



HAL
open science

Analyse et modélisation de la nutrition azotée chez le pois

Anne-Sophie Voisin

► **To cite this version:**

Anne-Sophie Voisin. Analyse et modélisation de la nutrition azotée chez le pois. Agrophysiologie des Protéagineux. Mise à Jour des Connaissances, Dec 2012, Paris, France. hal-02804783

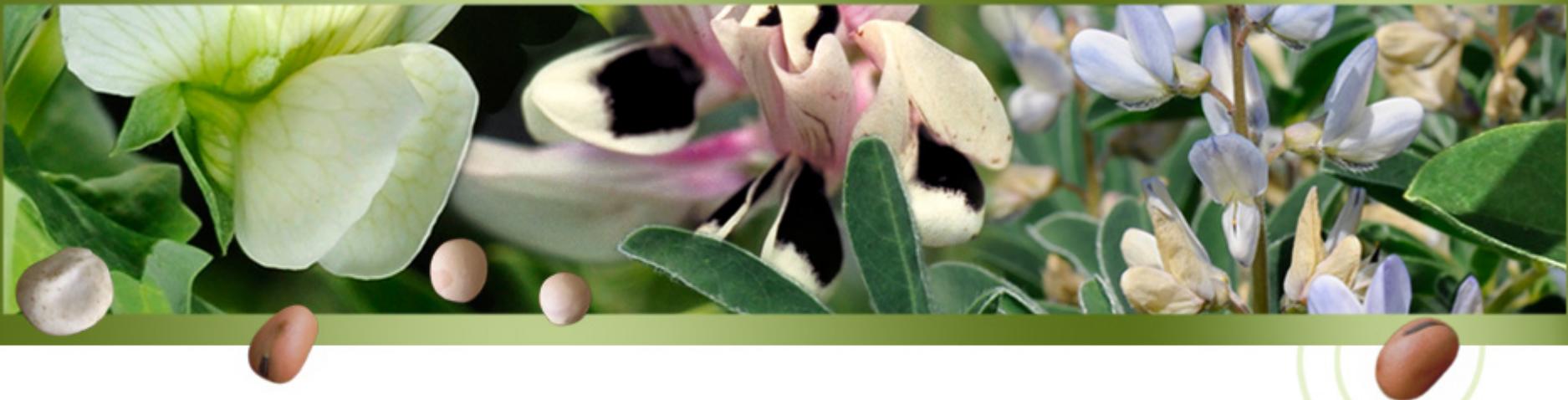
HAL Id: hal-02804783

<https://hal.inrae.fr/hal-02804783>

Submitted on 5 Jun 2020

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Analyse et Modélisation de la nutrition azotée chez le pois

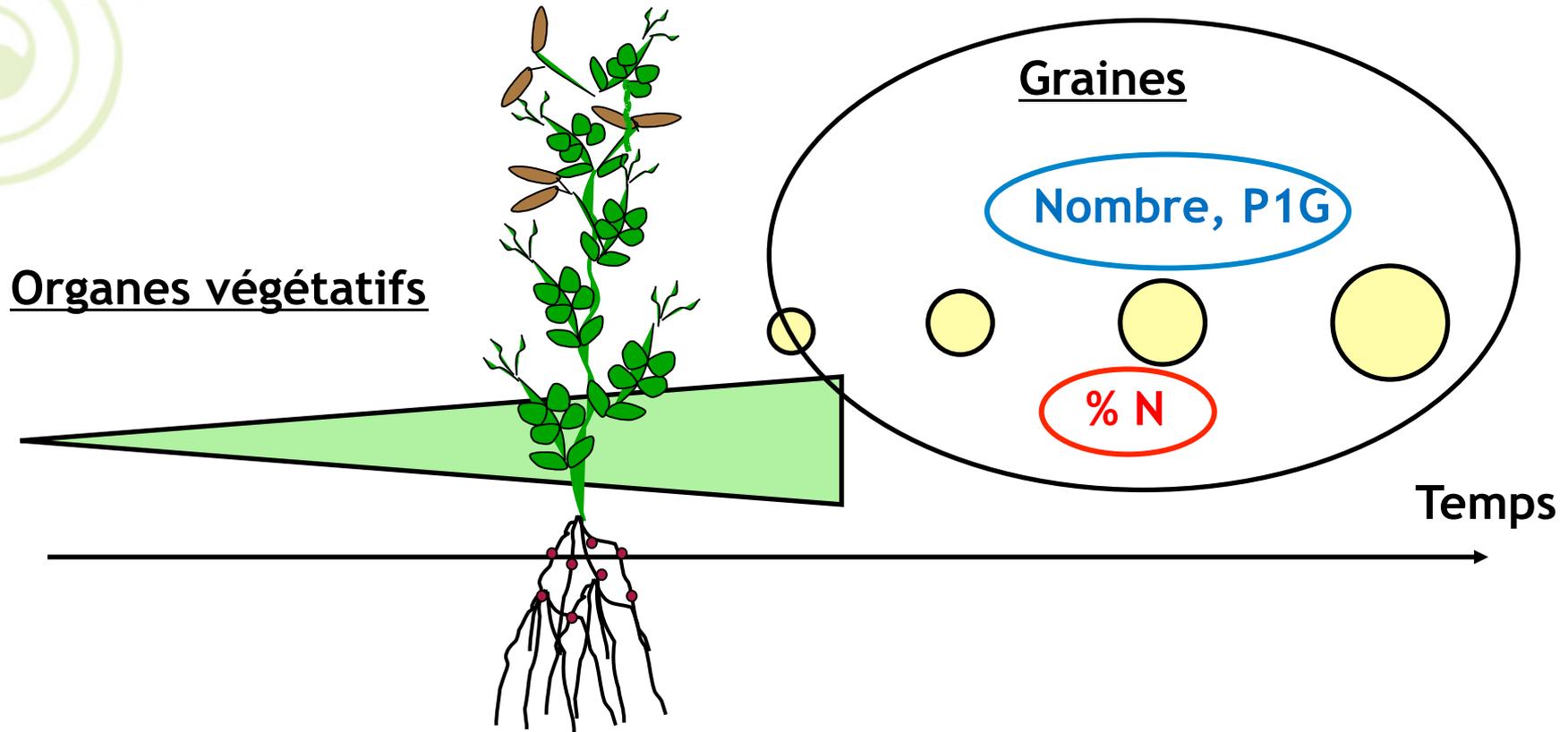
Anne-Sophie Voisin & collègues
UMR Agroécologie, INRA Dijon

Complémentarité

Fixation N_2 et Assimilation NO_3^-

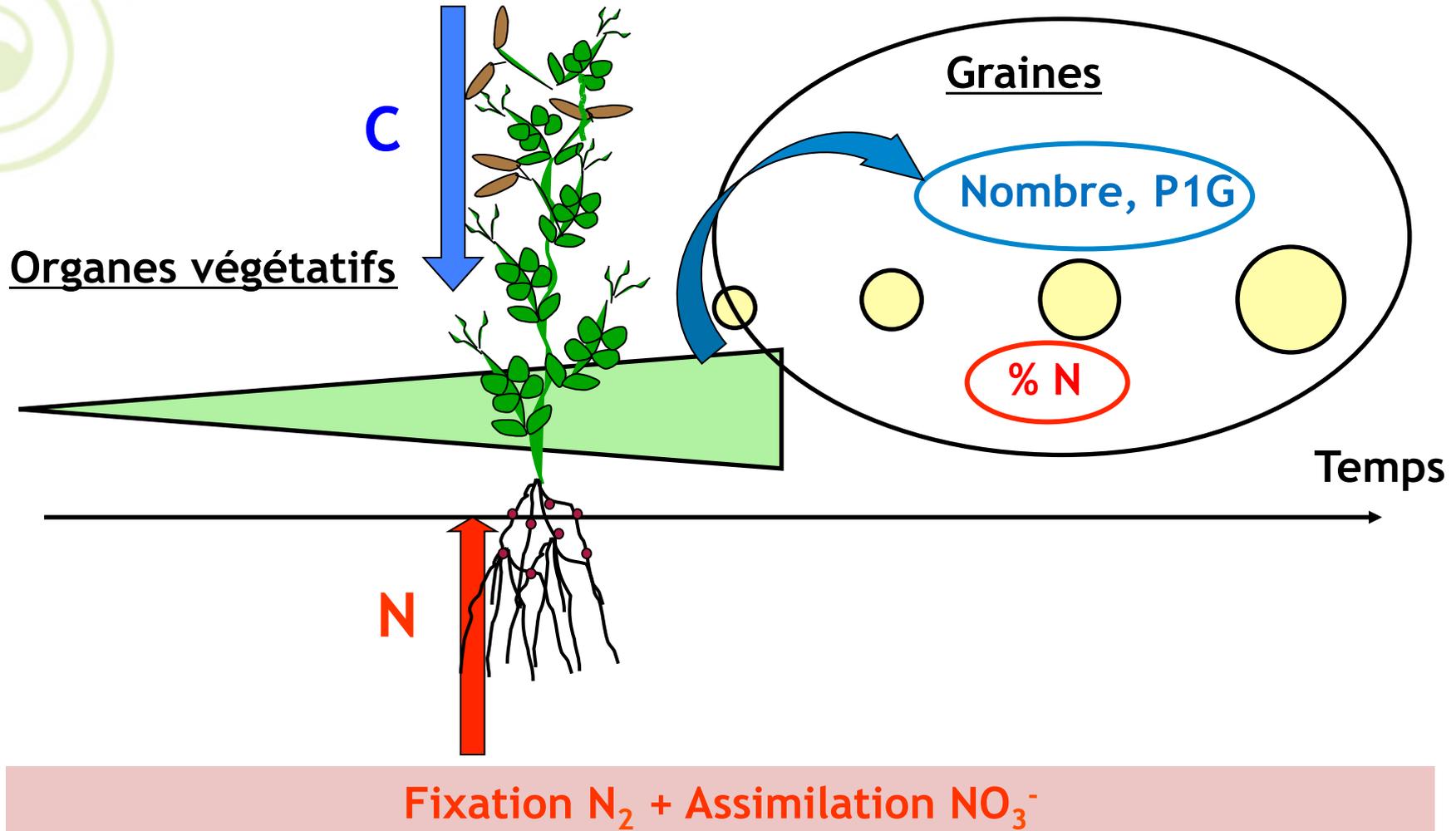
- **Evaluer l'impact sur la nutrition N, et la croissance et le rendement**
- **Comprendre la mise en place et l'activité des nodosités pour la fixation de N_2**
- **Modéliser la régulation de la fixation symbiotique à l'échelle plante**

Importance de la nutrition azotée ...



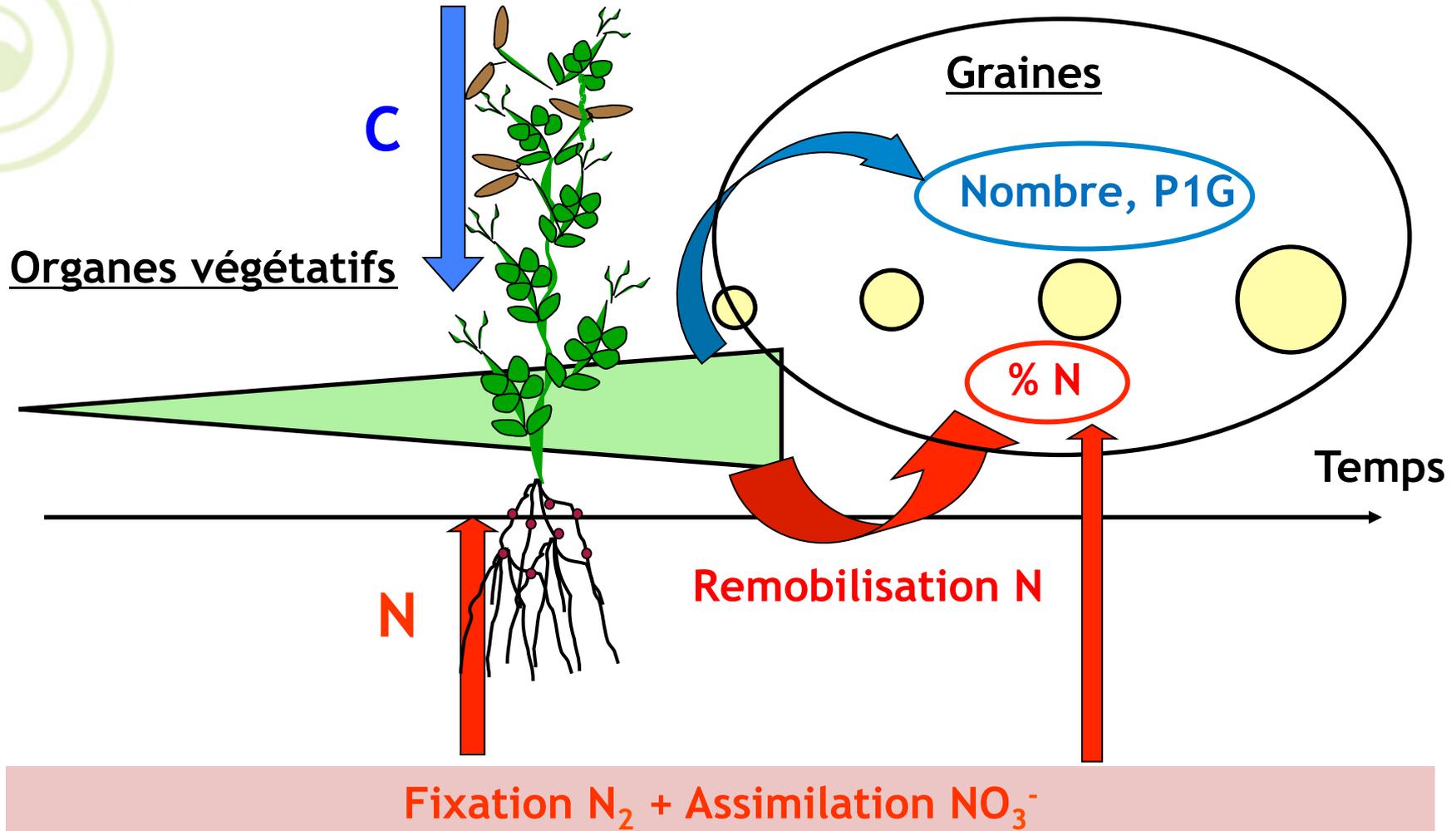
Importance de la nutrition azotée ...

Photosynthèse



... sur l'élaboration de la qualité

Photosynthèse



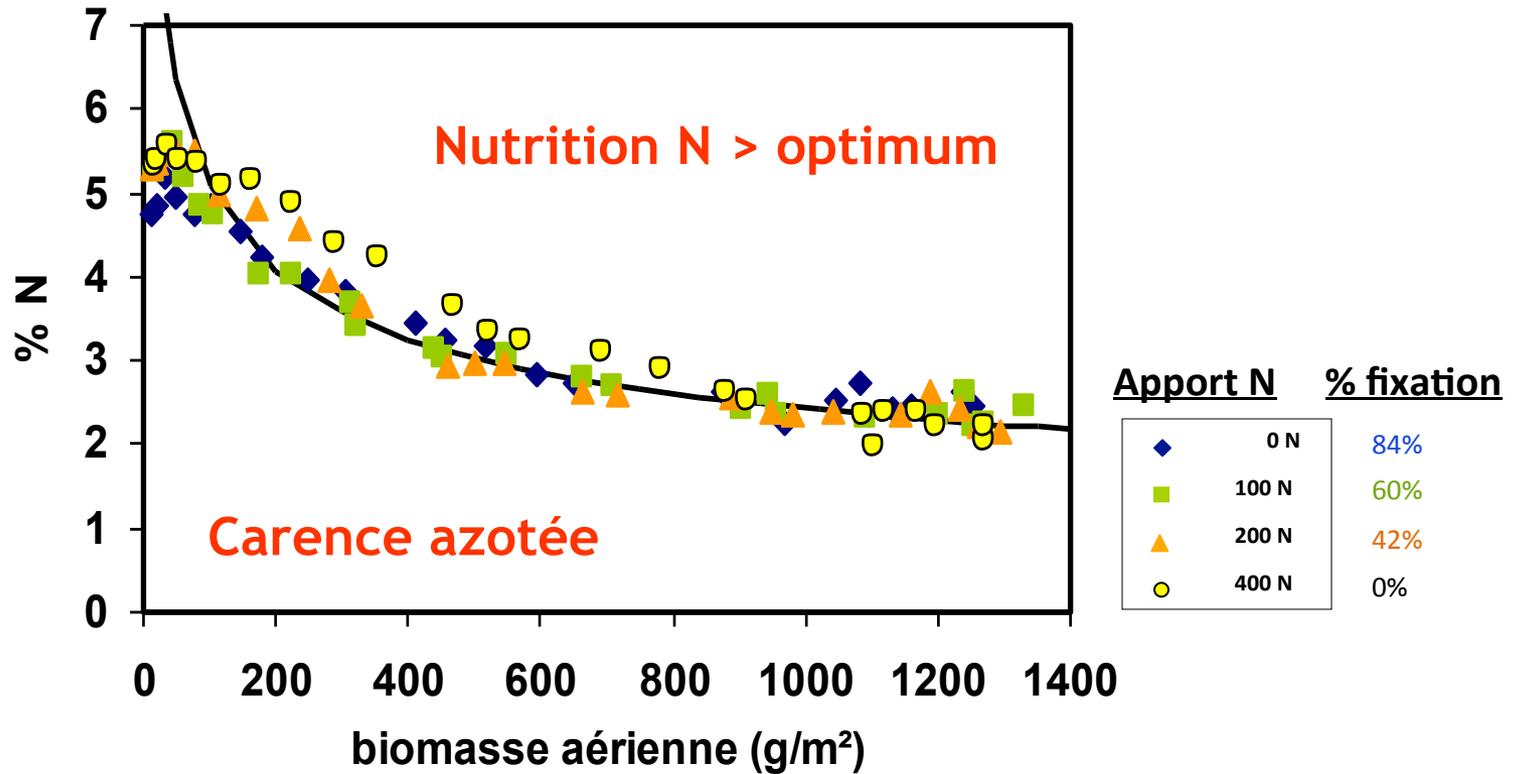
Fonction de fixation et nitrates

Traitement N	% Fixation
0 N	84 %
50 N	70 %
100 N	60 %
200 N	42 %
400 N	0 %

Voisin et al, 2002

- Le pois prélève en priorité les nitrates du sol
- Fixation symbiotique inhibée par les nitrates

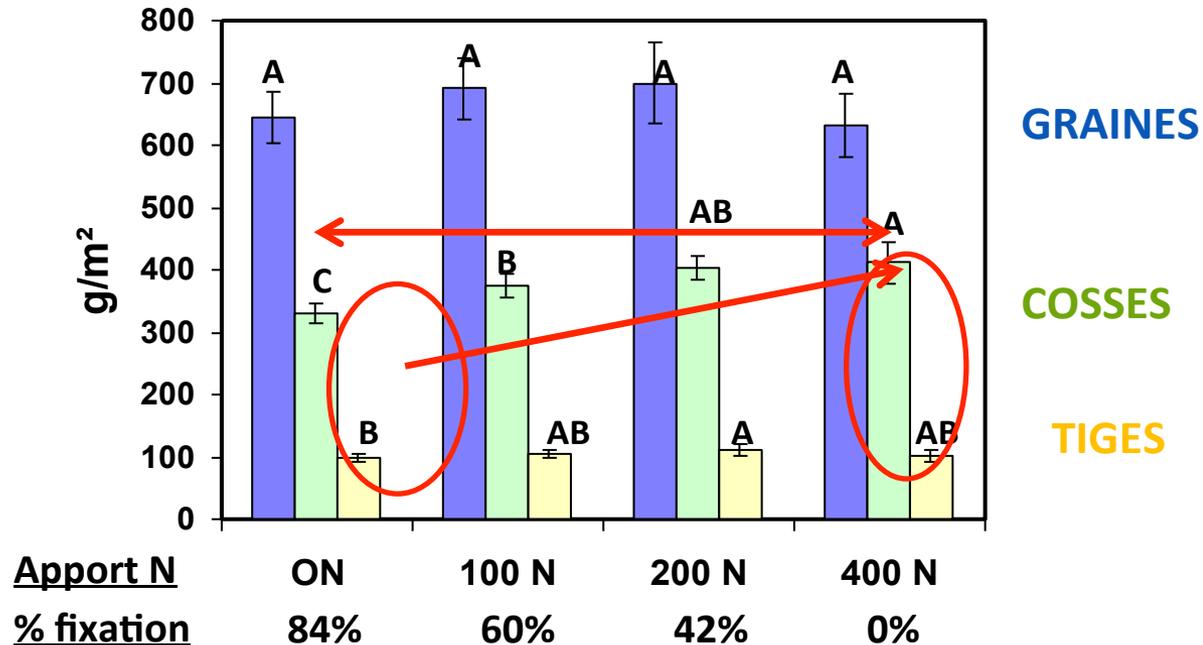
Satisfaction des besoins en azote



- **Le niveau nutrition azotée n'est pas influencé par le mode**

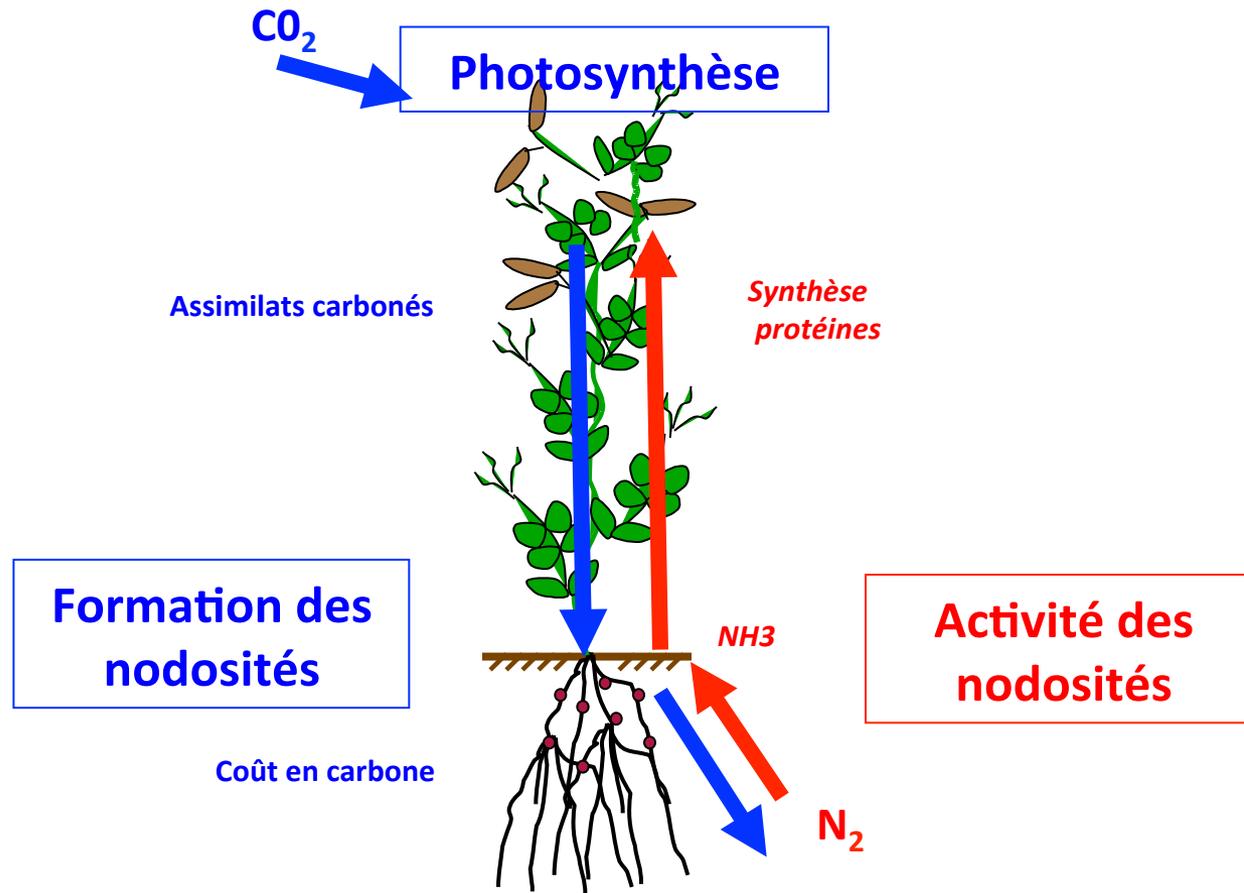
Impact sur le rendement

À la récolte

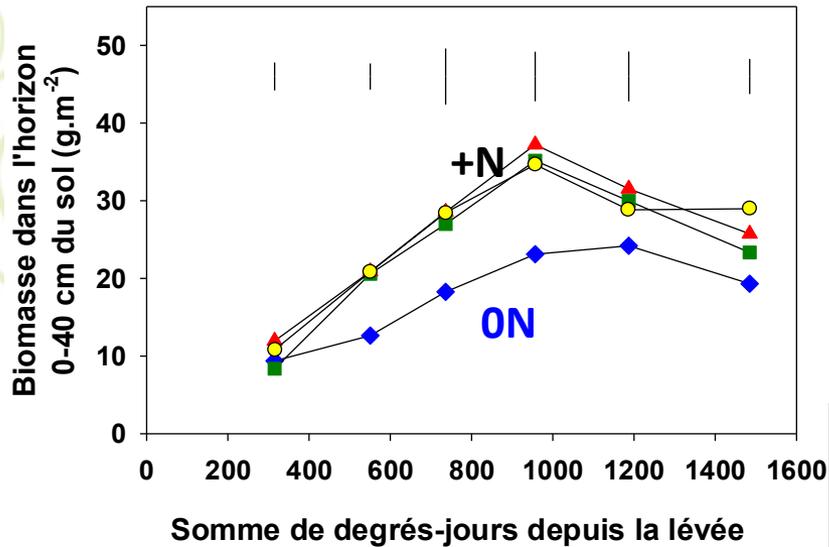


- **La fixation symbiotique vs nitrates**
 - Ne modifie pas le rendement en graines
 - défavorise légèrement la croissance végétative aérienne
 - Indice de récolte plus fort

La symbiose : un échange de nutriments

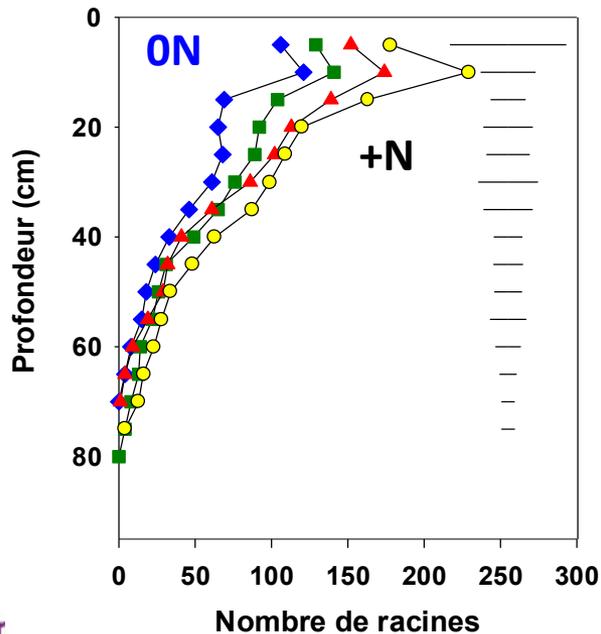


Effet des nitrates sur l'enracinement



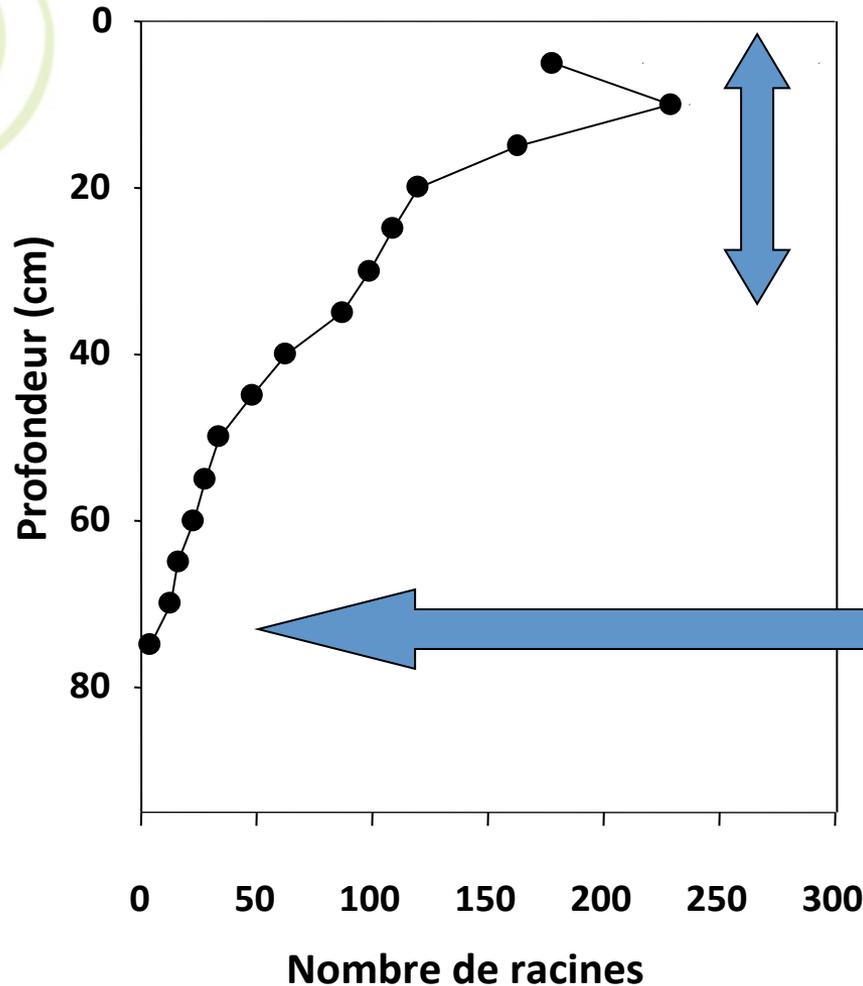
La présence de nitrate

- **Augmente**
 - la biomasse racinaire
 - la densité racinaire



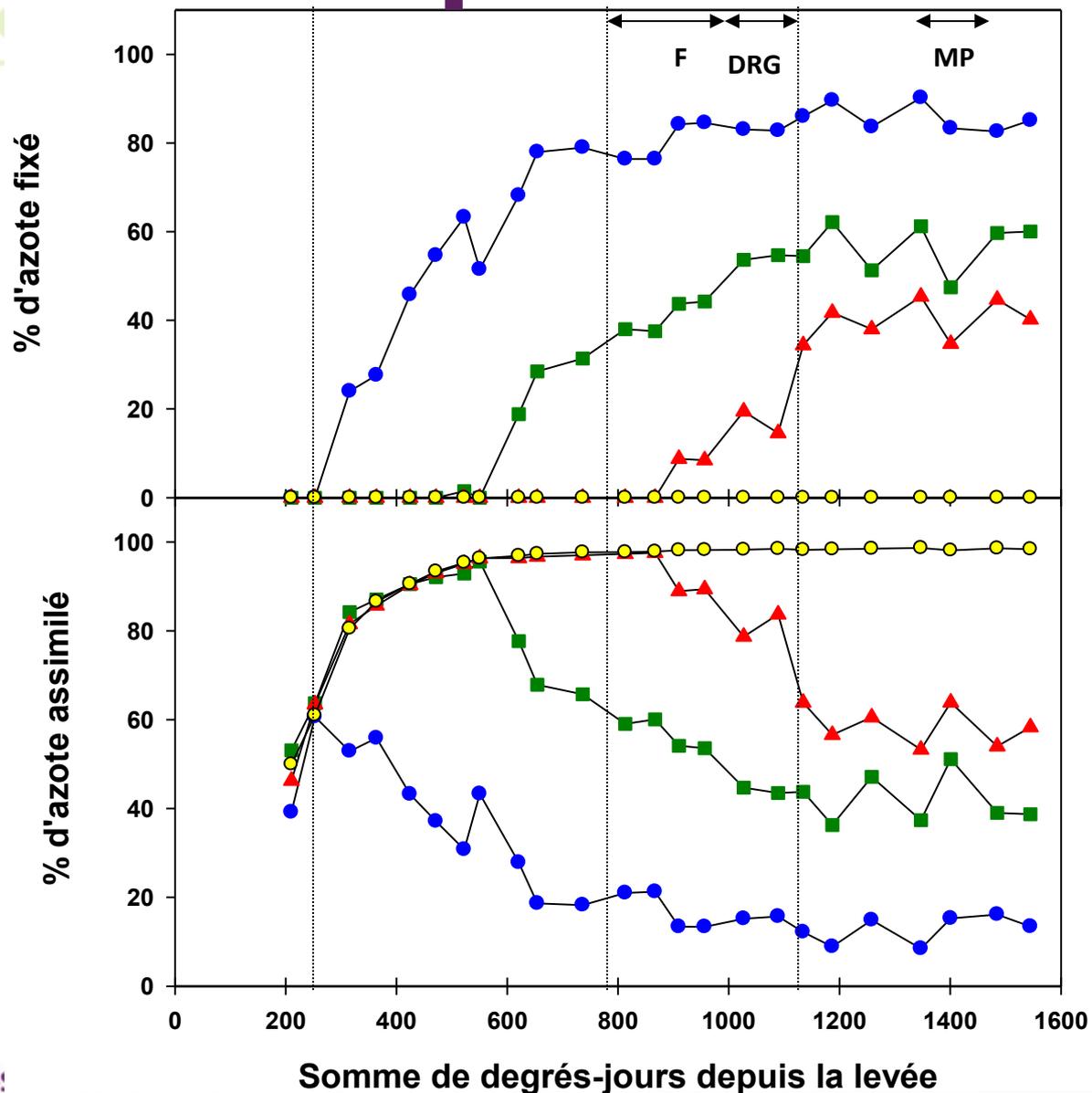
- **Ne modifie pas**
 - la profondeur d'enracinement

Un système racinaire très superficiel



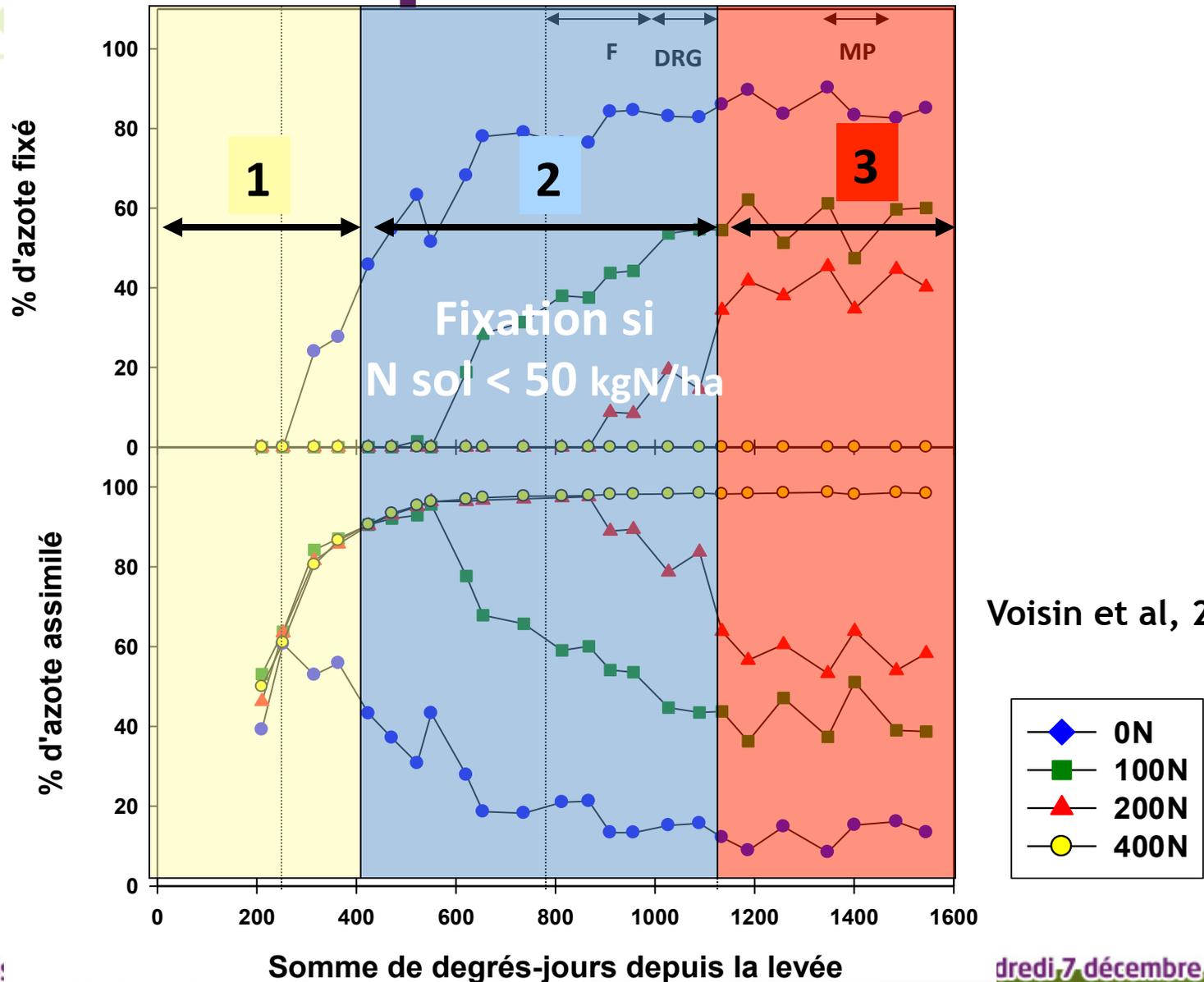
- **70 % des racines dans l'horizon 0-30 cm**
- **enracinement maximal autour de 70 cm**

Fixation et assimilation : cinétiques différentes



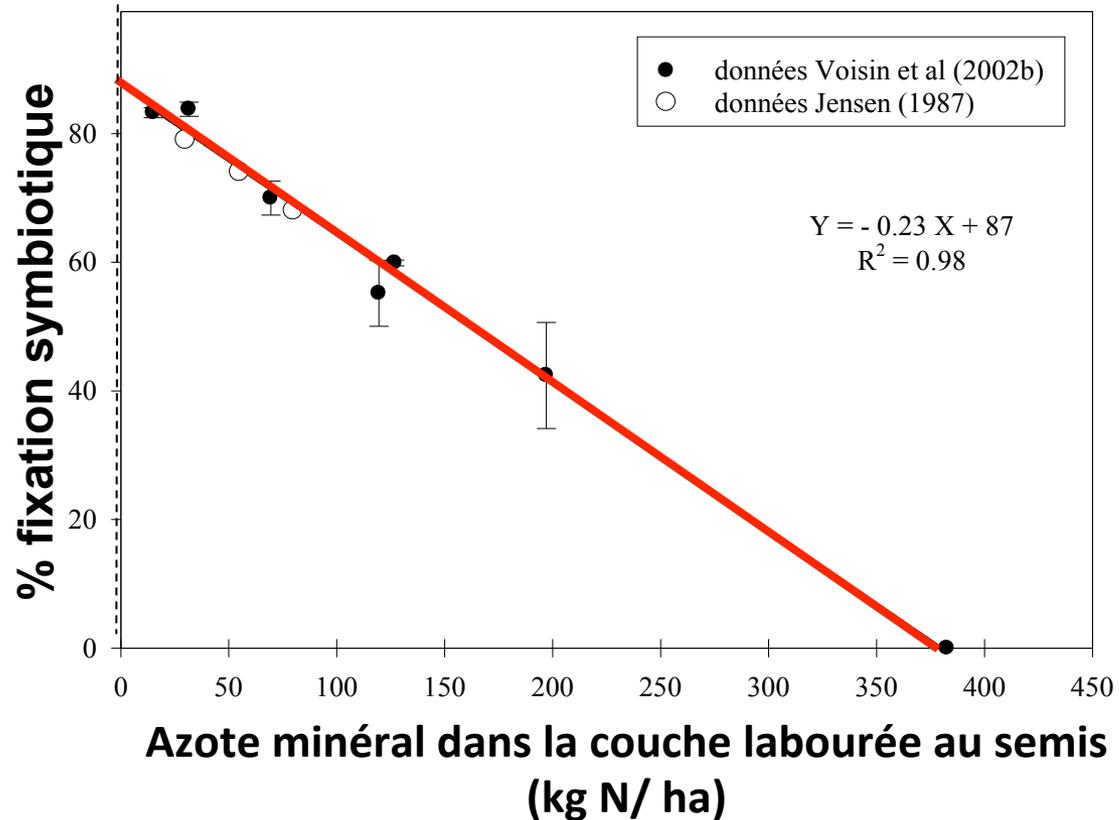
Voisin et al, 2002

Fixation et assimilation : cinétiques différentes



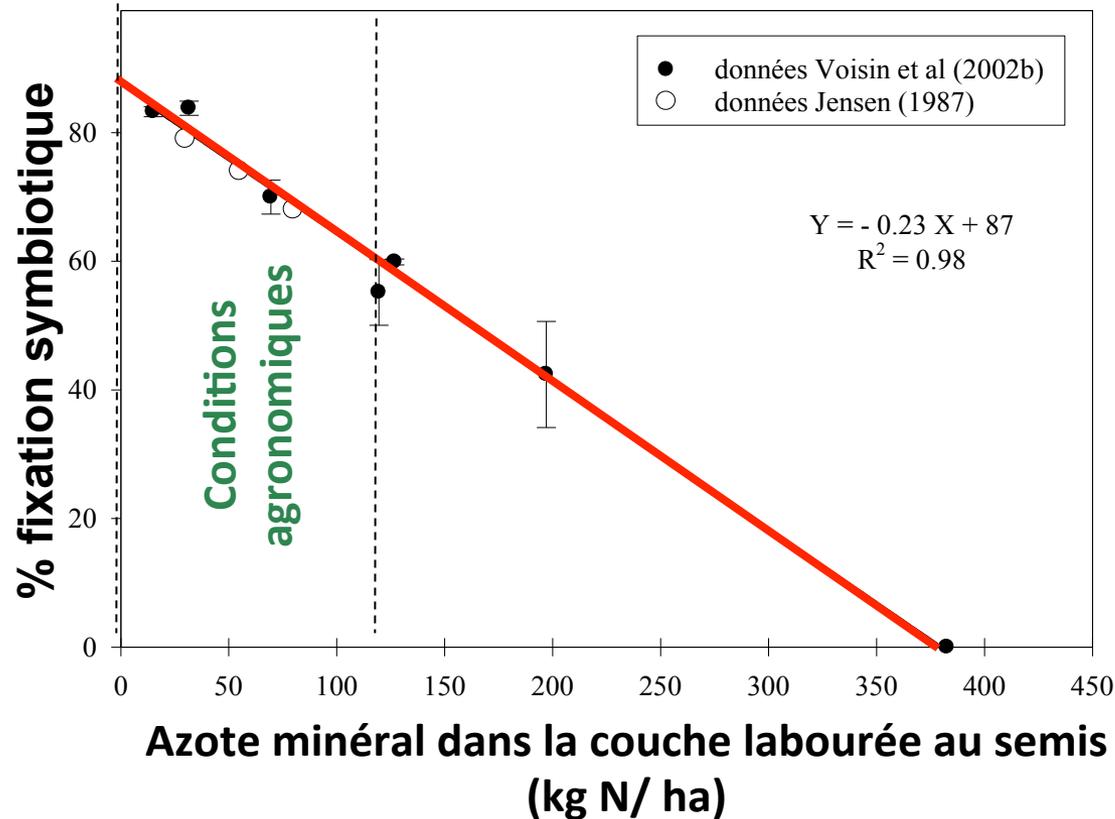
Voisin et al, 2002

Prédiction du % de fixation symbiotique



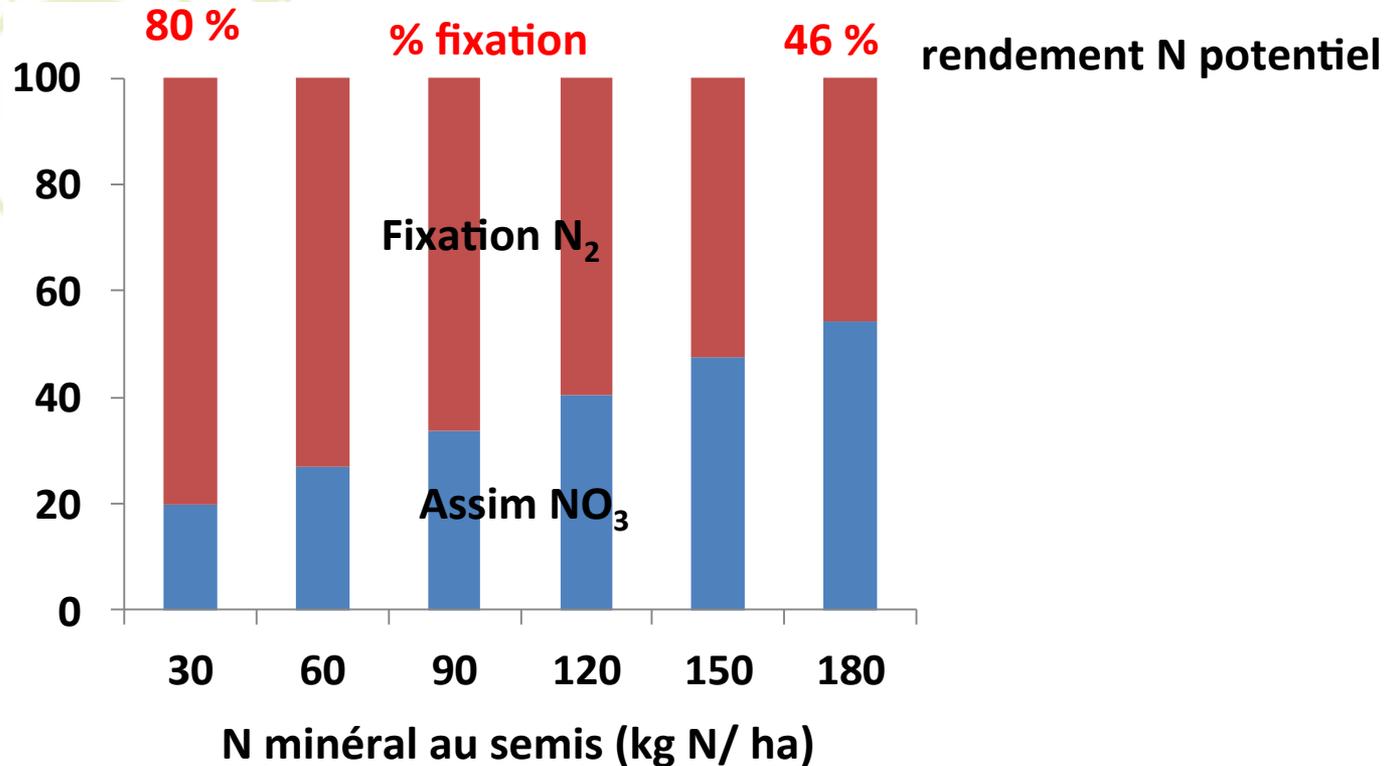
- « en conditions potentielles »

Prédiction du % de fixation symbiotique

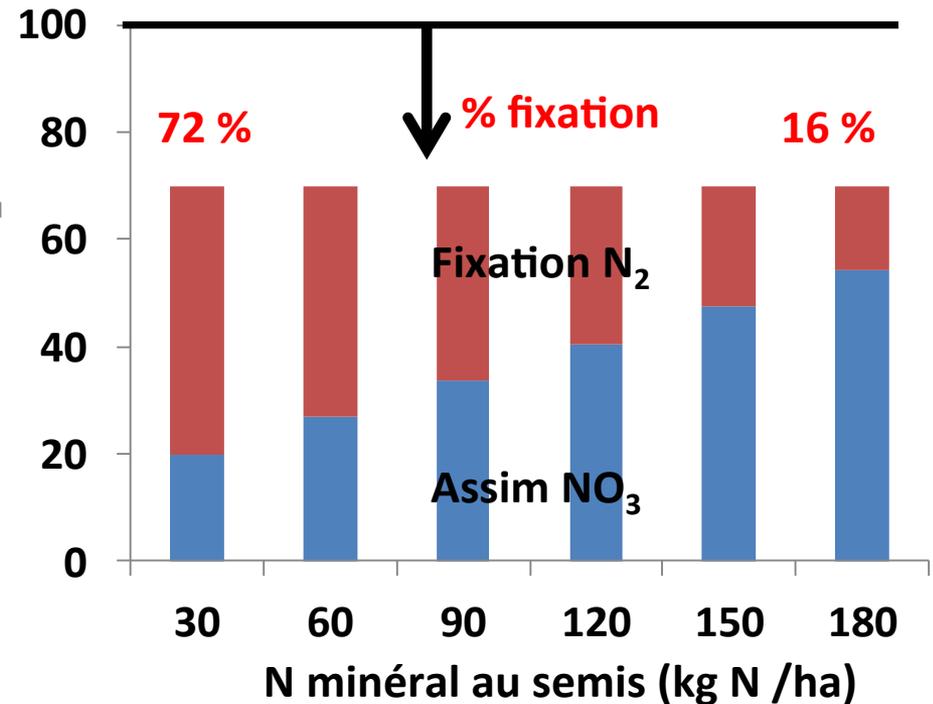
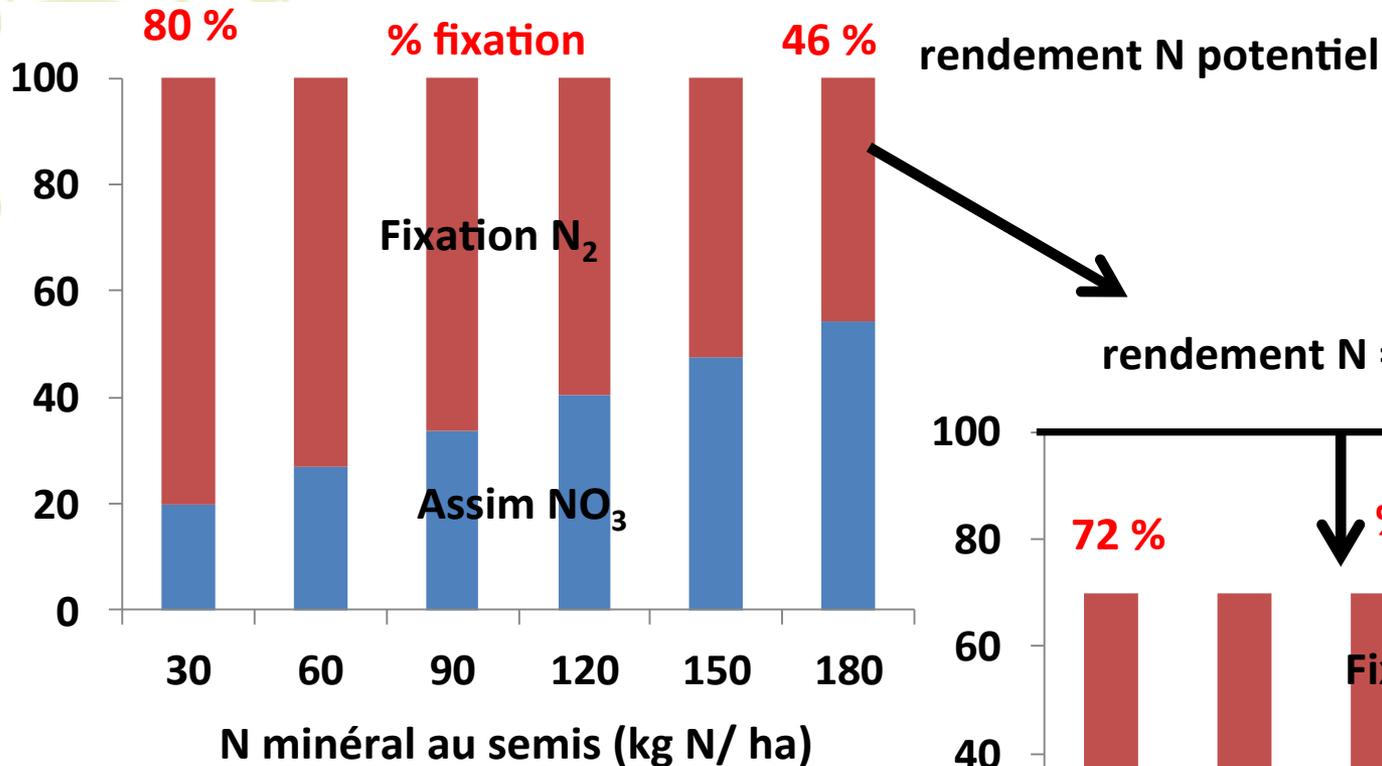


- « en conditions potentielles »

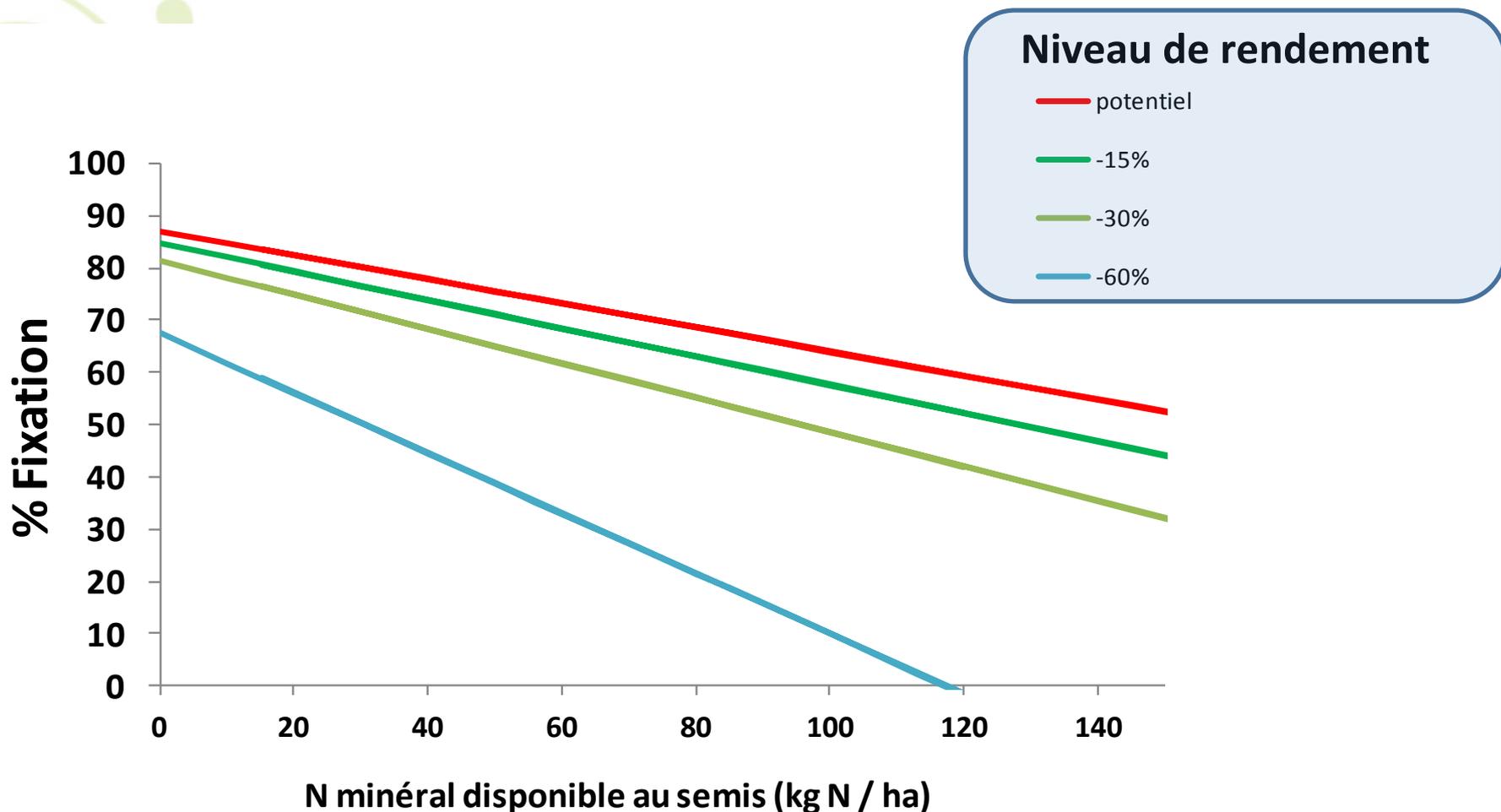
Prédiction du % de fixation symbiotique



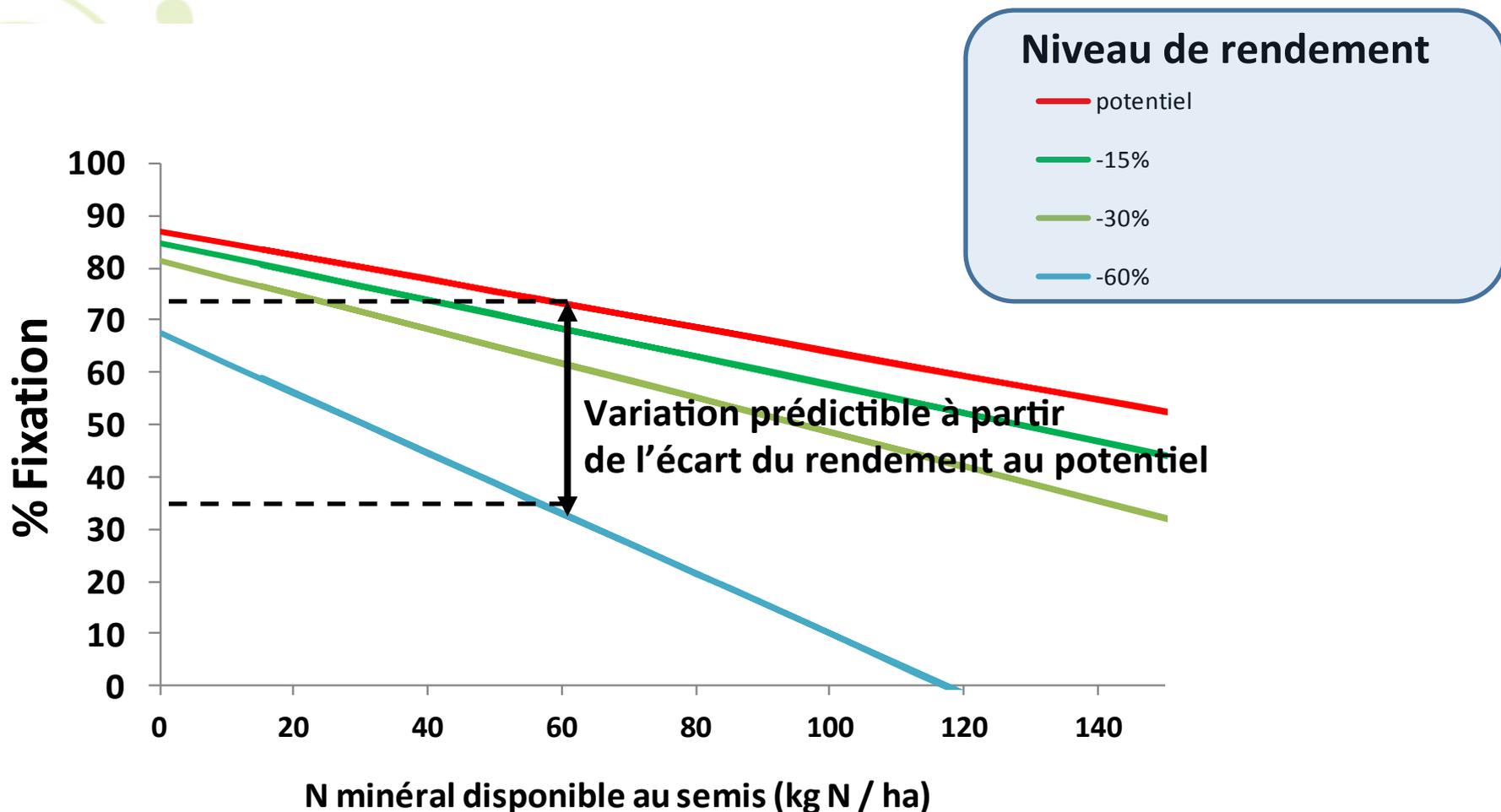
Prédiction du % de fixation symbiotique



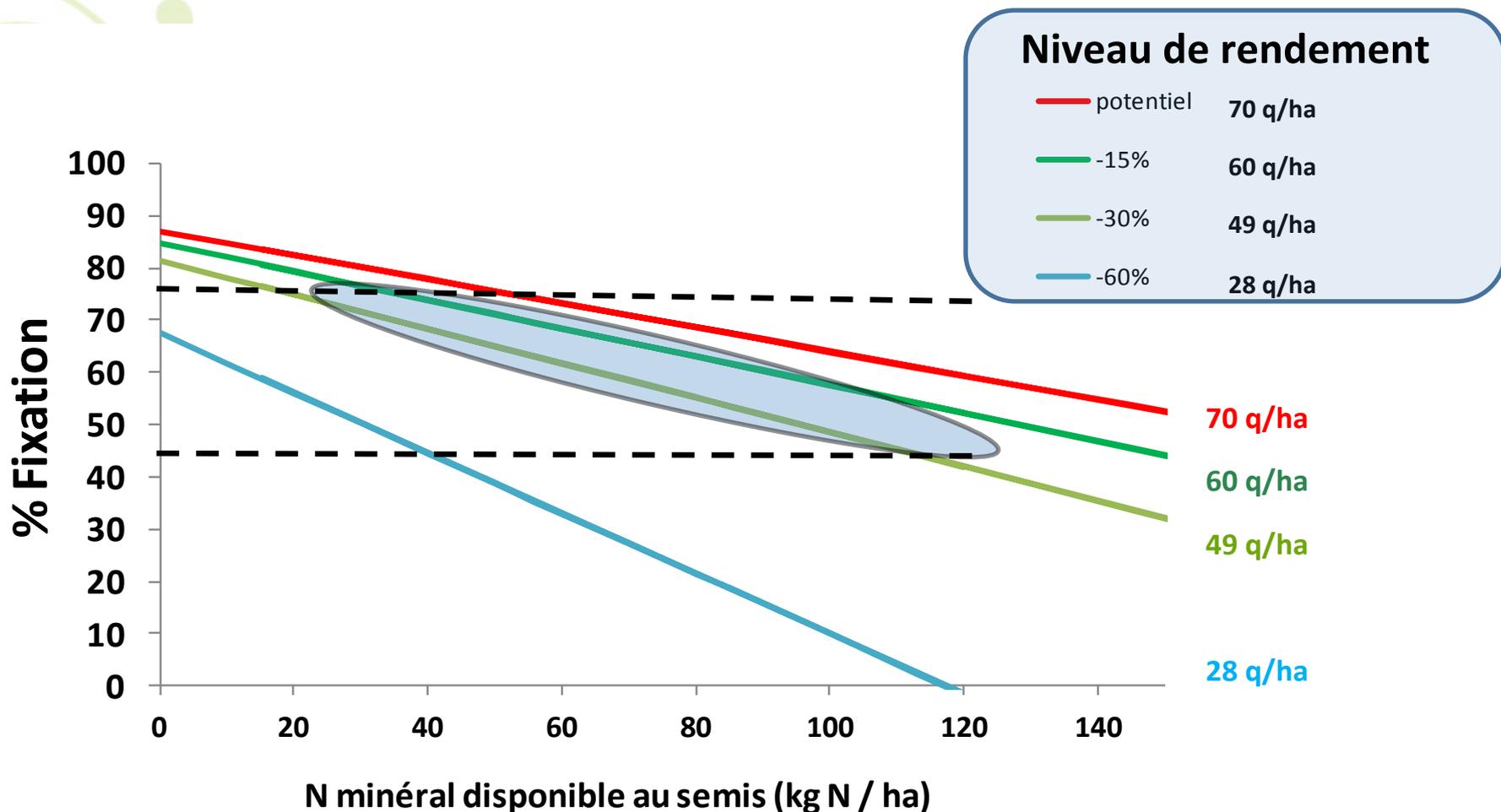
Prédiction du % de fixation symbiotique



Prédiction du % de fixation symbiotique



Prédiction du % de fixation symbiotique



- Utilisation pour calculs d'impacts, de soldes N, etc

Complémentarité

Fixation N_2 et Assimilation NO_3^-

- **Evaluer l'impact sur la nutrition N, et la croissance et le rendement**
- **Comprendre la mise en place et l'activité des nodosités pour la fixation de N_2**
- **Modéliser la régulation de la fixation symbiotique à l'échelle plante**

Adaptation de la fixation symbiotique à condition N

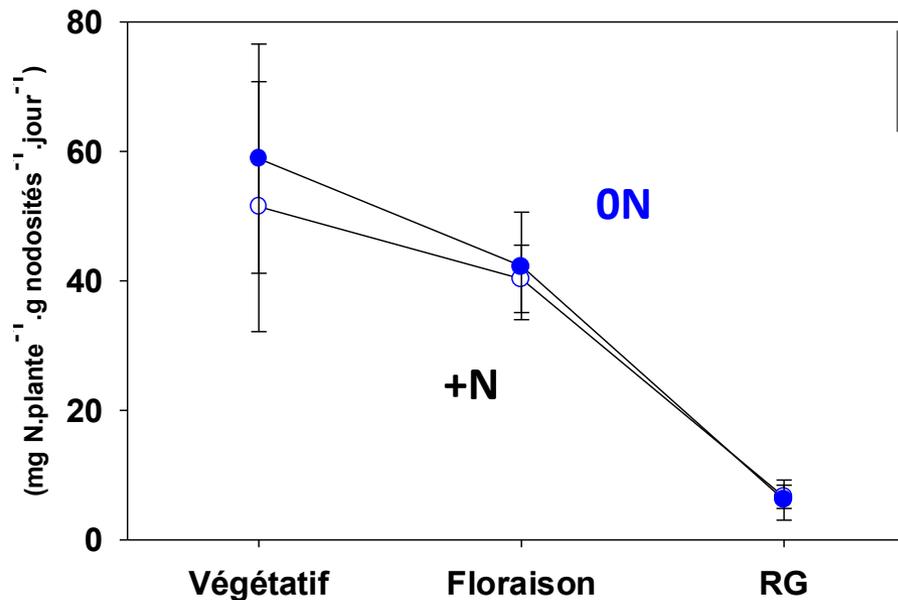
$$\text{N}_2 \text{ Fixé} = (\text{Biomasse nodosités}) \times (\text{N}_2 \text{ fixé par g nodosités})$$



$$\text{Biomasse nodosités} = (\text{nb nodosités}) \times (\text{croissance nodosité})$$

Effet des nitrates sur l'activité de fixation symbiotique

$$N_2 \text{ Fixé} = (\text{Biomasse nodosités}) \times (N_2 \text{ fixé par g nodosités})$$

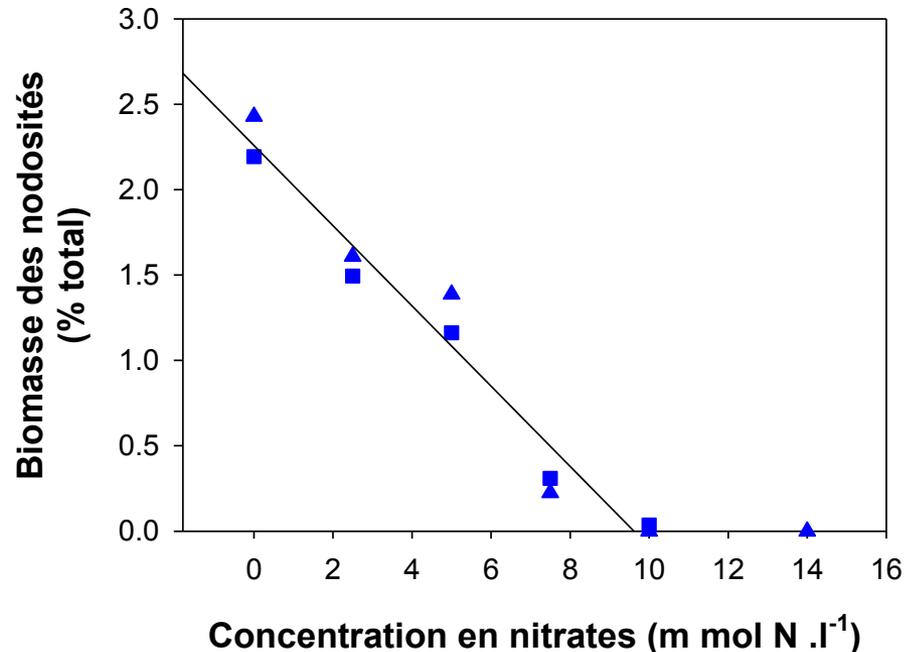


Voisin et al, 2003

- **La présence de nitrates (dose constante)**
 - Ne modifie pas l'activité fixatrice par unité de biomasse des nodosités
 - Mais Diminution de l'activité avec âge des nodosités et stade phénologique

Effet des nitrates sur les nodosités

$$N_2 \text{ Fixé} = (\text{biomasse nodosités}) \times (N_2 \text{ fixé par g nodosités})$$



Jeudy, Salon et al, np

- **La présence de nitrates (dose constante)**
 - Retarde la mise en place des nodosités
 - Conduit à une biomasse de nodosités décroissante avec la dose

Adaptation de la fixation symbiotique à condition N

$$\text{N}_2 \text{ Fixé} = (\text{Biomasse nodosités}) \times (\text{N}_2 \text{ fixé par g nodosités})$$

« Vitesse Constante »

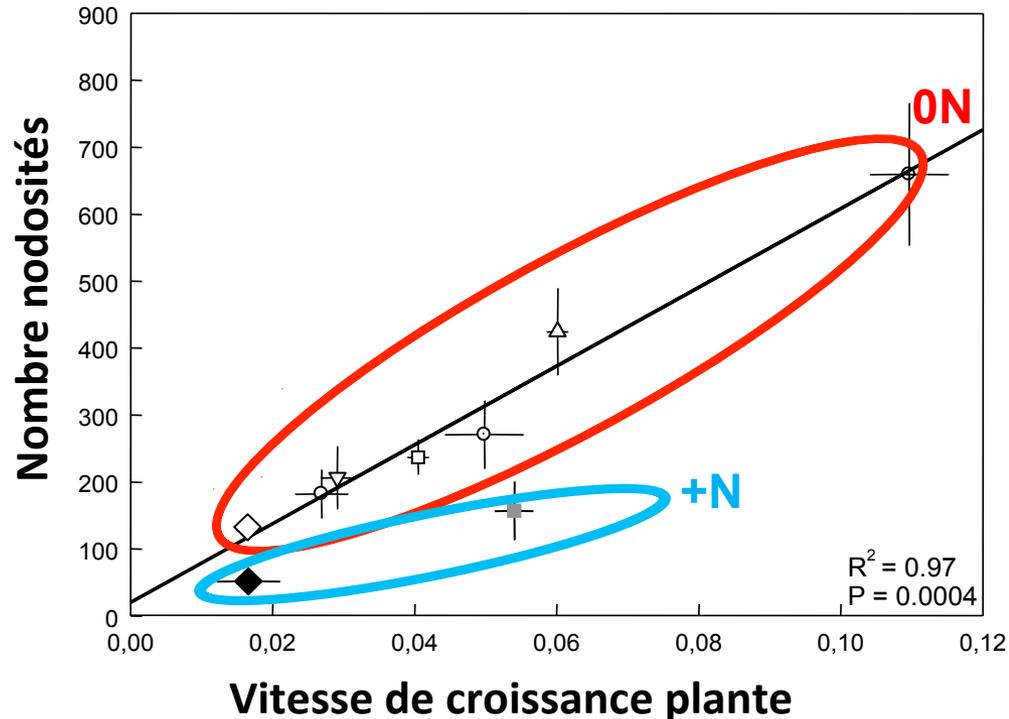
Diminue avec les nitrates



$$\text{Biomasse nodosités} = (\text{nb nodosités}) \times (\text{croissance nodosité})$$

Effet des nitrates sur les nodosités

Biomasse nodosités = (nb nodosités) x (croissance nodosité)



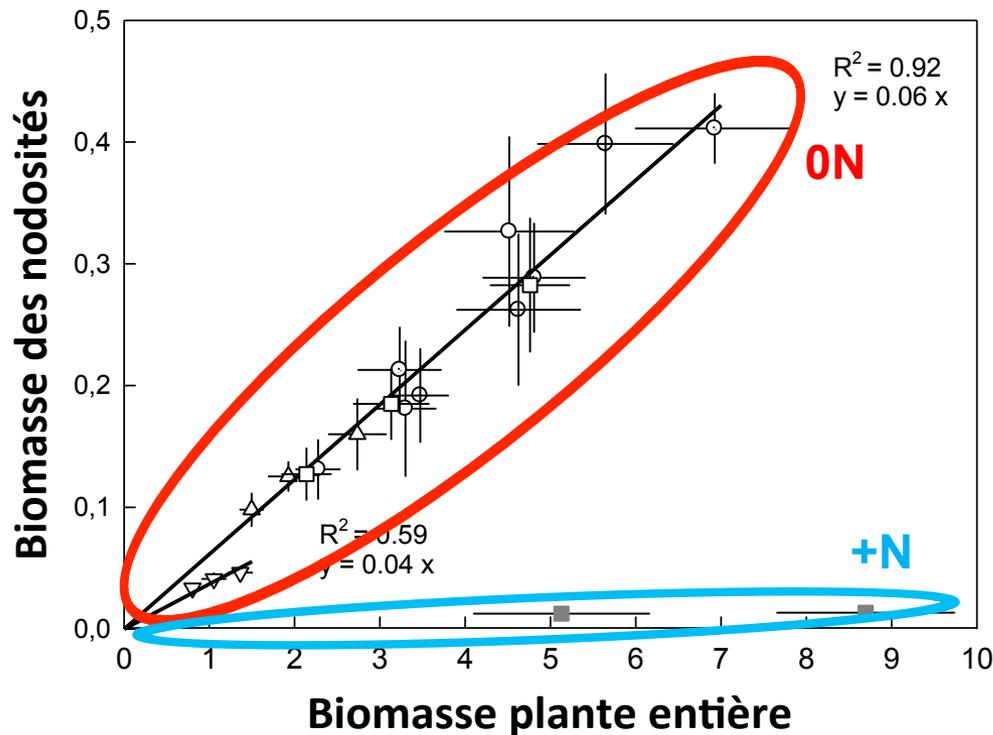
Voisin et al, 2010

- **Le nombre de nodosités**

- Est inférieur en présence de nitrates
- Est ajusté à la vitesse de croissance = demande en N

Effet des nitrates sur les nodosités

Biomasse nodosités = (nb nodosités) x (croissance nodosité)



Voisin et al, 2010

- **Croissance des nodosités**

- En lien avec croissance globale : nodosités
- % de la masse de la plante constant

Adaptation de la fixation symbiotique à condition N

$$N_2 \text{ Fixé} = (\text{Biomasse nodosités}) \times (N_2 \text{ fixé par g nodosités})$$

« Vitesse Constante »



$$\text{Biomasse nodosités} = (\text{nb nodosités}) \times (\text{croissance nodosité})$$

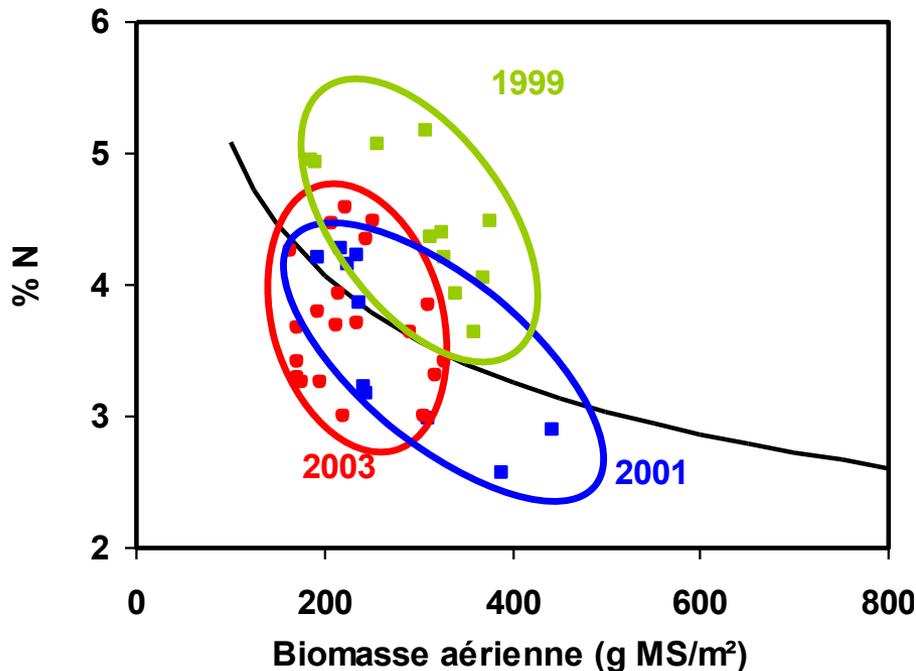
« Suit la croissance globale »



Ajusté à la demande N

Malgré les 2 voies : des carences azotées possibles

Indice de nutrition azotée à DF
France 1998-2003



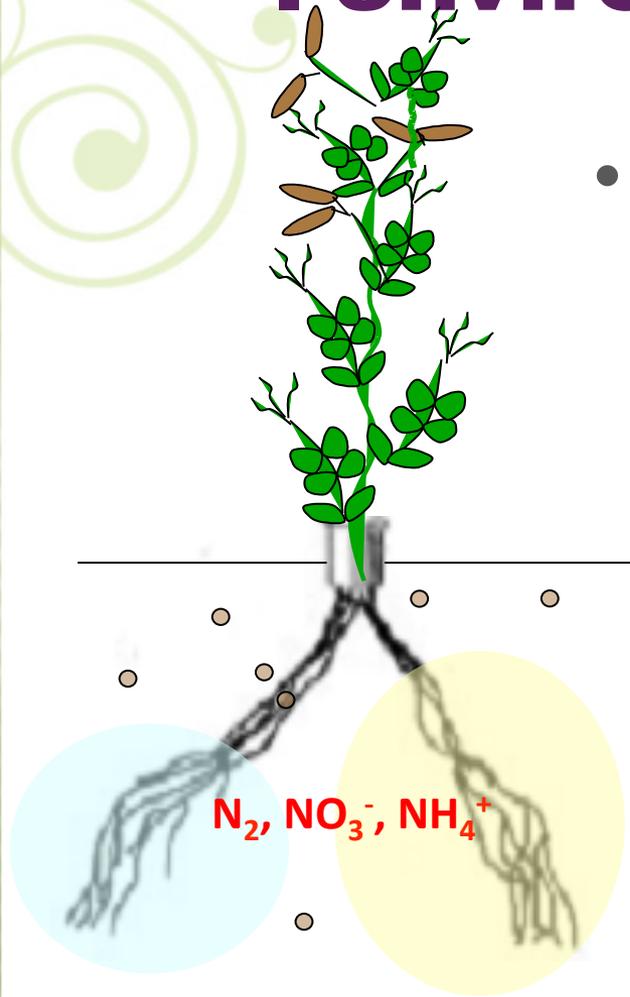
• Stress Abiotiques

- Stress hydrique
- Alimentation minérale déficiente
- Etat structural du sol dégradé

• Stress Biotiques

- Sitones
- Aphanomycès

Adaptation à une modification de l'environnement racinaire



- = **hétérogène et fluctuant**
 - Conditions localement défavorables
 - Limitation ressources
 - Stress biotiques
 - **Augmentations temporaire NO_3^-**
 - Minéralisation
 - Fertilisation (associations)

Impact – réponse de la plante ?

Réponse à un apport de nitrates temporaire

	Stade végétatif	Stade Floraison	Stage remplissage
Activité nodosités	Inhibition par les nitrates		
Réversibilité	oui	oui	Non

Naudin et al, 2011

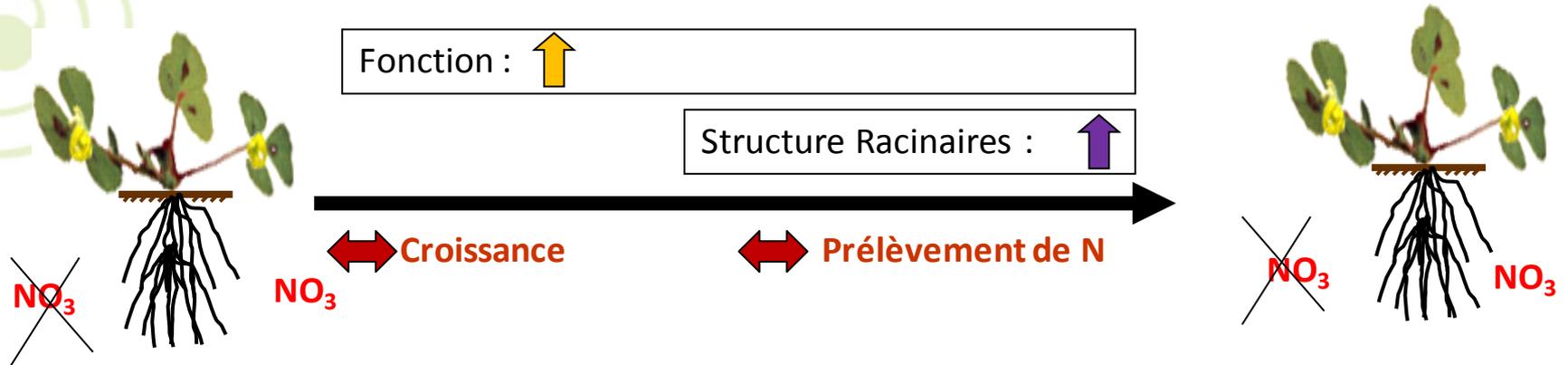
Réponse à un apport de nitrates temporaire

	Stade végétatif	Stade Floraison	Stage remplissage
Activité nodosités	Inhibition par les nitrates		
Réversibilité	oui	oui	Non
Structure Nodosités	Diminution vitesse de nodulation et de croissance nodosités	Arrêt nodulation Destruction Biomasse nodosités	
Réversibilité	Reprise nodulation et croissance nodosités		Pas de reprise

Naudin et al, 2011

Réponse à une carence en N localisée et temporaire

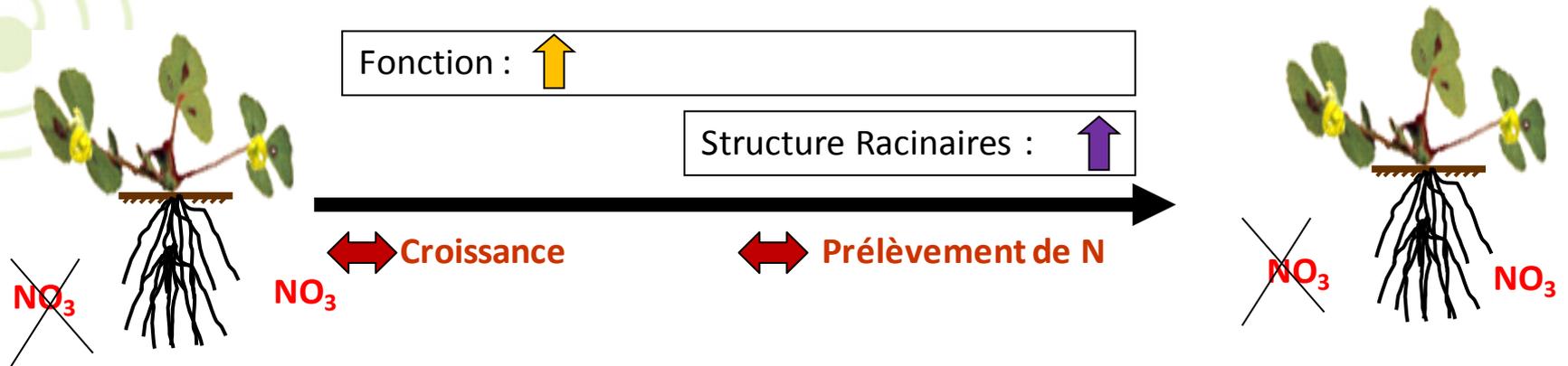
Réponse à une carence en NO_3^-



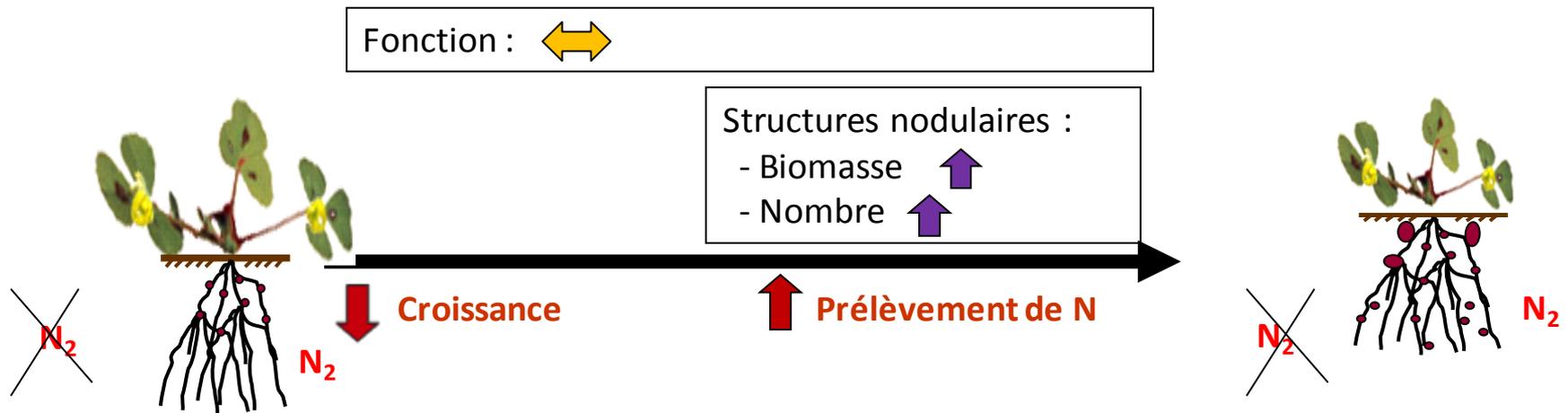
Jeudy, Salon et al, 2010

Réponse à une carence en N localisée et temporaire

Réponse à une carence en NO_3^-



Réponse à une carence en N_2



Jeudy, et al, 2010

Adaptation de la fixation symbiotique à variations N

$$\text{N}_2 \text{ Fixé} = (\text{Biomasse nodosités}) \times (\text{N}_2 \text{ fixé par g nodosités})$$

« Vitesse Constante »
Maximale, modulable (-)

$$\text{Biomasse nodosités} = (\text{nb nodosités}) \times (\text{croissance nodosité})$$

« Suit la croissance globale »

Ajusté à la demande N

Complémentarité

Fixation N_2 et Assimilation NO_3^-

- **Evaluer l'impact sur la nutrition N, et la croissance et le rendement**
- **Comprendre la mise en place et l'activité des nodosités pour la fixation de N_2**
- **Modéliser la régulation de la fixation symbiotique à l'échelle plante**

Un modèle pour tester des hypothèses :

- **Regulation de la nodulation = équilibre entre**

+ bénéfices N “MAX” : fixation N_2

- coûts en C “MIN” : formation +activité nodosités

- **Mais du fait des fortes interactions**

- Entre croissance et architecture des racines et des nodosités
- Métabolismes C et N

- **... une approche de modélisation**

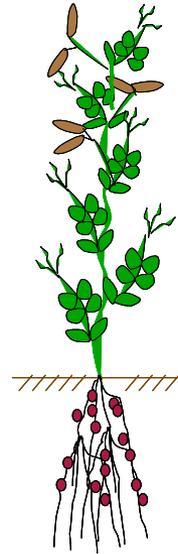
- Incluant les fonctions d'assimilation N et de C
- Et leurs interactions

Schéma de fonctionnement

Statut N
modifié

Si la nutrition N est insuffisante
= %N aérienne faible

Modification :
Des flux de N (fixation N_2)
Des flux de C (coût en C)



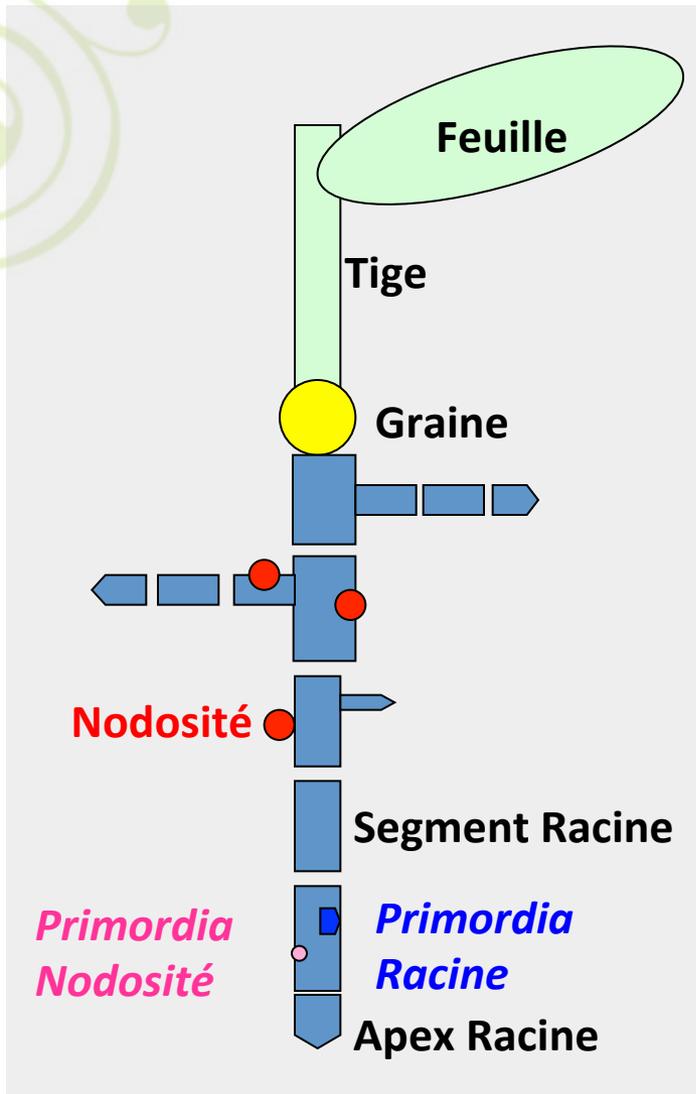
Réponse du système fixateur de N_2 :

Structures : augmentation biomasse nodosités, création de nouvelles nodosités

Fonction : pas de capacité à augmenter l'activité spécifique

Le modèle Pea-Nod

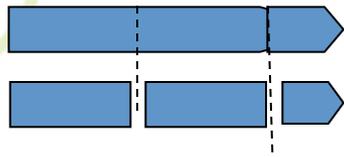
Coll L Pagès, Avignon



- **Caracteristiques du modèle**
 - modèle Dynamique (1 jour)
 - representation 3D
- **Composants élémentaires**
 - Représentés dans l'espace
- **Processus**
 - Morphogenèse
 - Croissance
 - Prélèvement C & N uptake
 - Consommation C & N
- **Distribution des ressources**
 - Approche "source-puits"
 - Selon le taux de satisfaction des besoins en C et N
- **Variabilité génétique**
 - Valeur des paramètres

Développement et croissance du système racinaire

➔ Apex Racine



Elongation

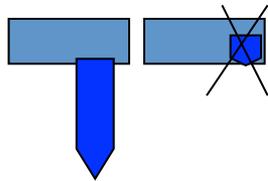
Création segments racinaires

Primordia

Racine



Ramification

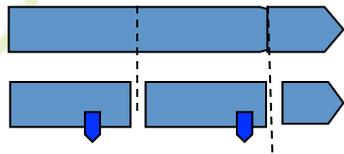


Émergence, Croissance en biomasse

Nouvelle apex de racine

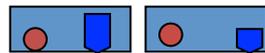
Développement et croissance du système racinaire

Apex Racine



Elongation

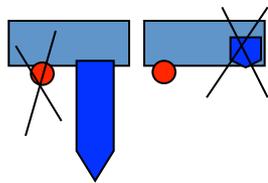
Création segments racinaires



Primordia
Nodule

Ramification

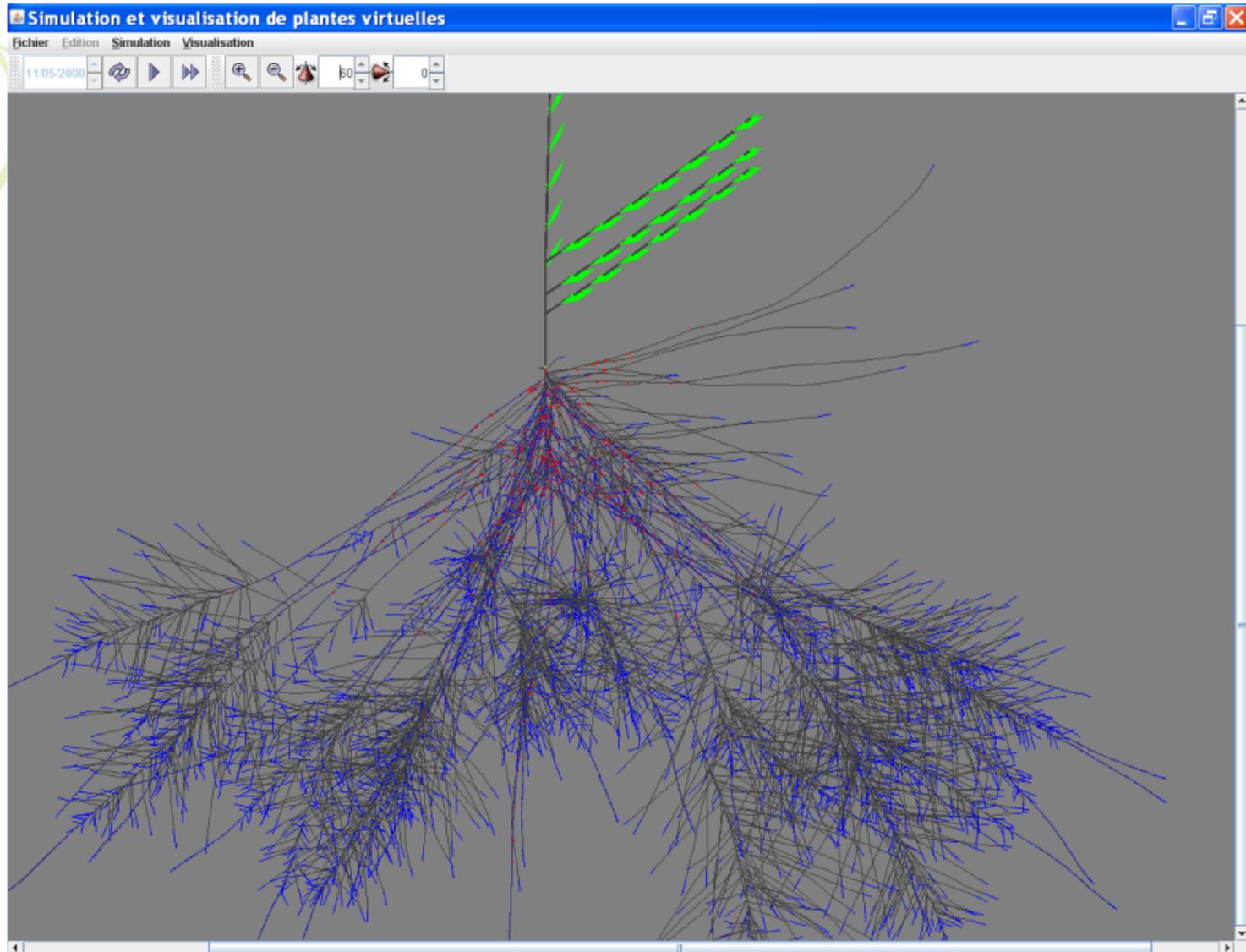
Nodulation : ssi carence en N



Nouvelle nodosité

Emergence, croissance en biomasse
Impact sur la compétition pour le C

Sortie modèle Pea Nod



Le modèle = un outil pour ...

- **Test d'hypothèses**
 - Régulation de la nodulation
 - Coût et bénéfices de la symbiose

- **Construire des idéotypes**
 - Construire et analyser la variabilité génétique
Coll. G. Duc, V. Bourion

- **Pour le diagnostic agronomique**
 - Mieux comprendre l'effet des stress biotiques et abiotiques,
 - Définir des stratégies d'évitement des stress

Perspectives de recherche ...

- **Caractériser de la variabilité génétique**
 - Au sein de l'espèce pois
 - Entre espèces de légumineuses

- **Caractériser signaux responsables de nodulation et réponse carence N**
 - Physiologie, écophysiologie et génétique

- **Evaluer les interactions plante micro-organismes**
 - Relation géotypes plantes – structures des communautés
 - Étude des coûts – bénéfices des relations plante-microbes

Equipe Ecophysiologie, UMR Agroécologie



Christian Jeudy
Annabelle Larmure
**Nathalie Munier-
Jolain**
Marion Prudent
Christophe Salon
Anne-Sophie Voisin

Vincent Durey
Sylvie Girodet
Patrick Mathey
Anne-Lise Santoni

Thèses :

Brice Cazenave
Delphine Moreau
Anouk Zancarini

