Les données des images sont ensuite récupérées à l'aide du plug-in SmartRoot dans ImageJ grâce à un traçage semi-automatique des racines primaires, latérales, nodales et séminales.

Modélisation de l'architecture racinaire avec CRootBox

Dans un deuxième temps, ce programme R est utilisé pour simuler la croissance d'un système racinaire de betteraves. Les paramètres mesurés dans la première étape sont utilisés pour modéliser un système de 200 jours.

Description	Parameter name	Units
Root radius	<i>a</i>	cm
Initial elongation rate	<i>r</i>	cm d ⁻¹
Insertion angle	θ	rad
Length of basal zone	<i>l_a</i>	cm
Length of apical zone	<i>l_b</i>	cm
Length between lateral branches	<i>l_c</i>	cm
Maximal root length	<i>l_{max}</i>	cm
Tropism type	<i>type</i>	{0,1,2,3} ¹
Number of trials (tropism strength)	<i>N</i>	1
Standard deviation of random angular change	σ	cm ⁻¹
Root successor types	<i>successor name</i>	[type, probability; ...]
Name of the root type	<i>colour</i>	String
Root colour	<i>colour</i>	RGB
Resolution along root axis	<i>dx</i>	cm
Root life time	<i>rlt</i>	day
Type of root elongation	<i>gf</i>	{1,2} ²
Scale elongation	<i>se</i>	Function ³
Scale branching probability	<i>sbp</i>	Function ³
Scale branching angle	<i>sa</i>	Function ³

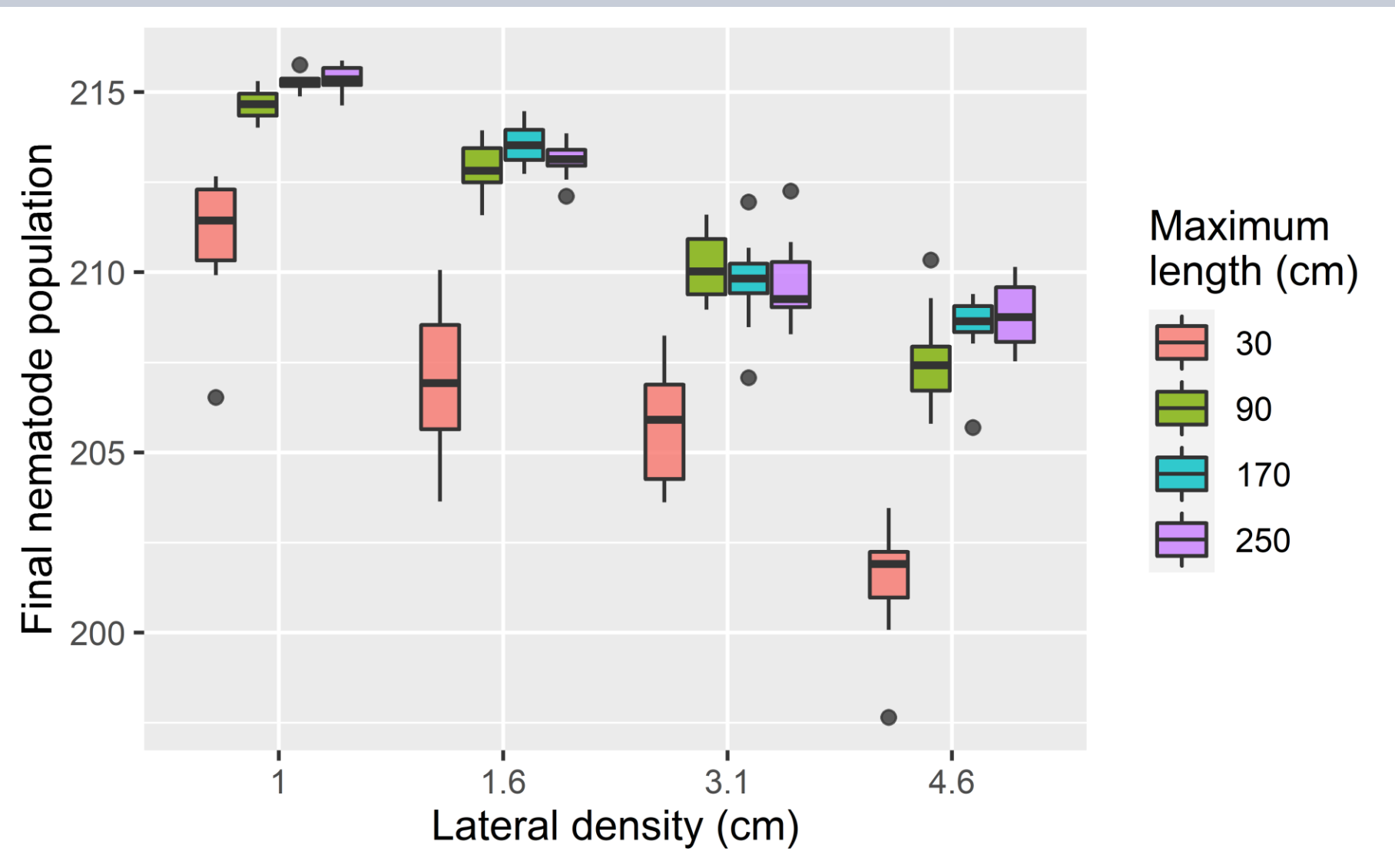


Comparaison du modèle avec la réalité:

Les travaux de Weaver et Bruner (1927) ont permis de constater que le modèle pourrait être amélioré pour s'approcher de la réalité.

Conclusions et perspectives

L'analyse de la variation des paramètres racinaires permet de mettre en lumière le lien entre l'architecture racinaire de la betterave et la sensibilité aux attaques de nématodes. Une betterave possédant un petit réseau peu dense en racines latérales permet de limiter la croissance de la population de nématodes mais au détriment de son propre développement.



Objectifs et contraintes

Ce projet met en lumière l'impact de l'architecture racinaire de la betterave sur la croissance de la population de nématodes. Il est nécessaire de trouver une architecture racinaire qui permet de limiter au mieux cette quantité de nématodes pour réduire les dégâts causés aux cultures de betterave.

Le programme CRootBox n'est pas adapté à la croissance de la betterave au-delà d'un certain nombre de jours. L'architecture du système racinaire de la betterave est caractérisée par la présence d'un pivot, racine principale qui se développe en largeur. Les nématodes attaquant les racines latérales, la croissance du pivot ne sera pas prise en compte.

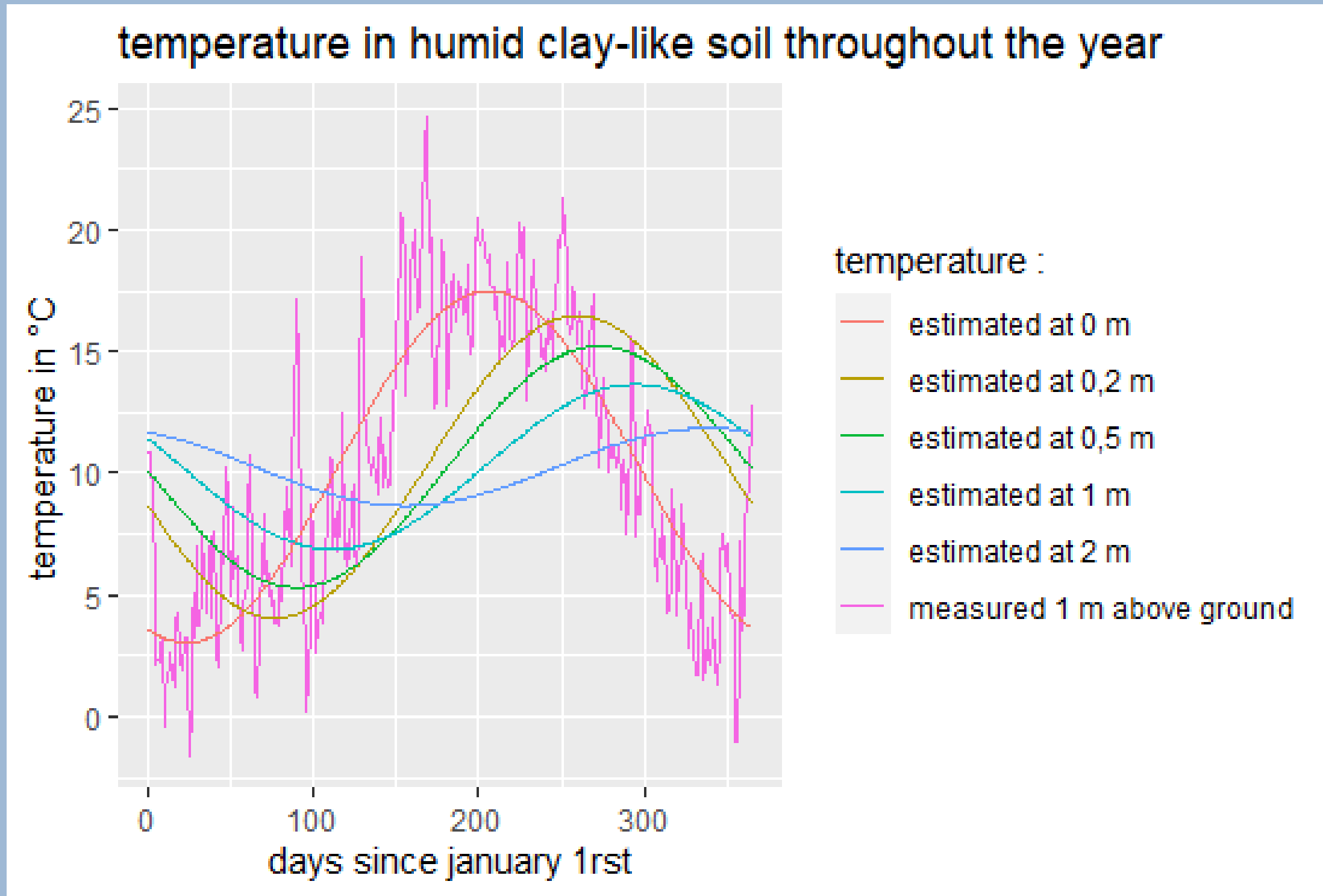
2. Modélisation de l'évolution de la température dans les différentes couches du sol

La température à différentes profondeurs de sol est modélisée selon l'équation

$$Temperature = average + Amplitude * \exp(-depth * \sqrt{\frac{\pi}{a * 365}}) * \cos\left(2 * \pi * \frac{day}{365} - depth * \sqrt{\frac{\pi}{a * 365}} - Phase\right)$$

Le paramètre α représente la diffusivité thermique du sol, qui est dépendante de la texture et de la composition du sol.

Pour se rapprocher des températures observées, la moyenne des températures sur l'année (θ_m), l'amplitude des températures (A) et le déphasage (T) ont été optimisés grâce à la méthode de Newton de minimisation de la somme des carrés des erreurs.



3. Modélisation du développement de population de nématodes dans le sol

Hypothèses

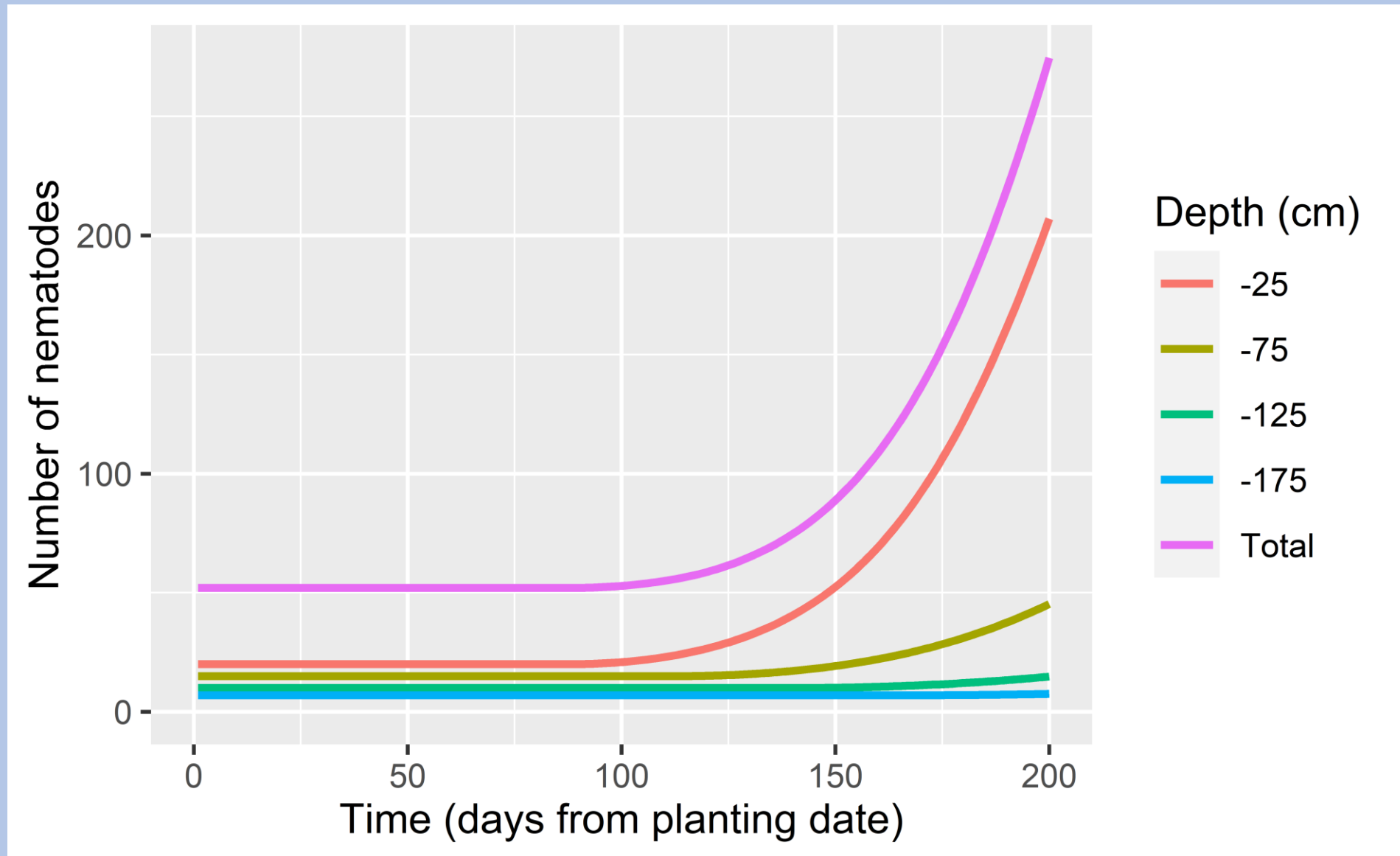
La croissance de la population de nématodes est influencée par la température du sol à différentes profondeurs, la texture du sol (limoneux, argileux, etc.), ses constituants, et le volume racinaire. Plus la densité est grande, plus les nématodes se développent et plus les dégâts racinaires sont importants. La vitesse de croissance des nématodes croît linéairement avec la température du sol. Si celle-ci est inférieure ou égale à 11°C, le cycle de reproduction des nématodes est interrompu et le nombre de nématodes reste constant.

Modèle

L'évolution de la population de nématodes suit la fonction logistique

$$N(t) = \frac{K * N0 * \exp(r * t)}{(K + N0 * (\exp(r * t) - 1))}$$

La population de nématodes croît jusqu'à atteindre un plateau qui correspond à la « carrying capacity » (K). Celle-ci est dépendante du volume racinaire.

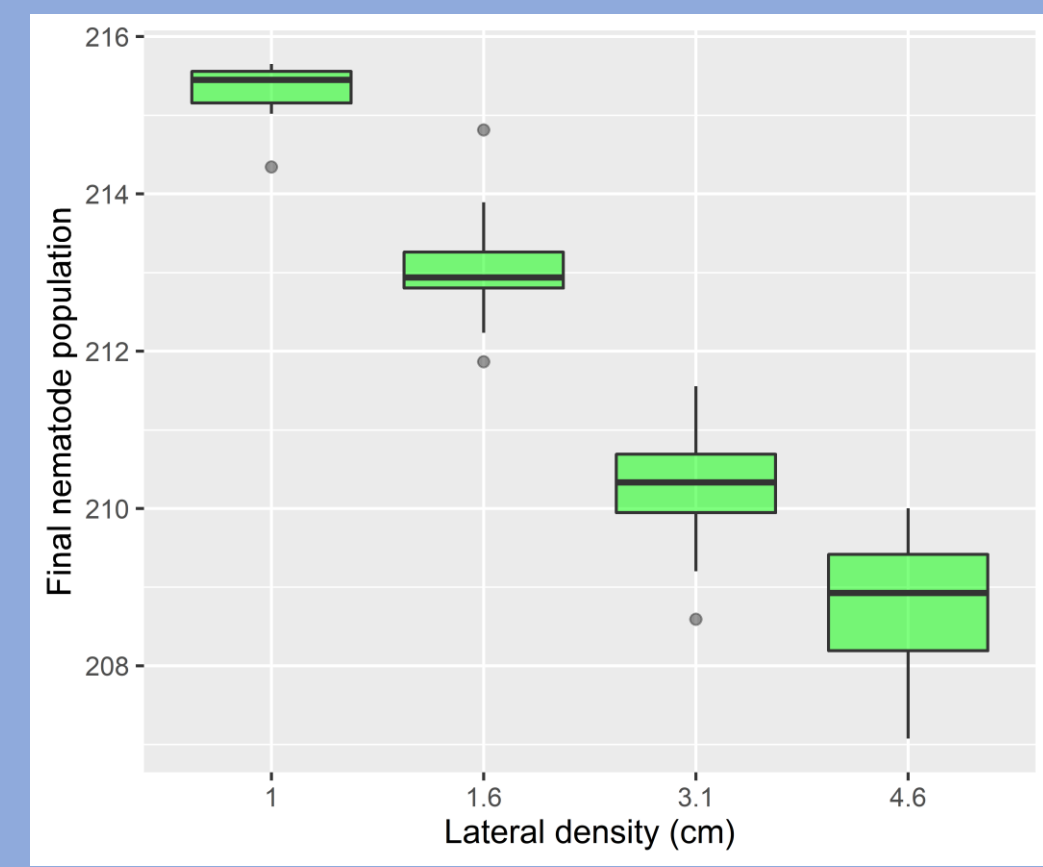
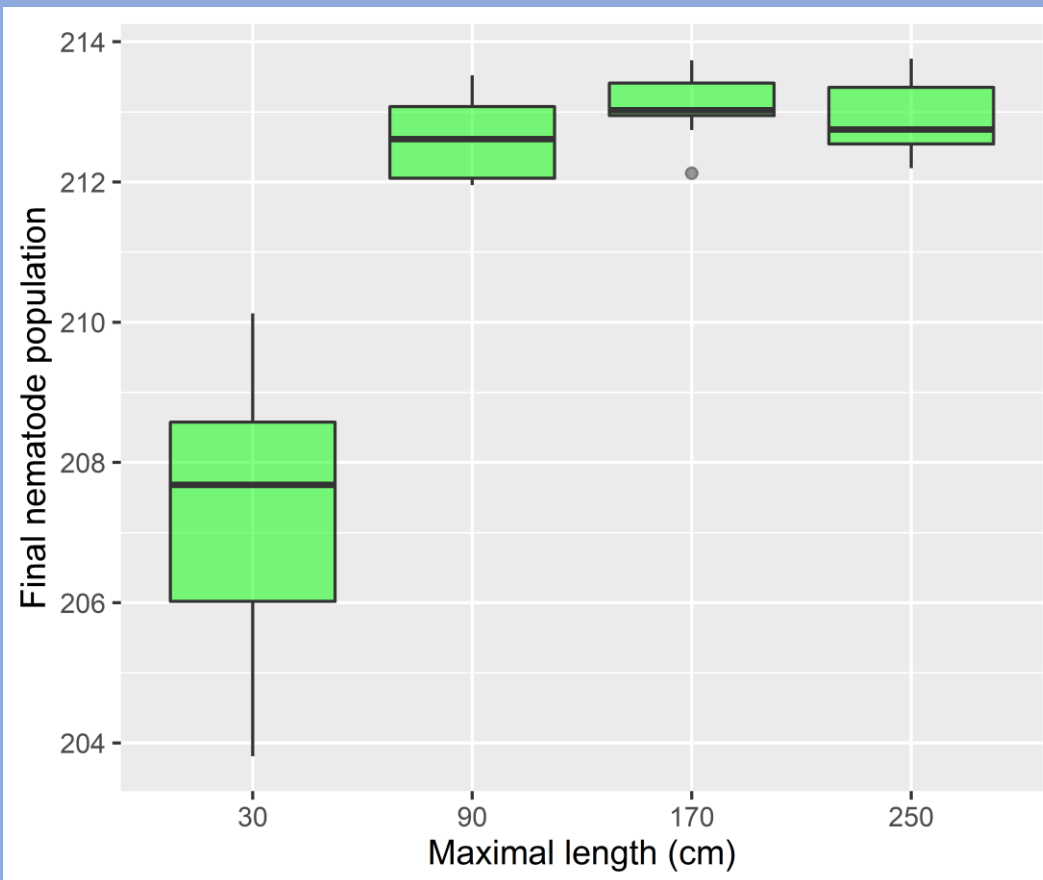


4. Analyse de l'interaction entre nématodes et racines

Pour analyser la variation de la population de nématodes en fonction de l'architecture racinaire, nous avons choisi de faire varier deux paramètres : la longueur maximale des racines latérales et l'intervalle entre chaque racine latérale. Pour ce faire, nous avons défini quatre valeurs pour chacun des paramètres en s'inspirant de la littérature.

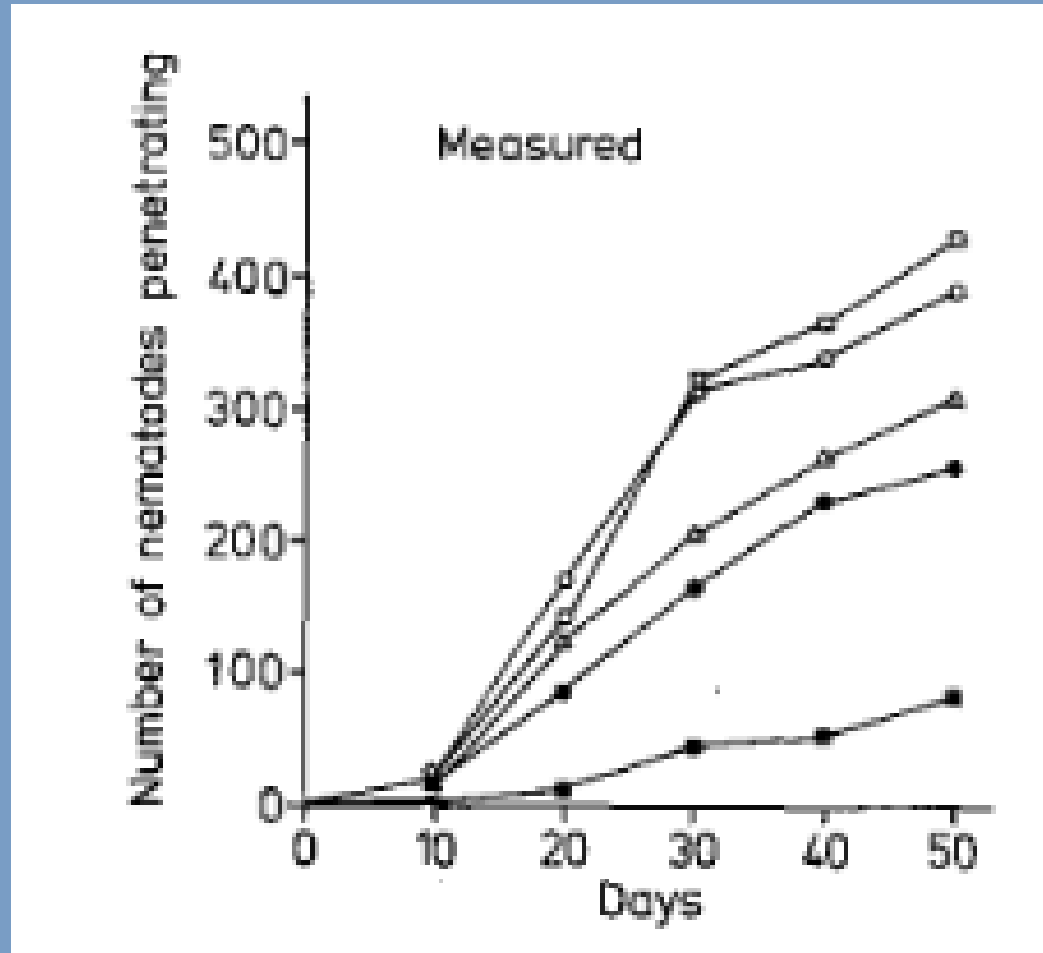
Plus la longueur maximale de la racine est grande, plus la population de nématodes croît. Une longueur maximale très faible empêche un bon développement du système racinaire et donc la population de nématodes reste plus faible.

Plus la distance entre deux racines latérales est grande plus la population de nématodes est faible.



5. Comparaison du modèle avec une population de nématodes in situ

Notre modèle prédit un plateau dans l'évolution du nombre de nématodes dû aux températures en dessous du seuil de développement, suivi d'une croissance logistique autour de la mi-mai. Ceci se vérifie dans la littérature, comme chez Werf et al. par exemple.



Références:

- (1) Root Development of Vegetable Crops : Chapter VIII. (s. d.). Consulté 9 mai 2022, à l'adresse <https://soilandhealth.org/wp-content/uploads/01aglibrary/010137veg.roots/010137ch8.html>
- (2) Van Der Werf, W., Rabbinge, R., & Heijbroek, W. (1986). Spring invasion of *Heterodera schachtii* in sugarbeet; a simulation study. *Netherlands Journal of Plant Pathology*, 92(1), 33-42. <https://doi.org/10.1007/BF01976374>