

L'équipe « Intégration »

Scientifiques permanents

2001

A. Gojon
M. Lepetit
P. Tillard

2004

P. Nacry
L. Lejay

2007

▼ B. Lacombe

Post-Docs

S. El-Khafafi
X

Thésards

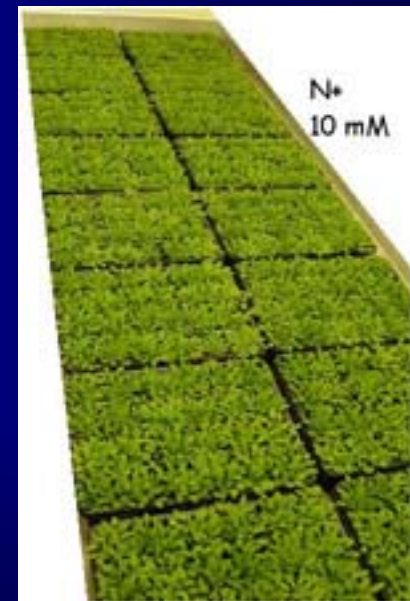
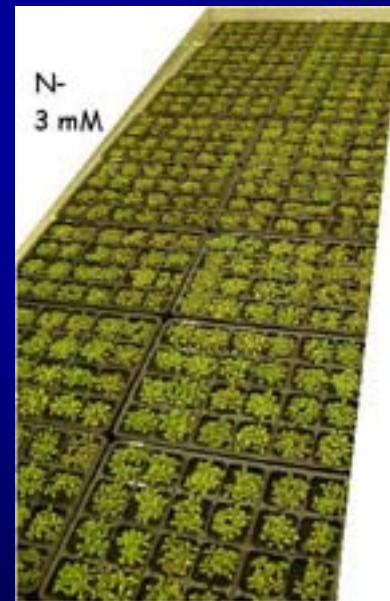
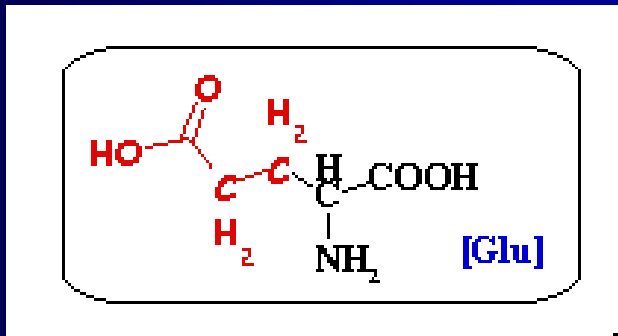
E. Mounier
T. Widiez

La thématique: nutrition azotée

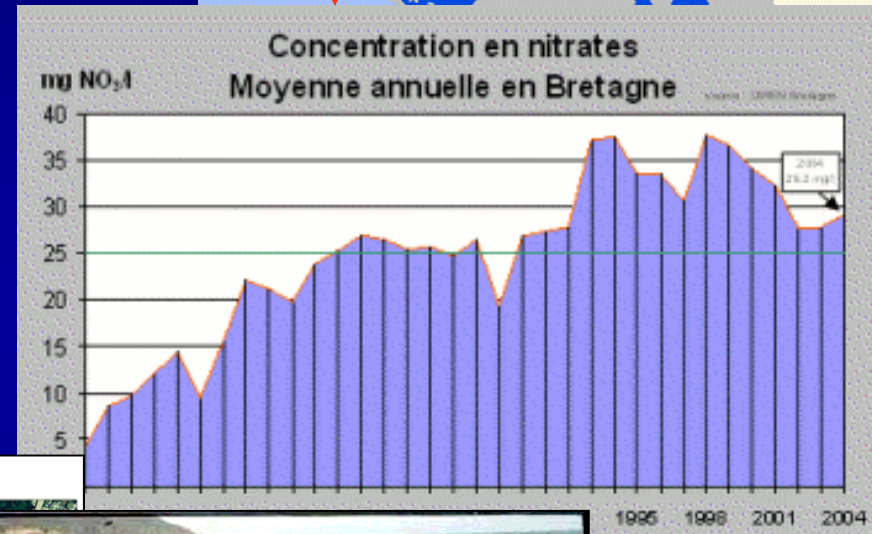
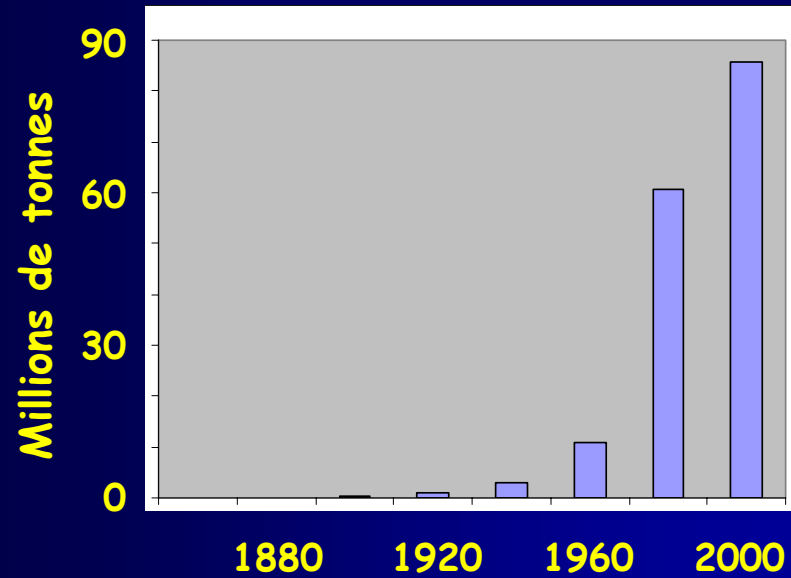
L'azote: de 1 à 5% de la biomasse sèche

Fort impact sur la croissance des plantes

Constituant des acides aminés



Consommation mondiale d'engrais azotés



GREVE DE SAINT MICHEL (prise de vue du 19/07/96)



La thématique: régulation du prélèvement racinaire de N

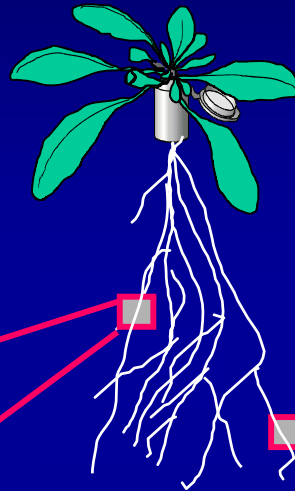
Statut nutritionnel de la plante entière



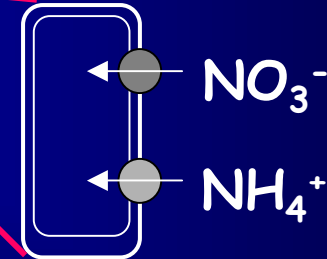
A. thaliana
M. truncatula



Architecture racinaire



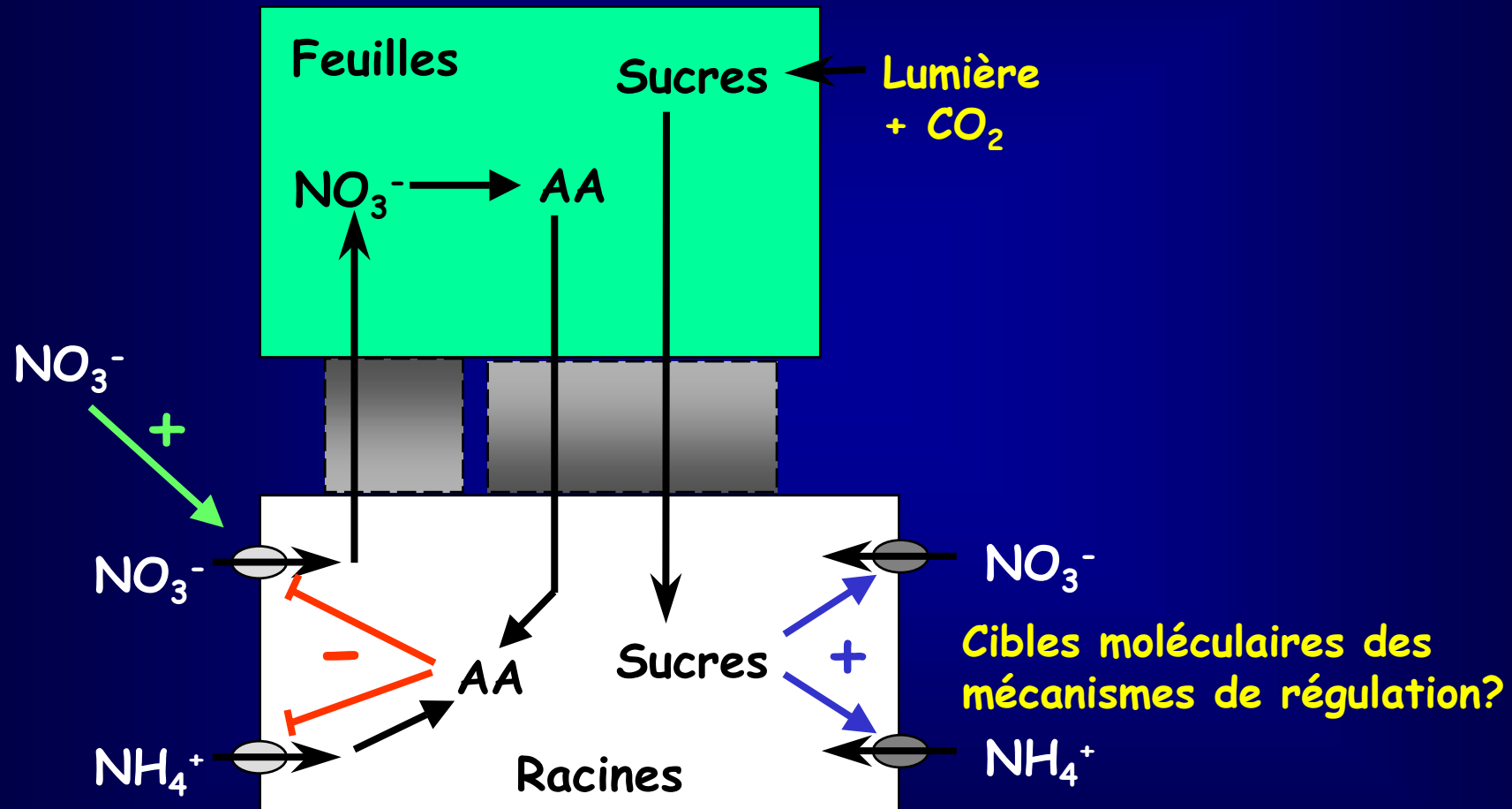
Disponibilité externe de N



Transporteurs

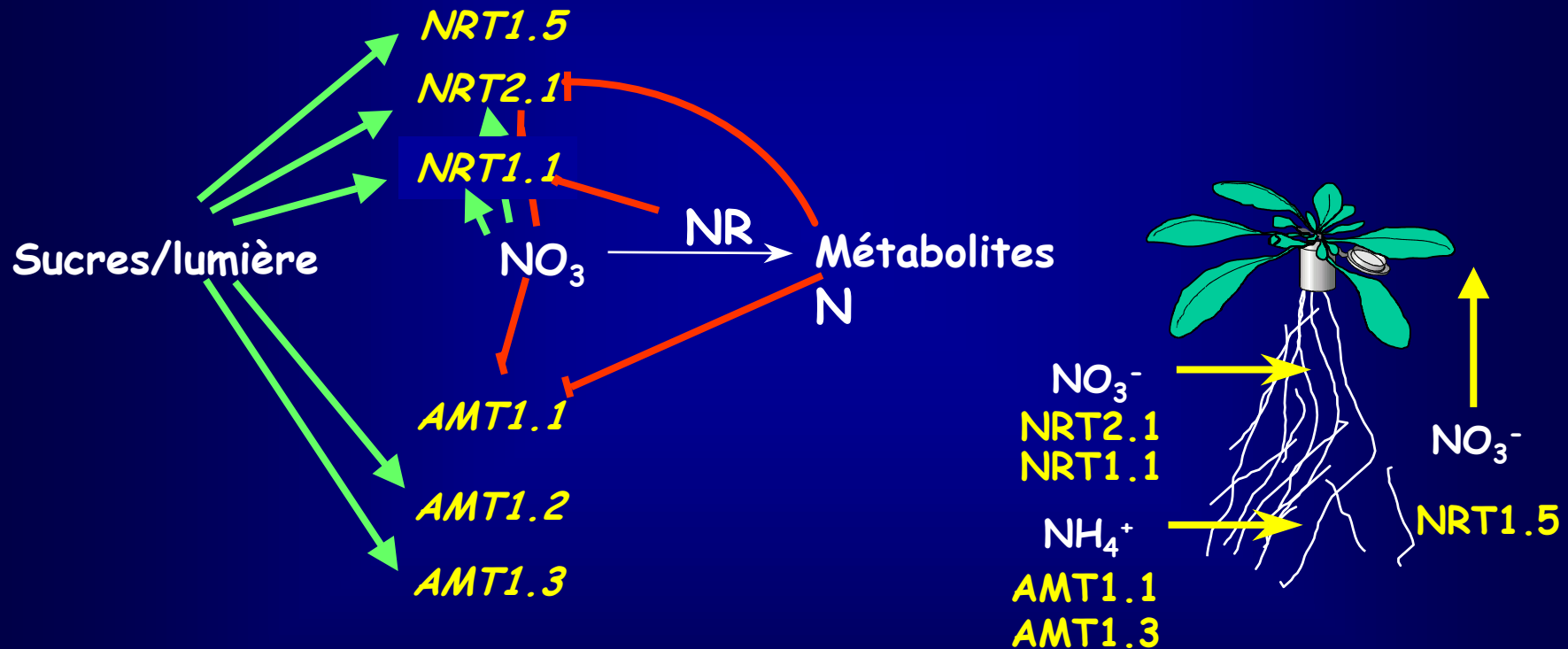
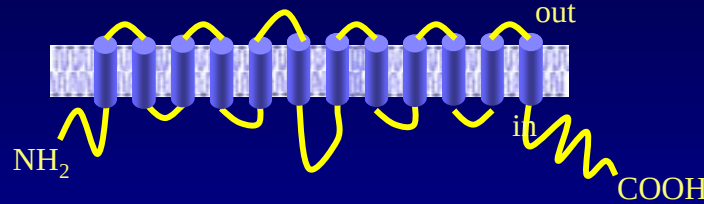
Intégration dans la plante entière

Le cadre conceptuel



Les transporteurs et leurs régulations

NRT1 (PTR): 53 gènes
NRT2: 7 gènes
AMT1: 5 gènes



2 transporteurs chéris: *NRT1.1* et *NRT2.1*

2003/2004: nouvelles orientations

Caractérisation des voies de signalisation (NRT1.1, NRT2.1)

NO_3^- , métabolites N, sucres

Régulations post-transcriptionnelles (NRT2.1)

Prise en compte d'un niveau supérieur d'intégration

Régulation intégrée de l'acquisition des différentes sources de N (NO_3^- , NH_4^+ , N_2): *Medicago*

Interaction entre transporteurs NO_3^- et développement racinaire

Interaction entre voies de signalisation (N/C)

2008: Relations structure/fonction des transporteurs

Caractérisation fonctionnelle des PTR

Les stratégies expérimentales

Physiologie de la nutrition minérale d'*Arabidopsis*

- Culture hydroponique
- Split-root
- Isotopes stables

Expression génique

- Transcriptome

Protéines

- Immunologie/GFP

Voies de signalisation

- Pharmacologie
- analyse promoteurs
- cribles génétiques

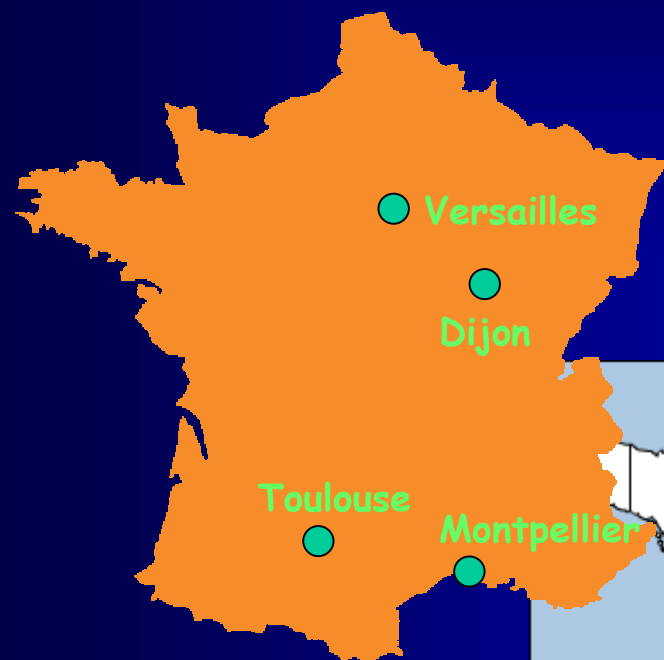
Analyses morphologiques

- Imagerie (architecture racinaire, gènes rapporteurs)

Expression hétérologue

- Ovocytes

De nombreuses collaborations



Le partage des tâches

L. Lejay



Signalisations
Sucres

Interaction N/C

Approches
protéines

M. Lepetit



Signalisations
N

Medicago

Approches
génétiques

P. Nacry



Transporteurs et
développement
racinaire

Signalisations
hormonales

Etudes
morphologiques

B. Lacombe



Caractérisation
fonctionnelle PTR

Structure/fonction

Systèmes
hétérologues

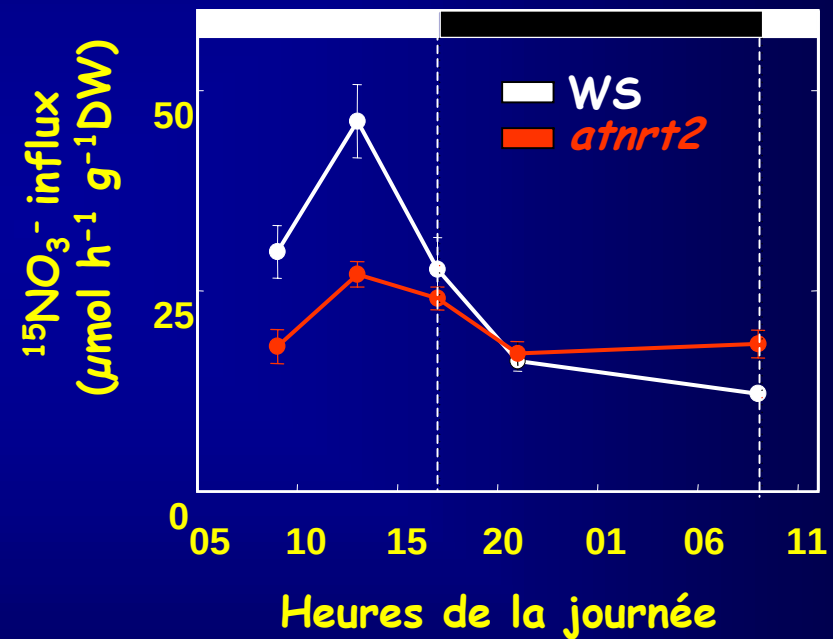
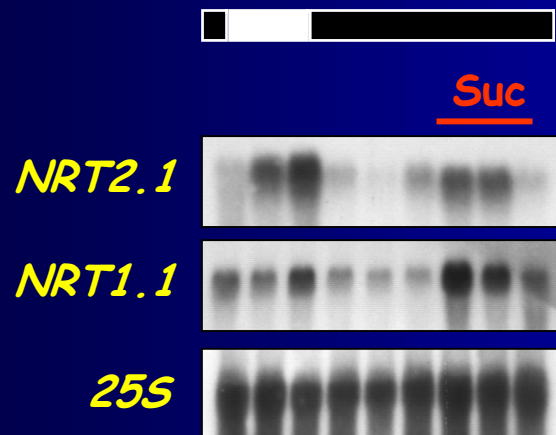
P. Tillard



Marquages $^{15}\text{N}/^{13}\text{C}$, mutants KO

Régulation du prélèvement racinaire par la photosynthèse

Les sucres sont des signaux gouvernant l'expression des transporteurs



La décomposition des signalisations sucres

16 gènes régulés par les sucres

<i>NRT2.1</i>	<i>PHT3.1</i>
<i>NRT2.4</i>	<i>PHT1.4</i>
<i>NRT1.1</i>	<i>KUP2</i>
<i>NRT1.5</i>	<i>CNGC11</i>
<i>At3g16180 (PTR)</i>	<i>HAK5</i>
<i>At5g62680 (PTR)</i>	<i>YSL4</i>
<i>AMT1.3</i>	<i>SULTR1.1</i>
<i>ZIP11</i>	<i>SULTR3.5</i>

3 gènes régulés par la lumière

At1g59740 (PTR)
NRT1.3
AKT2

10 gènes régulés par signal en aval de HXK

<i>NRT2.1</i>	<i>AMT1.3</i>
<i>NRT2.4</i>	<i>SULTR1.1</i>
<i>NRT1.1</i>	<i>SULTR3.5</i>
<i>NRT1.5</i>	<i>ZIP11</i>
<i>At3g16180 (PTR)</i>	<i>KUP2</i>

5 gènes régulés par signal en amont de HXK

HAK5
At5g62680 (PTR)
PHT3.1
PHT1.4
CNGC11

1 gène régulé par le sensing HXK

YSL4

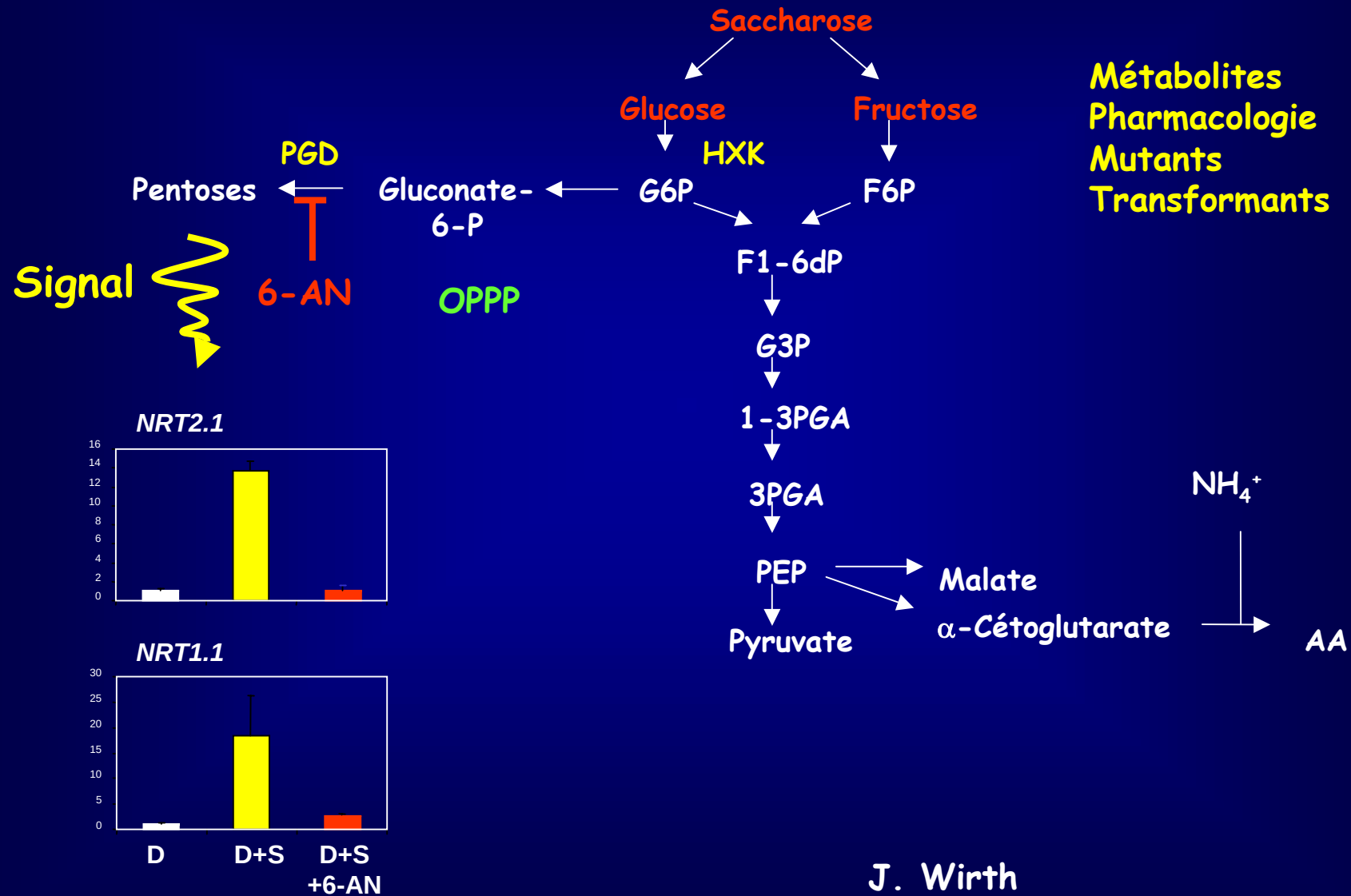
8 gènes régulés par signal dépendant de OPPP

<i>NRT2.1</i>	<i>At3g16180 (PTR)</i>
<i>NRT2.4</i>	<i>AMT1.3</i>
<i>NRT1.1</i>	<i>SULTR1.1</i>
<i>NRT1.5</i>	<i>SULTR3.5</i>

2 gènes régulés par signal indépendant de OPPP

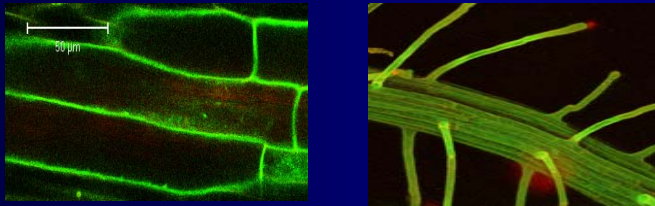
ZIP11
KUP2

Signal sucres dépendant de OPPP



Régulation(s) post-traductionnelle(s) de NRT2.1

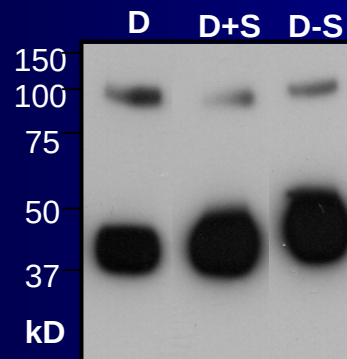
Combinaison immunologie et imagerie GFP



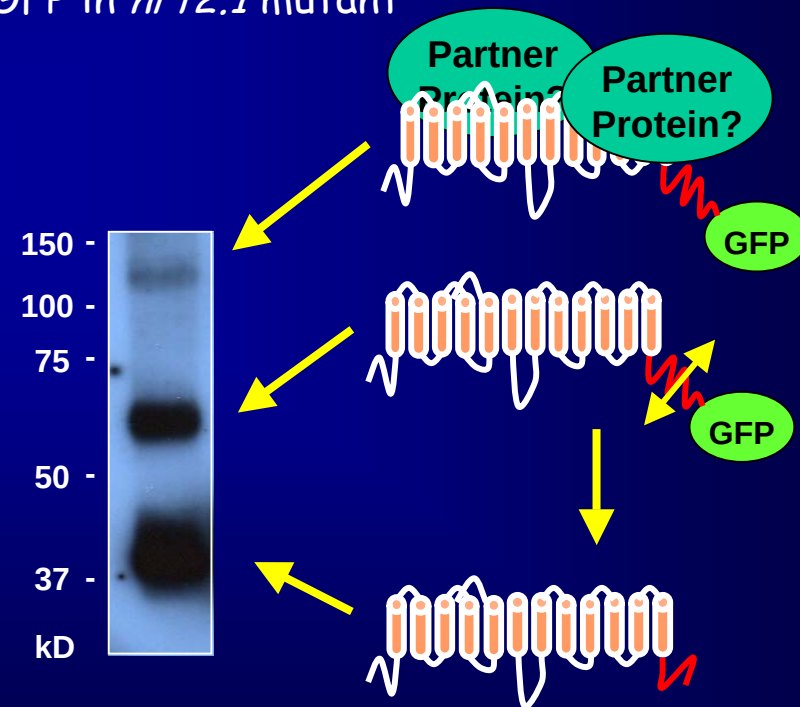
Plusieurs formes de NRT2.1 dans la MP

NRT2.1-GFP in *nrt2.1* mutant

Abondance stable de NRT2.1 dans la MP



J. Wirth



Anti-NRT2.1 antibody

La suite

Niveau ARNm

Caractérisation de la voie dépendante de OPPP (mutants métabolisme) et de gènes régulateurs candidats (puces Affimetrix)

Interaction entre signalisations C et N: impact du statut C sur la réponse de *NRT2.1* à la carence en N

Niveau protéine

Quelles régulations post-traductionnelles affectent l'activité de *NRT2.1*?

Le partage des tâches

L. Lejay



Signalisations
Sucres

Interaction N/C

Approches
protéines

M. Lepetit



Signalisations
N

Medicago

Approches
génétiques

P. Nacry



Transporteurs et
développement
racinaire

Signalisations
hormonales

Etudes
morphologiques

B. Lacombe



Caractérisation
fonctionnelle PTR

Structure/fonction

Systèmes
hétérologues

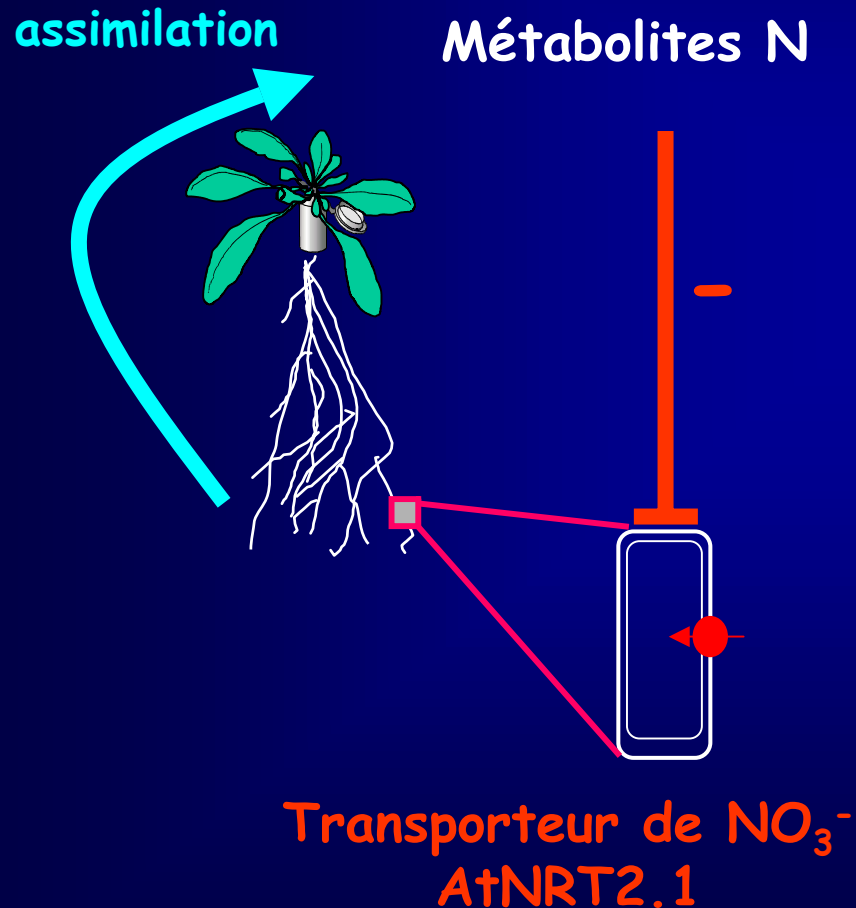
P. Tillard



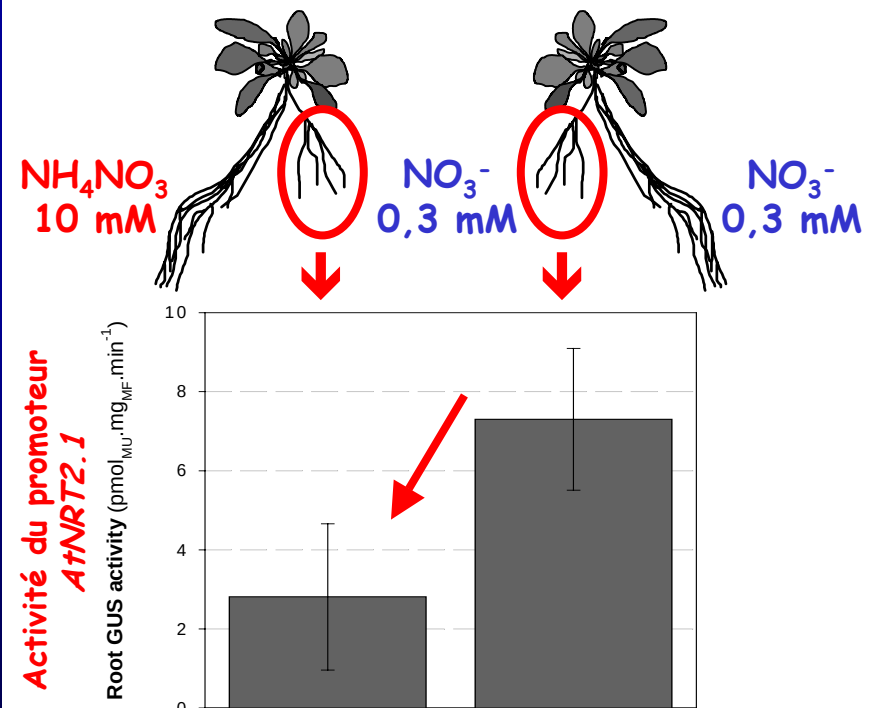
Marquages $^{15}\text{N}/^{13}\text{C}$, mutants KO

Les métabolites N exercent un rétro-contrôle négatif sur le prélèvement de NO_3^-

Statut azoté de la plante

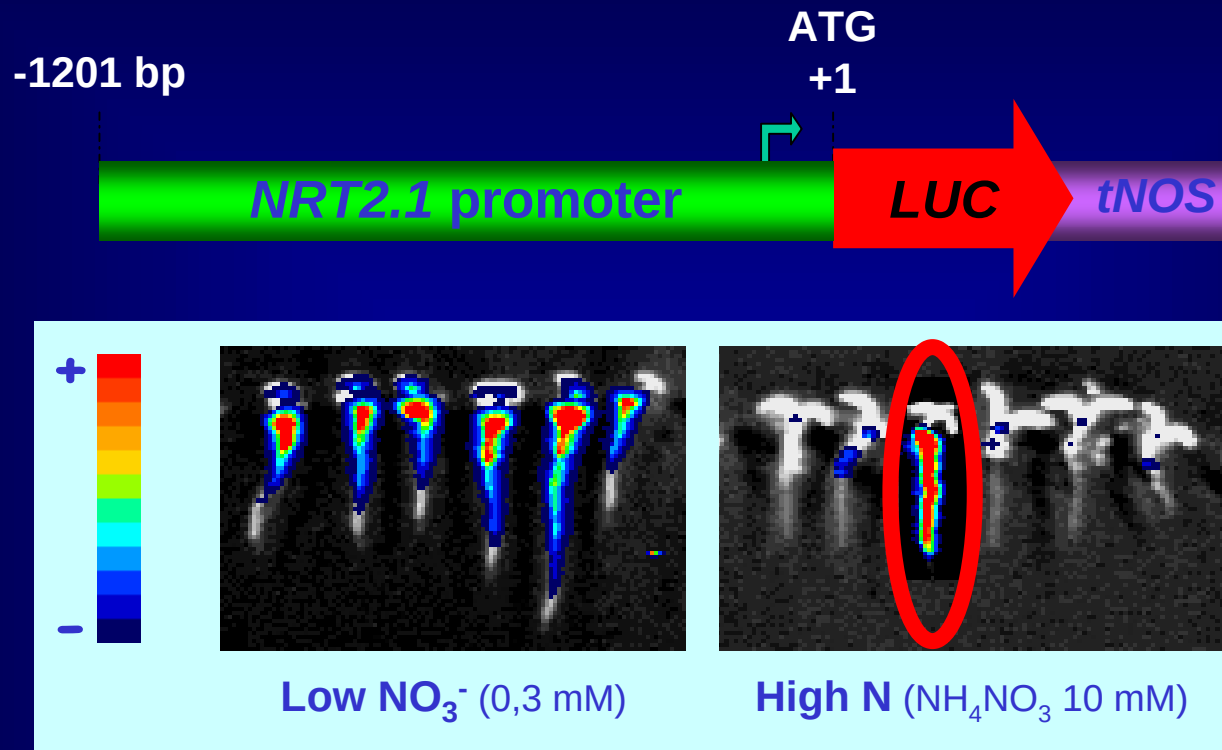


La répression par les métabolites N est systémique
Système split-root



Thomas GIRIN

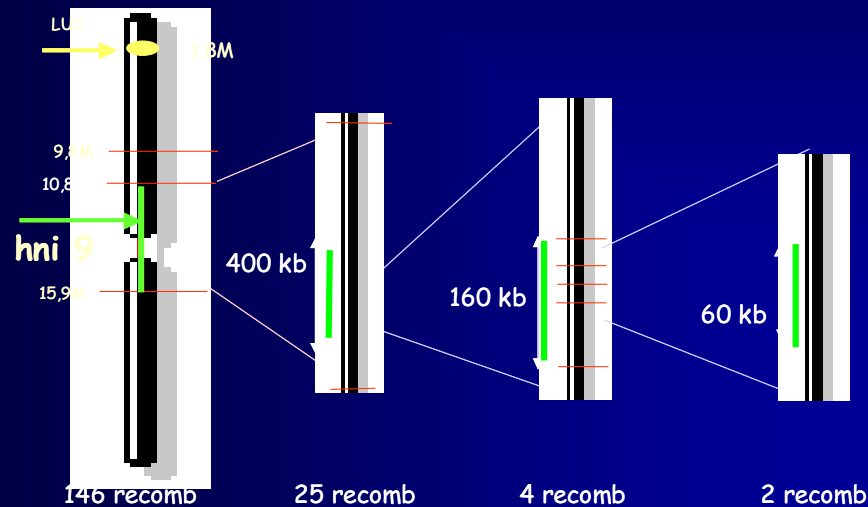
Identification de mutants affectés la repression par les metabolites N



Mutants hni (high nitrogen insensitive): hni9, hni48, hni52, hni140
-4 mutations récessives,
-appartiennent à des groupes de complémentation distincts,
-toutes cartographiées sur le chromosome 1

Clonage de *HNI9*

Out cross *hni9* X Ler



Sayed ELKAFI

HNI9



Exon 7

NL20a `cgacttgctaaggatttggttgataaatggtctcgccccaat`
Hni 9 `cgacttgctaaggatttggttgataaatgatctcgccccaat`
R L A K D L V D K *

En cours:

-alleles KO

-complementation

Sur la base des homologues de séquences avec la levure et l'homme HNI9 code un facteur de transcription sans activité de liaison à l'ADN qui participe à un complexe de impliquant plusieurs protéines.

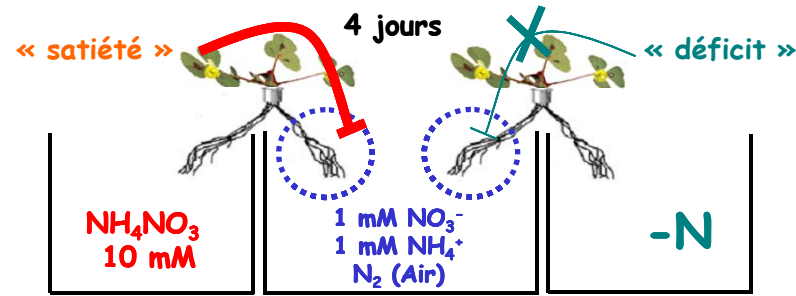
Caractérisation fonctionnelle de *HNI9*, mécanisme?
Autres mutants *hni* 48, 52, 140

Thomas WIDIEZ

Des régulations systémiques contrôlent les autres formes d'acquisition de N par la plante

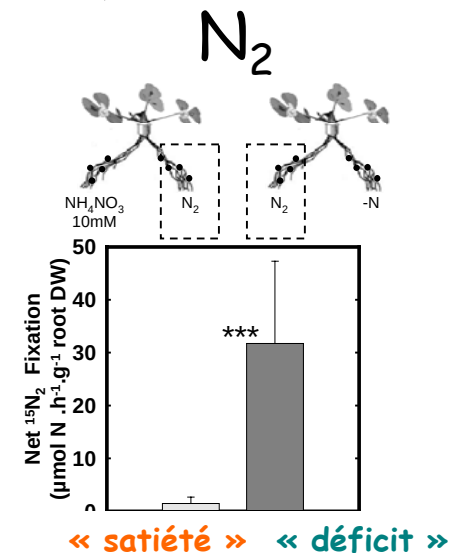
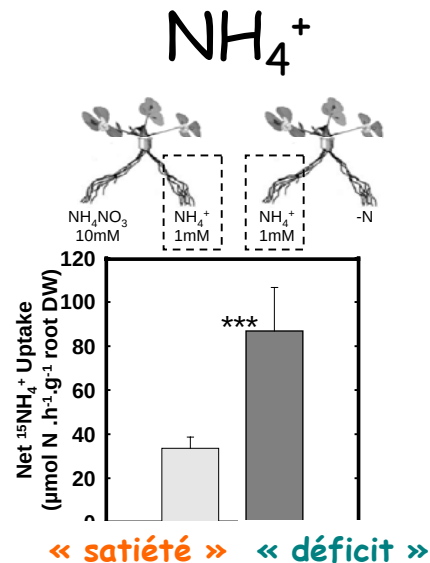
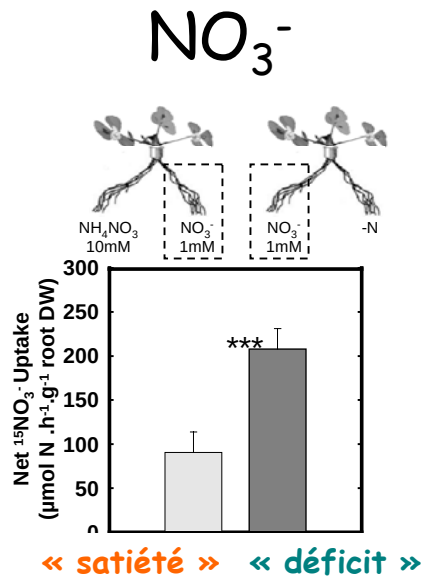
Légumineuse modèle *Medicago truncatula*

Split-root:
Un modèle
expérimental pour
caractériser les
régulations
systémiques

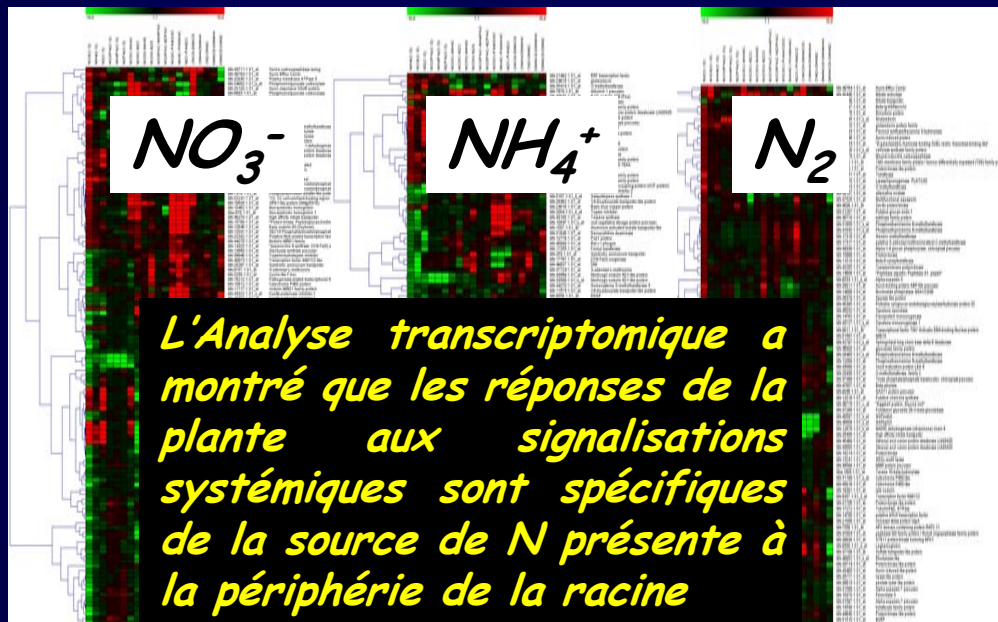


Sandrine RUFFEL

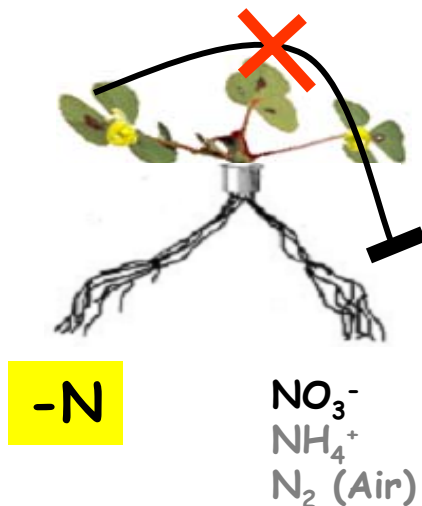
Collaboration
URLEG Dijon
LIPM Toulouse



Des éléments nouveaux originaux...



Ce qui suggère une forte interaction entre les signalétiques locales et systémiques pour chaque source de N...



Sandrine RUFFEL

Une des conséquences physiologiques de cette spécificité est que les plantes n'ont pas la même capacité d'adaptation à une « carence » locale en N suivant la source de N

Seules les plantes cultivées sur NO_3^- sont capables de compenser la « carence » locale

Le partage des tâches

L. Lejay



Signalisations
Sucres

Interaction N/C

Approches
protéines

M. Lepetit



Signalisations
N

Medicago

Approches
génétiques

P. Nacry



Transporteurs et
développement
racinaire

Signalisations
hormonales

Etudes
morphologiques

B. Lacombe



Caractérisation
fonctionnelle PTR

Structure/fonction

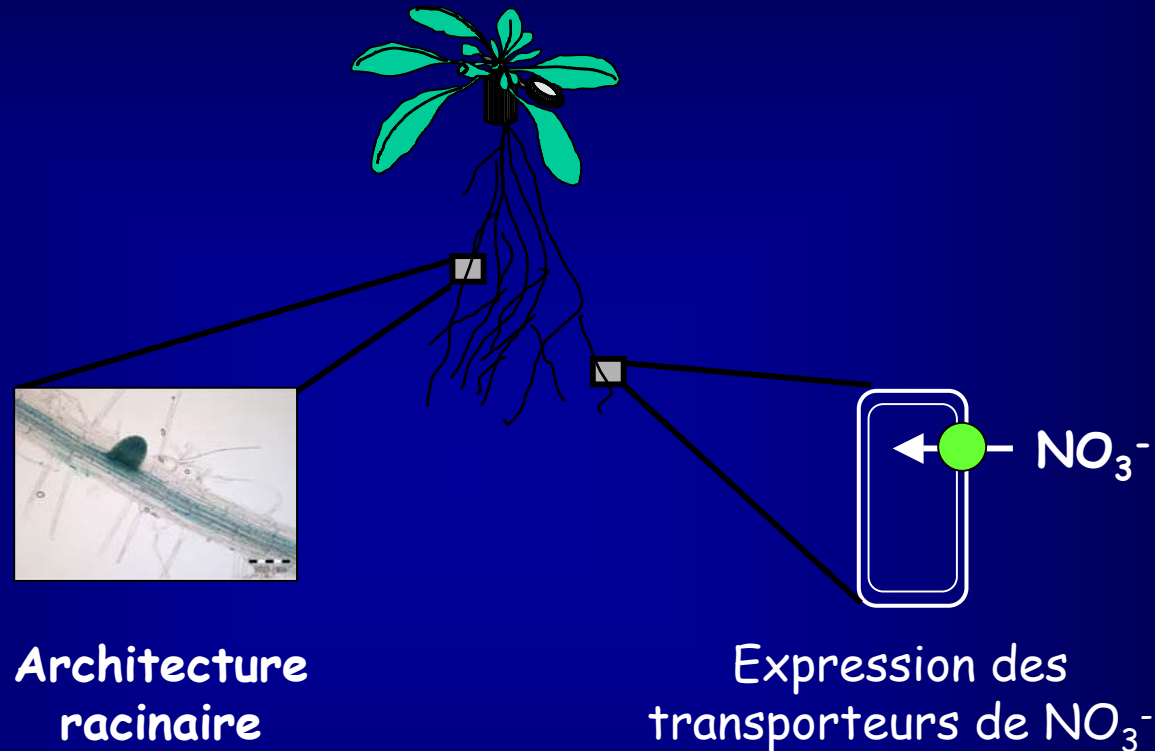
Systèmes
hétérologues

P. Tillard



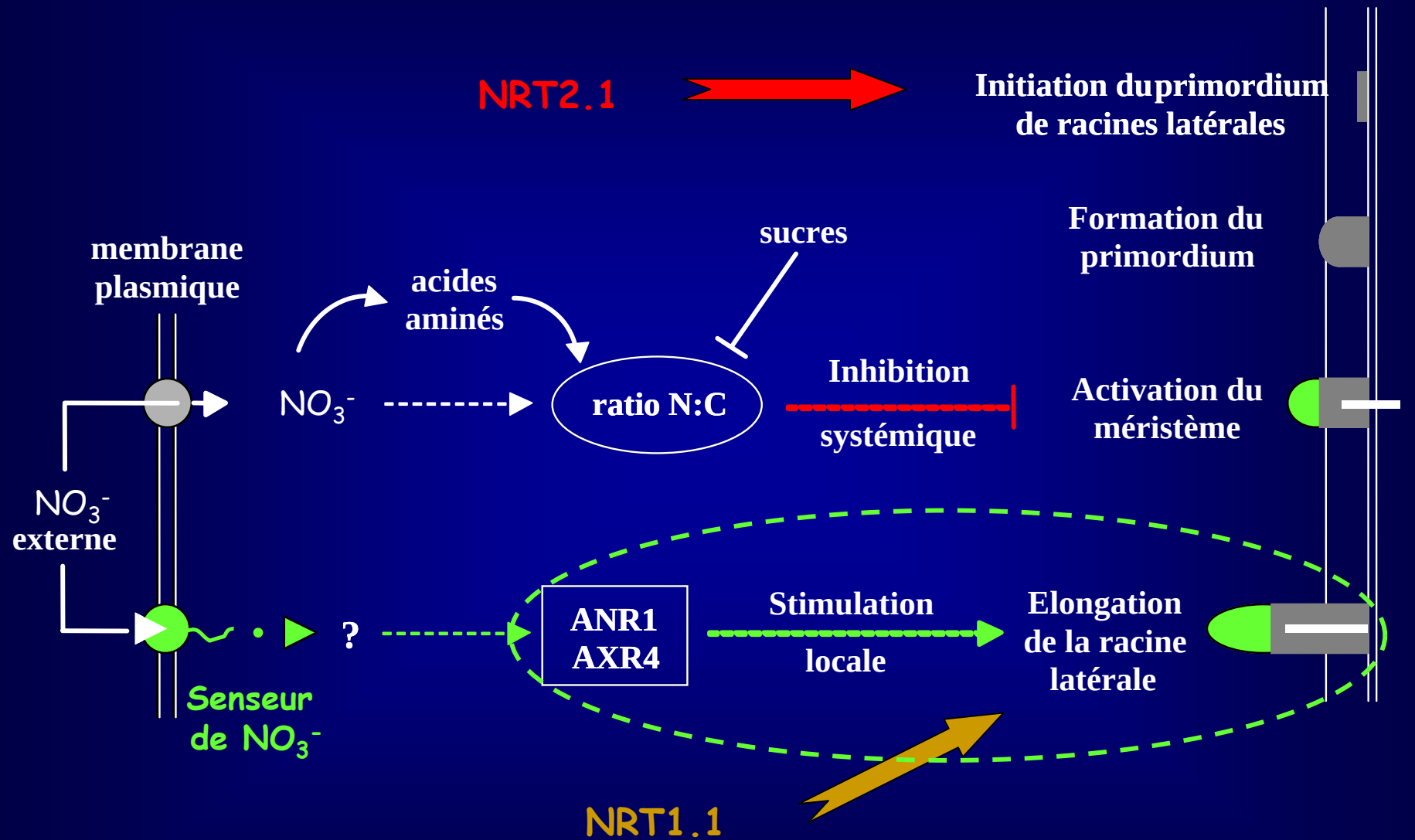
Marquages $^{15}\text{N}/^{13}\text{C}$, mutants KO

Réponses d'*A. thaliana* à la carence en azote



- Comment ces deux réponses interagissent ?
- Est ce que la réponse de développement racinaire à la carence en N est modifiée chez les mutants NRT?

Deux effets opposés du NO_3^- sur la croissance des racines latérales



D'après Zhang et Forde 2000 J Exp Bot
Remans et al. 2006 Plant Physiol
Remans et al. 2006 PNAS

La croissance des racines latérales est altérée chez les mutants *nrt1.1* (*chl1*)

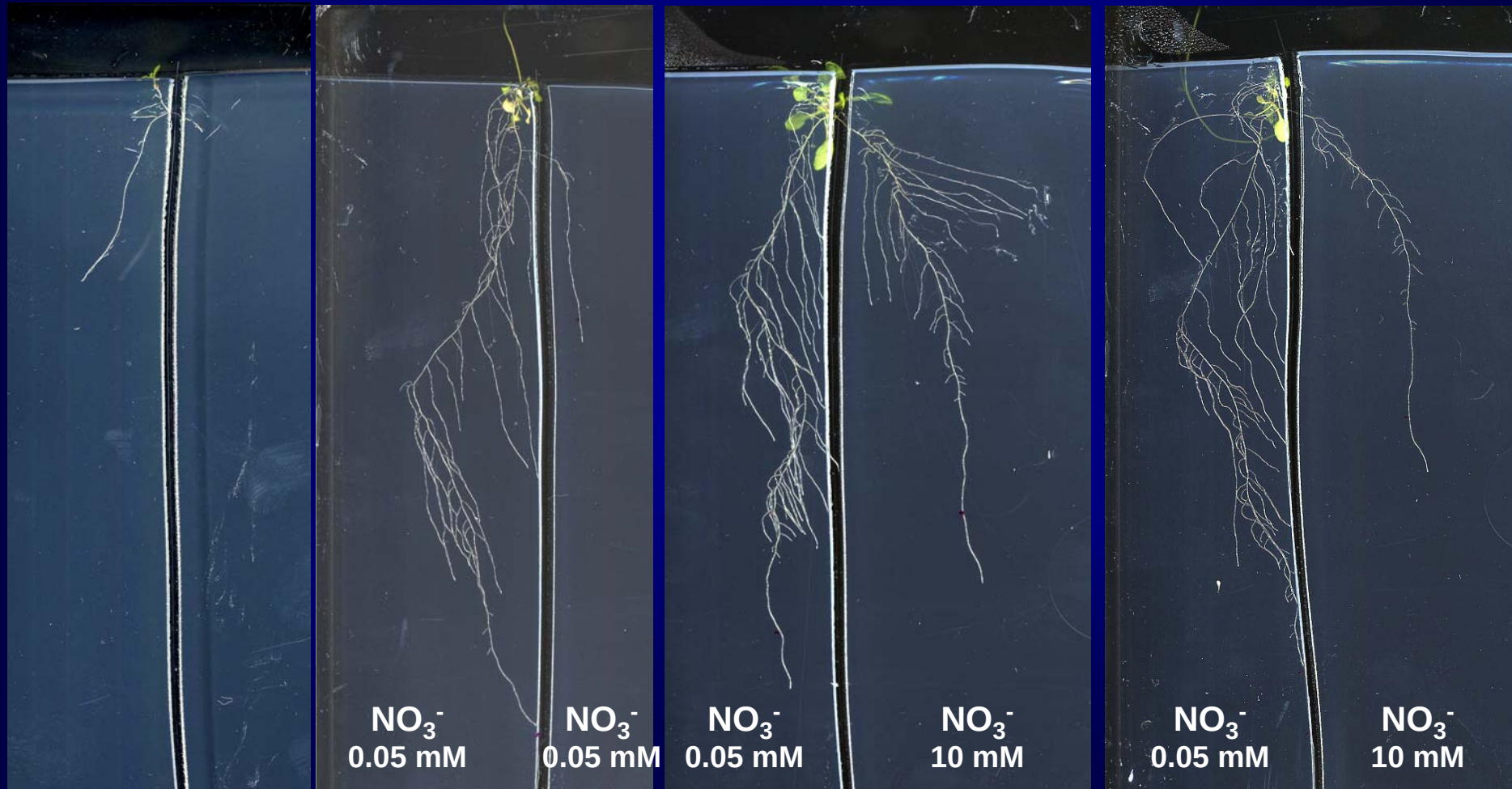
Jour 0

Jour 12

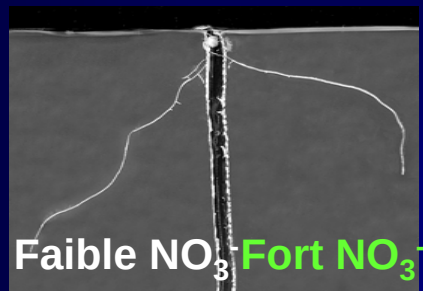
Contrôle WT

WT

nrt1.1



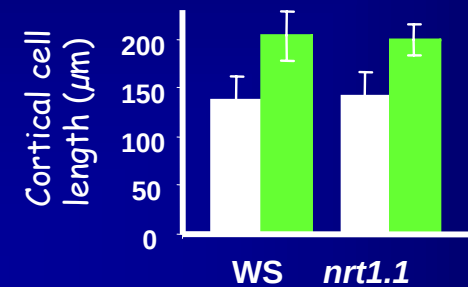
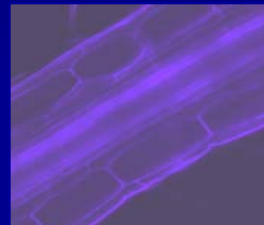
Les deux composantes de la réponse de prolifération des Rac. Lat.



5 jours



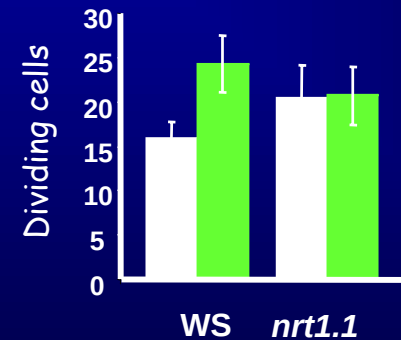
Elongation Cellulaire: indépendante de NRT1.1



Division cellulaire: dépendante de NRT1.1

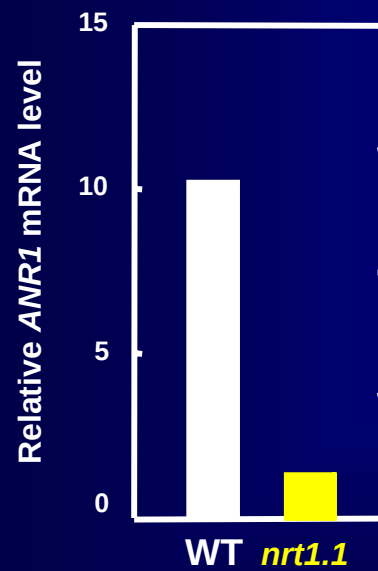


pCYC::GUS

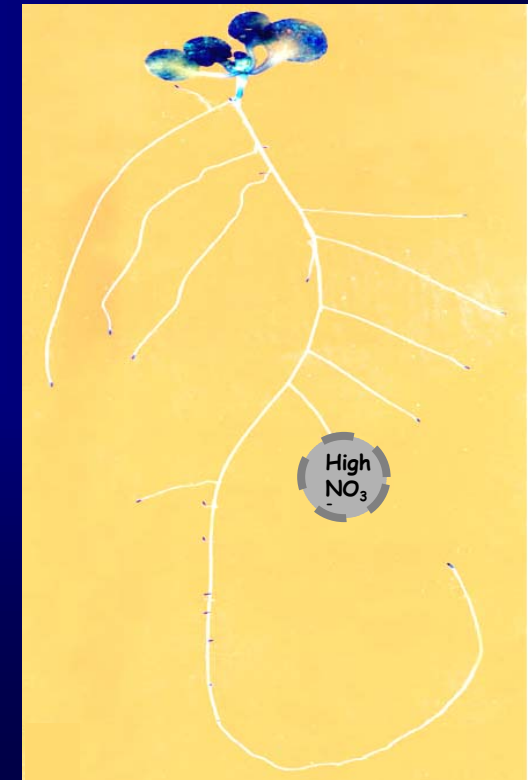
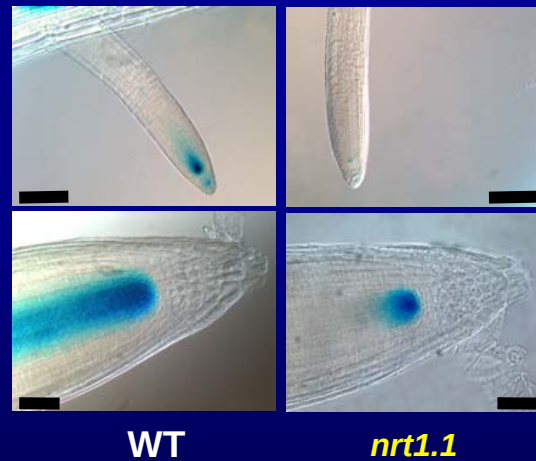


Mounier et al (non publié)

NRT1.1 contrôle l'expression d'*ANR1*

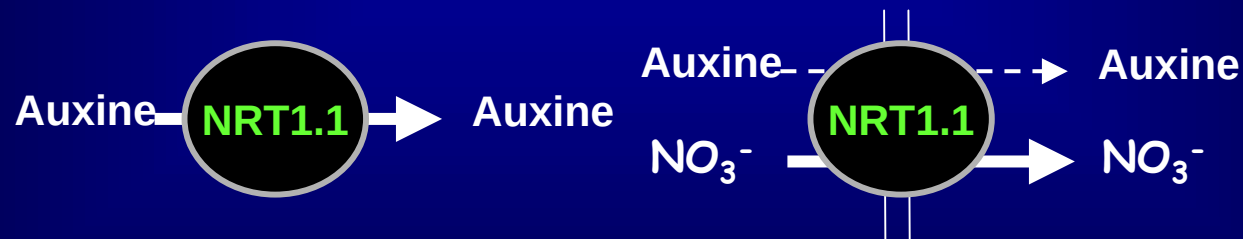
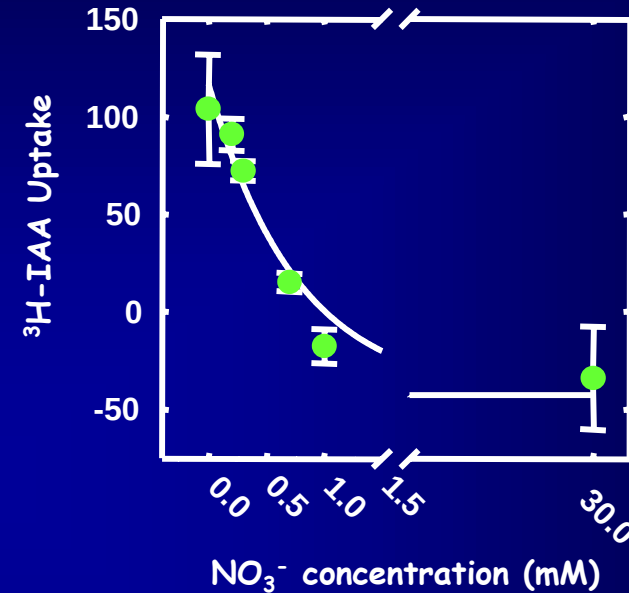
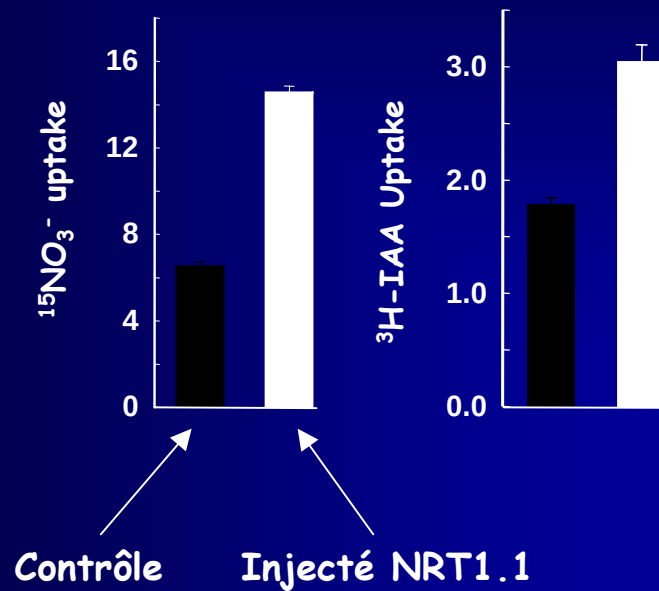


pANR1::GUS



Remans et al. 2006 PNAS

NRT1.1 transporte du NO_3^- et de l'auxine en ovocytes de Xenope



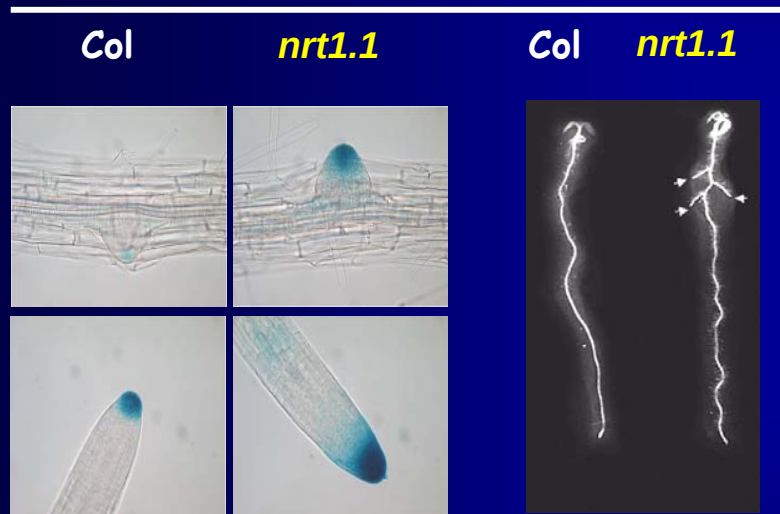
Transduction du signal NO_3^- par NRT1.1:
une modification de l'influx d'auxine dans la cellule

Krouk et al. (non publié)

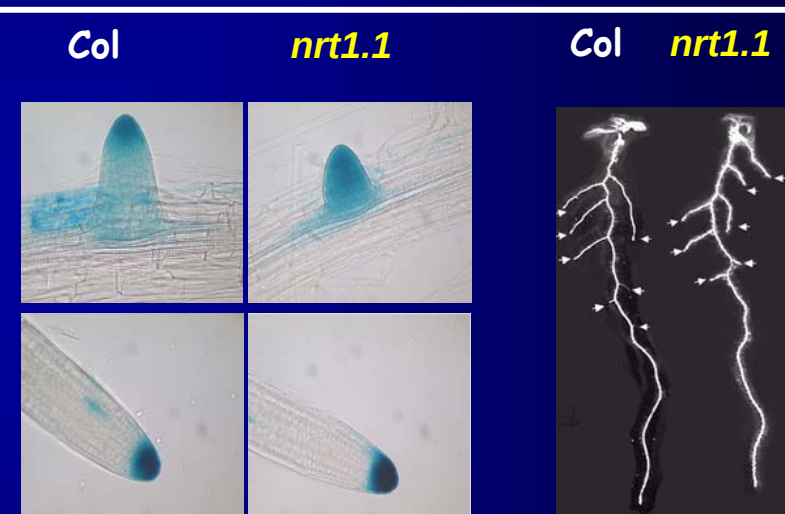
La mutation de *NRT1.1* modifie l'accumulation ou la sensibilité à l'auxine dans les Racines latérales

Activité du promoteur *DR5* : (inductible par l'auxine) fonds génétiques Col ou *chl-5*

Faible NO_3^-



Fort NO_3^-



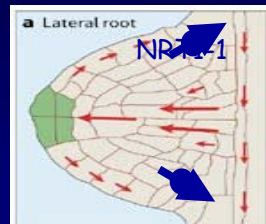
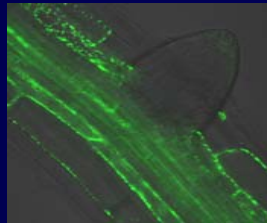
Krouk et al. (non publié)

NRT1.1 limite l'accumulation ou la sensibilité à l'auxine dans les LR à faible NO_3^-

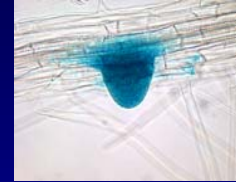


Effet répresseur de *NRT1.1* sur la croissance des Rac Lat à faible NO_3^-

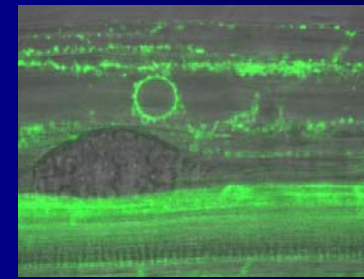
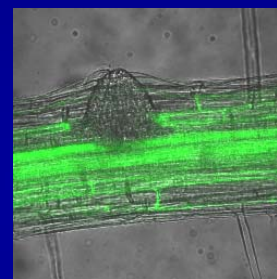
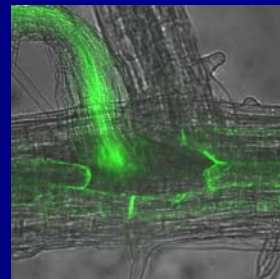
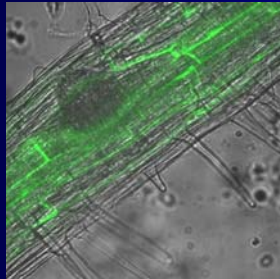
La suite



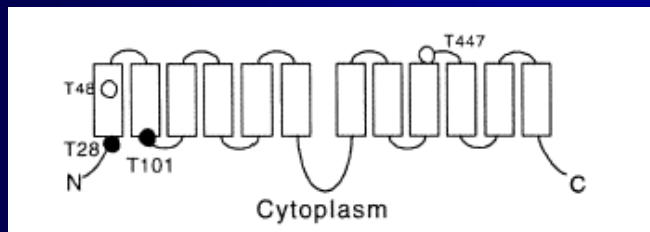
Absence de NO_3^-
Col *chl1-5*



- Comment NRT1.1 affecte les flux d'auxin dans les primordia



- Quel est le profil d'expression et quelles régulations pour NRT1.1?



- Quelles fonctions pour les différentes parties de NRT1.1 ?
- Est ce que d'autres transporteurs de NO_3^- sont impliqués dans des voies de signalisation?

Le partage des tâches

L. Lejay



Signalisations
Sucres

Interaction N/C

Approches
protéines

M. Lepetit



Signalisations
N

Medicago

Approches
génétiques

P. Nacry



Transporteurs et
développement
racinaire

Signalisations
hormonales

Etudes
morphologiques

B. Lacombe



Caractérisation
fonctionnelle PTR

Structure/fonction

Systèmes
hétérologues

P. Tillard



Marquages $^{15}\text{N}/^{13}\text{C}$, mutants KO

Bases moléculaires du transport de nitrate

Caractérisation fonctionnelle de la famille NRT1

2 familles de transporteurs se partagent le gâteau:

-**NRT2** en compagnie de **NRT3/NAR2**: haute affinité

-**NRT1/PTR/POT (Peptide TransporteR/Proton coupled Oligopeptide Transporter)**

haute et basse affinité (NRT1.1) ou seulement basse (NRT1.2 et 1.4)

Homologie avec PepT1 (transporteur de di et tripeptides mais aussi antibiotiques)

Les NRT1 d'Arabidopsis

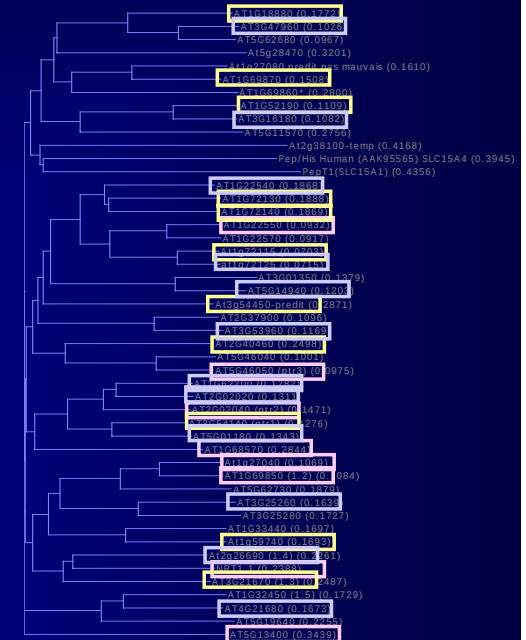
		*	20	*	40		60	*	80	*	100	*							
AT1G18880	:	----	----	----	MEVKEKTEKNIARDES	----	KIIYRCWKVMPFI	IGNETF	FEKLGIVGSSSL	NLVVYLT	TVFMNKS	ITAAKVNNTY	: 69						
AT1G22540	:	----	MSISCAVD	EACTPLLA	----	VTVOYRNKPA	----	VKSSSC	GCWSACFI	IGVVEARFAYYC	ISSNLVYLT	TGCLQST	AAAAANONAM	: 80					
AT1G22550	:	----	MAIAEERAA	LIEDSVSD	SVDRHCLPA	----	GKSSST	GCWSAWY	IGVVEARFAYYC	GISSNLVYLT	TGCLQST	AAAAANONAM	: 80						
AT1G22570	:	----	MKIPEREE	VALLEDV	YVSDSVDRHCFPA	----	GKSSST	GCWSAWY	IGVVEARFAYYC	GISSNLVYLT	TGCLQST	AAAAANONAM	: 80						
At1g27040	:	----	MEVEMHGD	VSKWEGYAD	WRNKAAAL	----	RCR	HGCHLAAS	FVLAVVLE	ENLAYLANAS	NLVVYLY	REYMHMSL	ARSSSEUTTF	: 77					
At1g27080_predit_pas	:	----	MGCVENRK	ILP	----	----	EKKLCG	WRAITF	ILGNET	FEKLGIS	ICSAFMD	YLRNVFHMEP	VEAFNVVYLY	: 64					
AT1G32450_(1.5)	:	----	MSCLEIY	KNKDTMKK	KEGKEERT	RDGTVYYGRPSI	----	RSN	SGCWVAGI	VLLNQL	CLATLAF	FCVGVNLV	PLTRVL	QOQNN	ADAANNVSKO	: 87			
AT1G33440	:	----	MDVHDL	LSSEAKR	GVHTSE	ESLDDLCV	FRGRPCR	----	PSK	HGCTRAAL	FVLGFO	AFEMMAIA	AVGNNLVY	TVFMNMFPL	SKSANLVTF	: 88			
AT1G52190	:	----	MENPPNET	AKQIQTN	----	----	EKKTKG	GIITMP	FIANAE	FKVASY	GLLPHM	YLT	IRDYRF	GV	AKGTINVLFMO	: 7			
At1g59740	:	----	MABINQ	SKNKWE	QREVSNN	WELAEBSV	WRGRPSN	----	PNK	HGCHRAAL	FVLCLAF	FIACIA	AVGNNLVY	TVFMNMFPL	SKAANTVTF	: 91			
AT1G62200	:	----	MVNSNEED	ERILLDV	RESLLT	QREVENMHLT	GLSSSTAED	CSIIYCNPPS	----	KKK	TGMWKAC	PFILGNE	CCERLAYYC	GIACNLVY	TFTELHESN	VSAASHMTD	: 102		
AT1G68570	:	----	MEEQSKNK	ISEEEK	QLHGRP	----	NRPK	CGLI	ITMPFI	IANE	CEBL	RAYYC	GIACNLVY	TFTELHESN	VSAASHMTD	: 103			
AT1G69850_(1.2)	:	----	MEVEEVS	RWEGYAD	WRNRAAV	----	KCR	HGCHLAAS	FVLAVVLE	ENLAYLANAS	NLVVYLY	REYMHMSL	SKSANDVTF	: 75					
AT1G69860*	:	----	MDNEKGT	SSSLTTR	----	----	QRKPLG	KAMPY	IGNET	FEKLGIS	ICSAFMD	YLRNVFHMEP	VEAFNVVYLY	: 68					
AT1G69870	:	----	MVLEDK	RKDGSS	LPGRSG	CSFSKSSP	SELVDVDP	YKRISSP	CGSILAEK	----	VEKKP	CGWRAVS	FILGNET	FEKLGIS	ICSAFMD	YLRNVFHMEP	VEAFNVVYLY	: 101	
At1g72115	:	----	MTTTS	SEISLQ	EEYVTD	AVDRHGLAA	----	RRSNT	CRWRAAL	FVLGVE	VARFAYYC	GISSNLVY	TFTELHESN	VSAASHMTD	: 79				
at1g72125	:	----	MTTTS	SEISLQ	EEYVTD	AVDRHGLAA	----	RRSNT	CRWRAAL	FVLGVE	VARFAYYC	GISSNLVY	TFTELHESN	VSAASHMTD	: 79				
AT1G72130	:	----	MAITYSSA	DEL	CGNTTEG	----	FLREIN	----	T	SGCWSA	RLHIV	MAERFAYYC	GISSNLVY	TFTELHESN	VSAASHMTD	: 85			
AT1G72140	:	----	MSTSIG	DNET	CAIVSN	ENVEFSV	FRGNPS	----	IRSSS	CAWKSSG	TCAC	VARFAYYC	GISSNLVY	TFTELHESN	VSAASHMTD	: 84			
AT2G02020	:	----	MASIDE	----	ERSLL	VEESL	IQREVK	----	LYAED	CSIIYCNPPS	----	KQT	TGMWKAC	PFILGNE	CCERLAYYC	GIACNLVY	TFTELHESN	VSAASHMTD	: 92
AT2G02040_(ptr2)	:	----	MCSIEE	EARPLIE	EGCLIQ	EBVK	----	LYAED	CSIIYCNPPS	----	KQT	TGMWKAC	PFILGNE	CCERLAYYC	GIACNLVY	TFTELHESN	VSAASHMTD	: 91	
At2g26690_(1.4)	:	----	MESKGS	WTVAD	AVDRHGLAA	----	RSK	TGMW	ITAA	ILGIE	VVER	LSMTCIA	VLNVY	TFTELHESN	VSAASHMTD	: 94			
AT2G37900	:	----	MEHKNIG	AEVLQD	TYDDQ	QKWLD	SSSLSRGRVPLR	----	ART	CAWRAAL	FVLGVE	VARFAYYC	GISSNLVY	TFTELHESN	VSAASHMTD	: 88			
At2g38100-temp	:	----	MSVLS	WAF	TVA	MTFLW	MLVYLT	TFTELHESN	VSAASHMTD	: 40									
AT2G40460	:	----	MEAAK	VYITQ	DTVLQ	GRPV	----	ASK	TGMWRA	CSF	ILGIE	VVER	LSMTCIA	VLNVY	TFTELHESN	VSAASHMTD	: 74		
AT3G01350	:	----	MDLEQ	KTR	CLSK	SCALL	VIAC	MERYAF	KCVAS	NLVY	TFTELHESN	VSAASHMTD	: 57						
AT3G16180	:	----	MENPPD	QTES	KETLQ	QPT	----	TRRR	TKG	GLL	ITMPFI	IANE	CEBL	RAYYC	GIACNLVY	TFTELHESN	VSAASHMTD	: 79	
AT3G21670_(1.3)	:	----	MVHVSS	SHGAD	CGSE	RAYYC	IRGNPPD	----	RSK	TGMW	CGAL	ILGIE	VVER	LSMTCIA	VLNVY	TFTELHESN	VSAASHMTD	: 73	
AT3G25260	:	----	MQIE	MEK	FE	DRGKEAT	----	SGK	HGCI	KA	FIAC	VVET							

Bases moléculaires du transport de nitrate

Caractérisation fonctionnelle de la famille NRT1/PTR

Sur les 46 membres, seulement 6 ont été partiellement caractérisés :

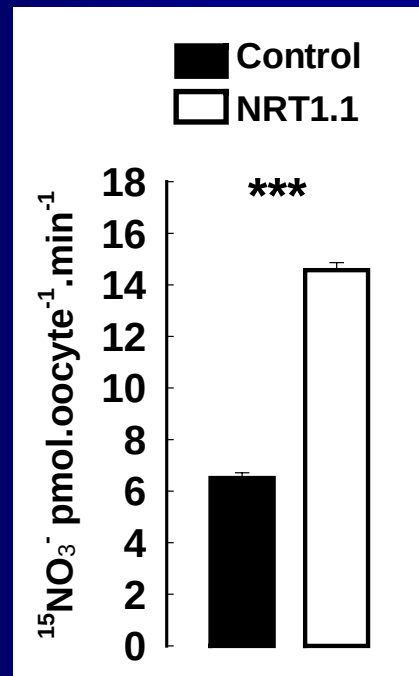
- **3 transporteurs de nitrate (NRT1.1, 1.2 et 1.4)**
- **3 transporteurs de dipeptides (ptr1, 2 et 3).**



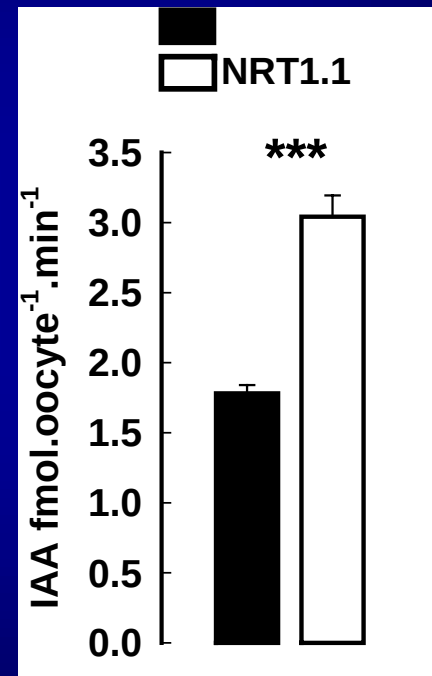
- 1- **Rechercher des transporteurs de nitrate**
parmi les NRT1/PTR : screen 15N dans l'ovocyte
- 2- **Étudier les mécanismes de transports du nitrate**
(couplage ?, sélectivité, voltage-dépendance, ...)
- 3- **Rechercher les bases moléculaires des propriétés de ces transporteurs**
Etude des relations structure-fonction

Expression de NRT1.1 (CHL1) dans l'ovocyte de xénope

$^{15}\text{NO}_3$



^3H -IAA



Krouk et al., soumis

Mécanismes de transport du nitrate

Couplage avec H^+ ?

Sélectivité ?

Voltage-dépendance?

Pharmacologie

Dans un premier temps NRT1.1 et 1.2

Influx ^{15}N et voltage-clamp à deux électrodes

Relations Structure / Fonction

- Les NRT1 sont-ils mono ou multimériques: approches dominant négatifs
- bases moléculaires des propriétés fonctionnelles:
pourquoi certains transporteurs transportent nitrate d'autres peptides,
d'autres auxine?

Deux approches possibles:

- Chimères
- Mutagénèse dirigée

Y selectivité → G absolu pour fonction

	120	*	140	*	160	*	180	*	200	*	220																																																																																																		
Pep/His_Human_(AAK95	EA	L	F	M	L	T	Y	L	G	S	P	F	G	G	L	A	D	A	R	L	G	R	A	F	A	L	L	S	L	A	L	Y	L	G	L	A	F	P	L	A	A	P	A	T	R	A	L	C	G	S	A	R	L	L	N	C	T	A	P	G	P	D	A	A	A	R	C	C	S	P	A	T	A	G	L	V	L	V	G	L	V	A	T	V	K	A	N	I	T	P	F	G	A	D	Q	V	K	D	R	G	P	E	:	189					
PepT1 (SLC15A1)	A	I	Y	H	F	V	A	L	C	Y	L	T	P	I	L	G	A	L	A	D	S	L	G	K	R	F	I	V	S	L	S	I	V	T	L	G	Q	A	V	T	S	V	S	I	N	D	L	T	D	M	H	D	G	-----	T	P	D	S	L	P	V	H	V	V	L	S	L	I	G	L	A	L	A	L	G	T	G	G	K	P	C	V	S	A	F	G	D	Q	F	E	E	G	Q	E	K	:	157												
At2g38100-temp	A	T	C	N	V	F	A	C	V	S	A	I	G	H	L	G	M	Q	F	L	V	D	A	F	I	C	H	F	M	L	C	L	T	L	A	F	S	F	G	F	G	L	A	S	P	I	L	S	-----	G	N	G	Q	K	L	F	V	A	L	T	V	S	V	G	I	F	G	R	S	I	S	L	G	V	T	E	D	Q	L	E	D	G	R	N	K	:	128																						
AT5G11570	N	I	L	F	M	S	A	A	T	N	F	F	L	V	C	A	F	I	A	D	S	T	G	R	F	L	I	G	F	G	S	S	I	S	L	T	G	V	L	L	M	T	T	I	R	P	E	---	C	D	K	L	T	---	N	---	V	C	Q	P	T	T	L	L	K	S	V	L	L	S	F	F	A	T	A	I	C	A	G	G	V	R	S	S	C	L	A	F	A	D	Q	L	P	N	Q	T	S	:	162										
AT3G16180	T	V	L	F	M	V	A	A	T	N	F	M	P	L	V	C	A	F	I	S	D	S	T	G	R	F	L	I	V	I	A	S	L	S	S	L	G	V	V	L	M	T	A	M	L	P	Q	V	K	P	S	P	C	V	A	T	---	G	T	M	C	S	S	A	T	S	S	Q	L	A	L	L	T	A	F	A	L	I	S	I	C	S	G	G	I	R	P	C	S	L	A	F	G	A	D	Q	L	D	N	---	K	E	N	:	176				
AT1G52190	N	V	L	F	M	S	A	A	S	N	F	T	P	L	L	C	A	F	I	S	D	S	T	G	R	F	L	I	V	I	A	S	L	S	S	F	L	G	V	L	M	T	A	M	L	P	Q	V	K	P	S	P	C	D	P	T	---	A	G	S	H	C	G	S	T	A	S	Q	L	A	L	L	T	A	F	A	L	I	S	I	C	S	G	G	I	R	P	C	S	L	A	F	G	A	D	Q	L	D	N	---	K	E	N	:	175				
AT1G69860*	T	L	I	N	T	M	S	A	L	T	N	F	A	P	I	I	C	A	F	I	S	D	S	T	G	K	R	F	L	I	V	F	G	S	I	A	E	L	L	G	M	V	L	T	F	T	S	L	V	P	N	L	R	P	P	C	T	A	D	Q	---	I	T	G	Q	C	I	P	Y	S	Y	S	Q	L	Y	V	L	L	S	G	L	F	L	L	S	V	G	T	G	G	I	R	P	C	S	V	P	F	S	L	D	Q	F	D	---	S	T	:	171
AT1G69870	N	V	L	F	M	S	E	F	T	N	L	T	P	L	V	C	A	I	S	D	T	Y	V	G	R	F	L	I	V	I	A	S	F	A	T	L	L	G	L	T	I	T	L	T	A	S	F	P	Q	L	H	R	A	S	C	N	---	D	P	L	S	C	G	G	P	M	K	L	I	G	V	L	L	G	L	C	F	L	S	V	C	S	G	G	I	R	P	C	S	I	P	F	G	V	D	Q	F	D	Q	---	R	T	:	203					
At1g27080_predit_pas	N	V	Y	I	M	M	E	L	T	N	F	A	P	L	L	C	A	F	I	S	D	A	I	G	R	F	L	I	V	I	A	S	L	F	S	I	L	G	M	T	V	T	I	A	C	L	P	Q	L	H	R	P	P	C	N	M	---	P	---	H	P	E	C	D	D	P	M	K	L	I	G	L	I	L	G	L	G	L	I	S	I	C	S	G	G	I	R	P	C	S	I	P	F	G	V	D	Q	F	D	Q	---	R	T	:	166				
At5g28470	N	V	L	F	M	S	C	N	I	L	T	L	A	C	A	F	V	S	D	A	I	G	R	F	L	I	V	I	L	G	S	I	A	S	F	I	G	M	G	I	F	A	T	A	A	L	P	S	L	R	P	D	A	C	I	D	P	S	N	---	C	S	---	N	Q	P	A	K	W	Q	L	G	V	L	S	G	L	G	L	A	I	C	A	G	G	V	R	P	C	N	I	A	F	G	A	D	Q	F	D	T	S	T	K	:	170				
AT5G62680	T	I	N	A	F	S	C	T	I	N	F	G	T	T	A	A	F	I	C	D	T	Y	F	G	R	F	L	I	V	I	A	S	I	C	F	L	G	S	F	V	L	L	T	A	A	V	P	Q	L	H	R	---	A	A	C	G	T	---	A	D	S	I	C	N	G	P	S	G	G	I	A	F	L	M	G	L	F	L	V	V	C	A	G	G	I	R	P	C	N	I	A	F	G	A	D	Q	F	N	P	---	K	S	:	195					
AT3G47960	T	I	N	A	F	S	C	T	I	N	F	G	T	T	A	A	F	I	C	D	T	Y	F	G	R	F	L	I	V	I	A	S	I	C	F	L	G	S	F	V	L	L	T	A	A	I	P	S	L	H	R	---	V	A	C	G	N	K	---	I	S	---	C	E	G	P	S	V	G	Q	L	F	L	M	G	L	F	L	V	V	C	A	G	G	I	R	P	C	N	I	A	F	G	A	D	Q	F	N	P	---	K	S	:	181					
AT1G18880	K	V	M	T	Y	G	E	T	S	N	F	G	T	T	A	A	F	I	C	D	S	Y	F	G	R	F	L	I	V	I	A	S	I	C	F	L	G	S	V	A	M	D	T	A	V	I	H	P	L	H	R	---	A	Q	C	A	K	E	---	I	G	S	V	C	N	G	P	S	I	G	I	M	F	L	A	G	A	M	V	L	V	I	C	A	G	G	I	R	P	C	N	L	P	F	G	A	D	Q	F	D	P	---	K	T	:	171			
AT1G22540	A	N	V	L	F	M	S	E	T	A	S	L	P	L	L	C	A	F	V	A	D	S	F	L	G	R	F	L	I	V	I	A	S	I	C	F	L	G	S	F	V	L	L	T	A	A	V	P	Q	L	H	R	---	L	S	S	C	S	P	R	F	Q	V	I	T	F	F	S	A	L	Y	L	V	A	L	A	Q	G	G	H	R	P	C	V	Q	A	F	G	A	D	Q	F	D	E	K	E	P	:	179										
AT1G72130	A	N	V	L	F	M	S	E	T	V	A	F	L	P	L	L	C	A	F	V	A	D	S	F	L	G	R	F	L	I	V	I	A	S	I	C	F	L	G	S	F	V	L	L	T	A	A	V	P	Q	L	H	R	---	H	---	Q	S	K	D	S	N	Q	L	Q	E	T	I	F	F	S	L	Y	L	V	A	I	C	G	G	G	Y	N	P	C	K	W	F	G	A	D	Q	F	D	G	N	D	H	K	:	168								
AT1G72140	S	N	V	L	F	M	E	T	A	A	F	L	P	L	L	C	A	F	V	A	D	S	F	L	G	R	F	L	I	V	I	A	S	I	C	F	L	G	S	F	V	L	L	T	A	A	V	P	Q	L	H	R	---	R	E	S	C	V	S	Q	V	K	V	I	I	F	C	A	L	Y	L	A	L	E	G	G	I	R	P	C	N	I	A	F	G	A	D	Q	F	D	E	Q	D	P	N	:	183												
AT1G22550	V	N	V	L	F	M	S	E	T	A	S	L	P	V	L	C	A	F	V	A	D	A	I	G	R	F	L	I	V	I	A	S	I	C	F	L	G	S	F	V	L	L	T	A	A	V	P	Q	L	H	R	---	R	N	A	S	A	K	P	F	F	W	N	I	L	F	C	S	L	Y	L	V	A	I	C	Q	G	G	H	R	P	C	V	Q	A	F	G	A	D	Q	F	D	V	G	D	P	K	:	184										
AT1G22570	V	N	V	L	F	M	S	E	T	A	S	L	P	I	L	C	A	F	V	A	D	A	I	G	R	F	L	I	V	I	A	S	I	C	F	L	G	S	F	V	L	L	T	A	A	V	P	Q	L	H	R	---	N	D	A	S	A	K	P	S	I	W	N	T	L	F	C	S	L	Y	L	V	A	I	C	Q	G	G	H	R	P	C	V	Q	A	F	G	A	D	Q	F	D	A	E	D	P	K	:	181										
At1g72115	A	N	V	L	F	M	S	E	I	A	T	L	P	V	L	C	A	F	V	A	D	A	I	G	R	F	L	I	V	I	A	S	I	C	F	L	G	S	F	V	L	L	T	A	A	V	P	Q	L	H	R	---	S	T	S	S	F	L	N	V	L	F	F	S	L	Y	L	V	A	I	C	Q	S	G	H	R	P	C	V	Q	A	F	G	A	D	Q	F	D	E	K	D	S	Q	:	175														
at1g72125	A	N	V	L	F	M	S	E	I	S	T	L	P	L	L	C	A	F	V	A	D	A	I	G	R	F	L	I	V	I	A	S	I	C	F	L	G	S	F	V	L	L	T	A	A	V	P	Q	L	H	R	---	S	P	S	S	F	L	N	A	L	F	F	S	L	Y	L	V	A	I	C	Q	S	G	H	R	P	C	V	Q	A	F	G	A	D	Q	F	D	E	K	N	P	K	:	175														
AT3G01350	K	T	V	M	T	A	C	F	T	S	M	L	P	L	S	A	P	L	A	D	T	Y	W	D	R	F	L	I	V	I	A	S	I	C	F	L	G	S	F	V	L	L	T	A	A	V	P	Q	L	H	R	---	R	---	S	A	T	K	T	I	S	S	Y	L	F	S	S	L	C	L	V	S	I	G	L	V	L	N	P	S	L	Q	A	F	G	A	D	Q	L	D	H	D	L	D	K	:	148												
AT5G14940	T	I	N	A	F	S	E	T	F	M	L	P	L	S	A	P	L	A	D	T	Y	W	D	R	F	L	I	V	I	A	S	I	C	F	L	G	S	F	V	L	L	T	A	A	V	P	Q	L	H	R	---	R	---	S	T	I	K	T	I	S	L	Y	L	F	T	S	L	S	L	V	A	L	G	L	V	L	N	P	S	L	Q	A	F	G	A	D	Q	L	D	Y	D	L	D	H	:	148													
At3g54450-predit	K	N	V	L	F	M	S	C	M	F	P	L	C	A	F	I	A	D	S	I	L	G	R	F	L	I	V	I	L	T	S	F	I	Y	L	G	V	M	L	P	S	V	T	V	A	R	R	-----	M	R	E	K	V	F	S	M	A	L	Y	M	A	V	E	G	G	H	R	P	C	M	T	F	A	D	Q	F	G	E	A	N	A	E	:	149																									
AT2G37900	R	N	V	L	F	M	S	E	V	T	I	L	M	P	L	L	C	A	F	V	A	D	A	I	G</																																																																																				

Les acquis originaux

La régulation des transporteurs

Mutants *hni*

Voie de signalisation sucres inconnue

Régulation post-traductionnelle de NRT2.1

Les approches plus intégrées

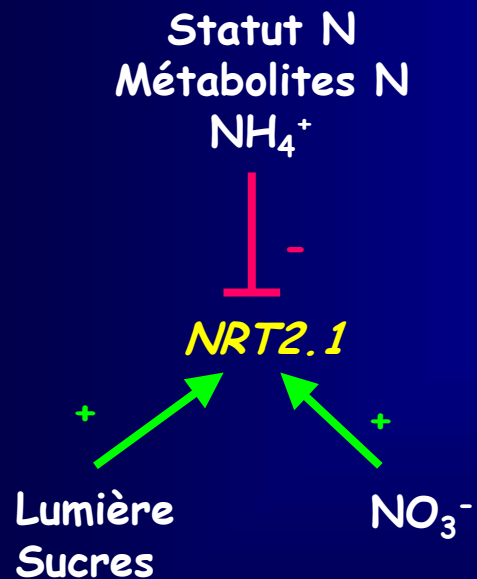
Source de N et réseaux de gènes activés par la carence

Transporteurs: senseurs gouvernant le développement racinaire

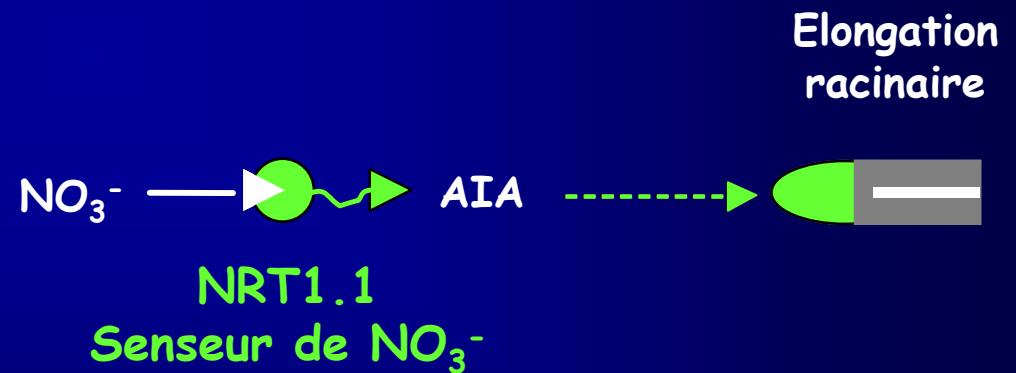
Relation avec signalisations hormonales

Un nouveau cadre conceptuel

Transporteurs cibles des
signalisations gouvernant le
prélèvement racinaire



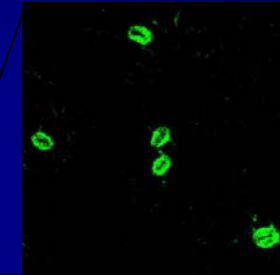
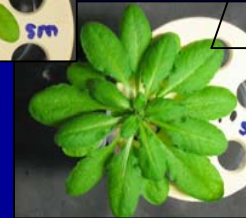
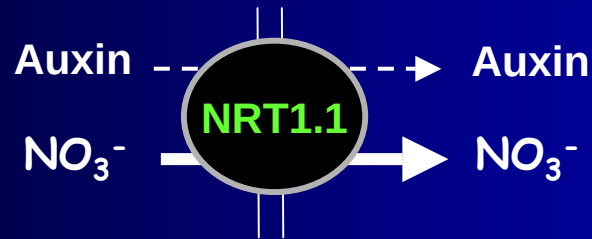
Transporteurs acteurs des
signalisations gouvernant la
croissance et le développement



Des idées qui nous agitent

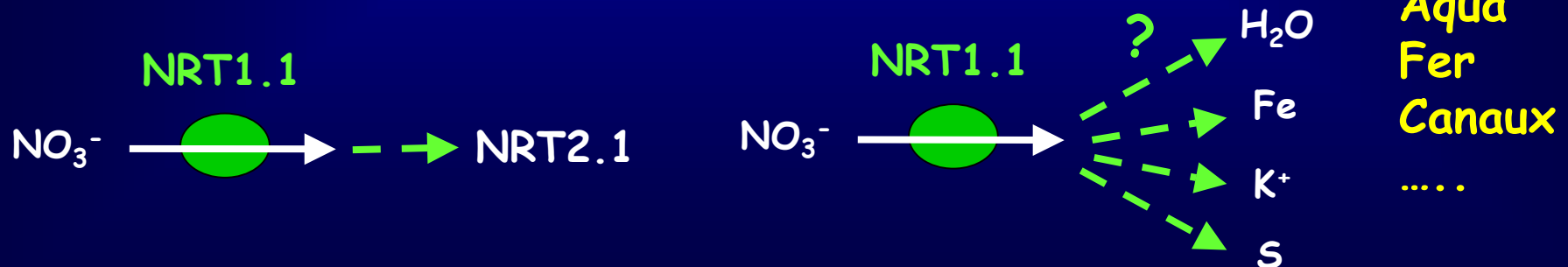
Rôle de NO_3^- dans le développement foliaire et l'activité stomatique

NRT1.1 exprimé dans les feuilles



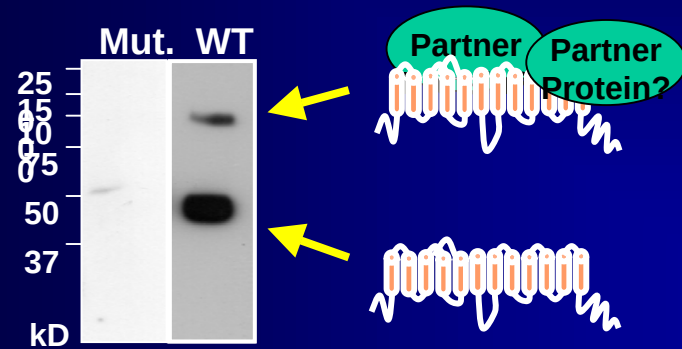
Canaux
Aqua
LEPSE

L'impact des signalisations activées par les transporteurs

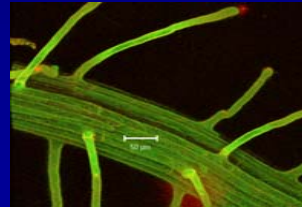


Des idées qui nous agitent

Les différents niveaux de régulation des transporteurs



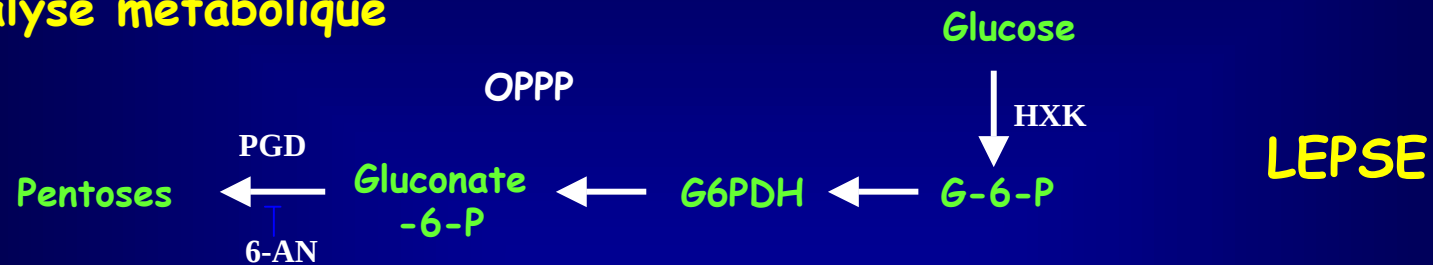
Anti-NRT2.1 antibody



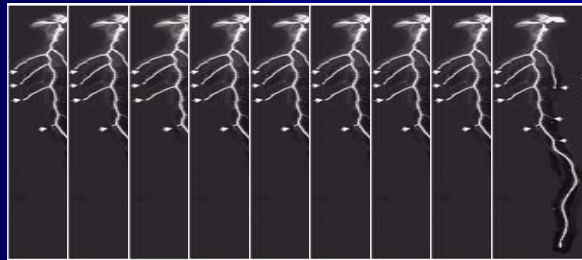
Aqua
Dynamique
LPF

Des idées qui nous agitent

L'analyse métabolique

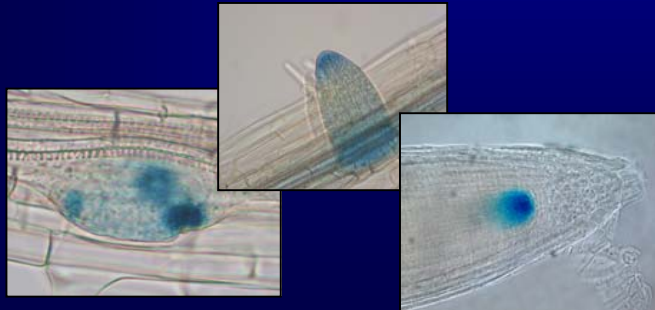


Le haut débit en développement racinaire



Metaux
LEPSE

Des tissus et des cellules



IRD/CEA