

Forum TERATEC : 28 juin 2017  
Atelier 1 : Outils numériques de simulation et de big data  
pour le suivi de production et de qualité en agriculture.

« Nouvelle approche des besoins en fertilisation basés sur l'analyse de la sève « xylémienne ».

Philippe Michonneau – Charlotte Terrey  
Pôle Agronomie, innovation, Services

---



## Forum TERATEC : 28 juin 2017

« Nouvelle approche des besoins en fertilisation basés sur l'analyse de la sève « xylémienne » ».

### 1. Le contexte : Qualité et environnement

2. Transport et valorisation de l'azote chez les céréales.

### 3. L'analyse de la sève xylémienne :

- Pour caractériser les variétés
- Pour piloter la fertilisation azotée des céréales
- Pour gérer les apports d'oligo-éléments

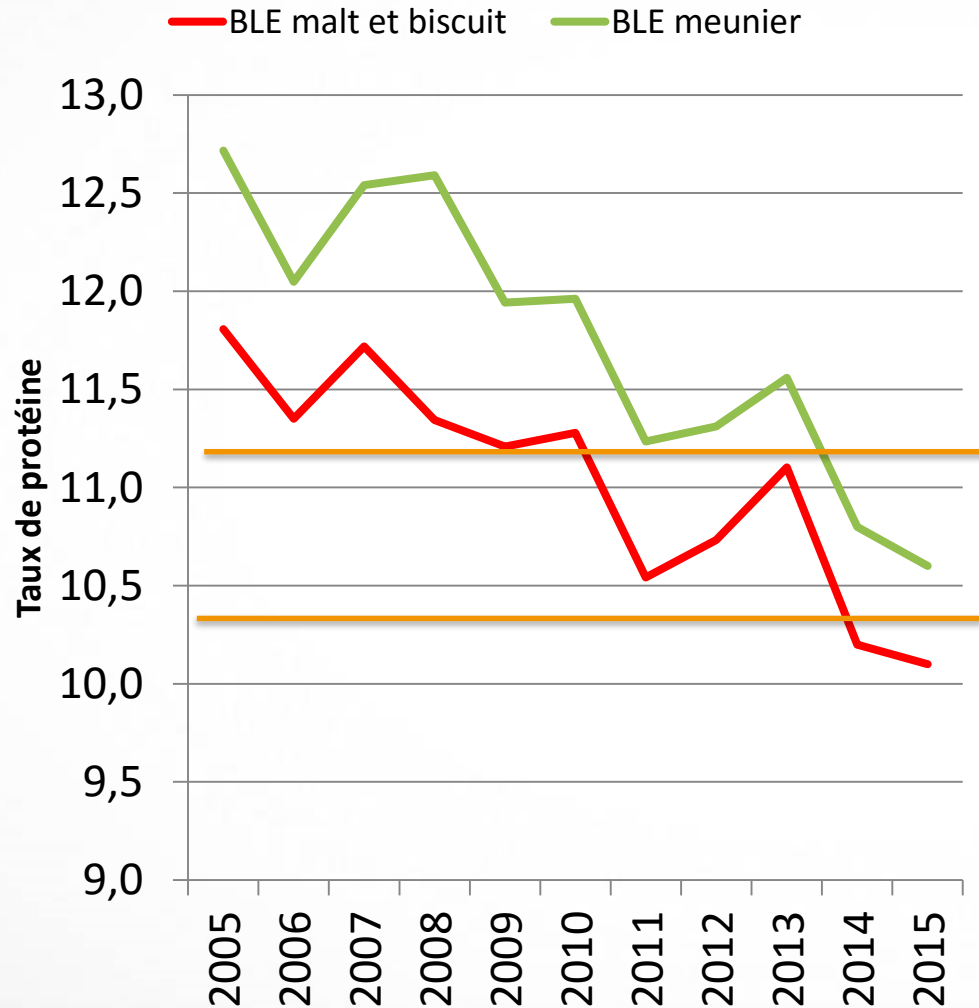
### 4. L'application terrain

### 5. Les perspectives



# BLÉ TENDRE D'HIVER

## EVOLUTION DU TAUX DE PROTÉINE À LA SCARA



**Moyenne taux de protéine et rendement**  
(Source Atland) :

**R 2013** : 11,5 % - 8,5 T/ha

**R 2014** : 10,8 % (- 0,7 pts) - 9,82 T/ha

**R 2015** : 10,6 % (-0,2 pts) – 10,4 T/ha  
*R 2015 différence de -0,9 pts avec R 2013*

**R 2016** : 13,8% - 5,36 T/ha  
*Protéine de mauvaise qualité pour la panification.*

# FERTILISATION AZOTÉE ET AGRICULTURE DURABLE

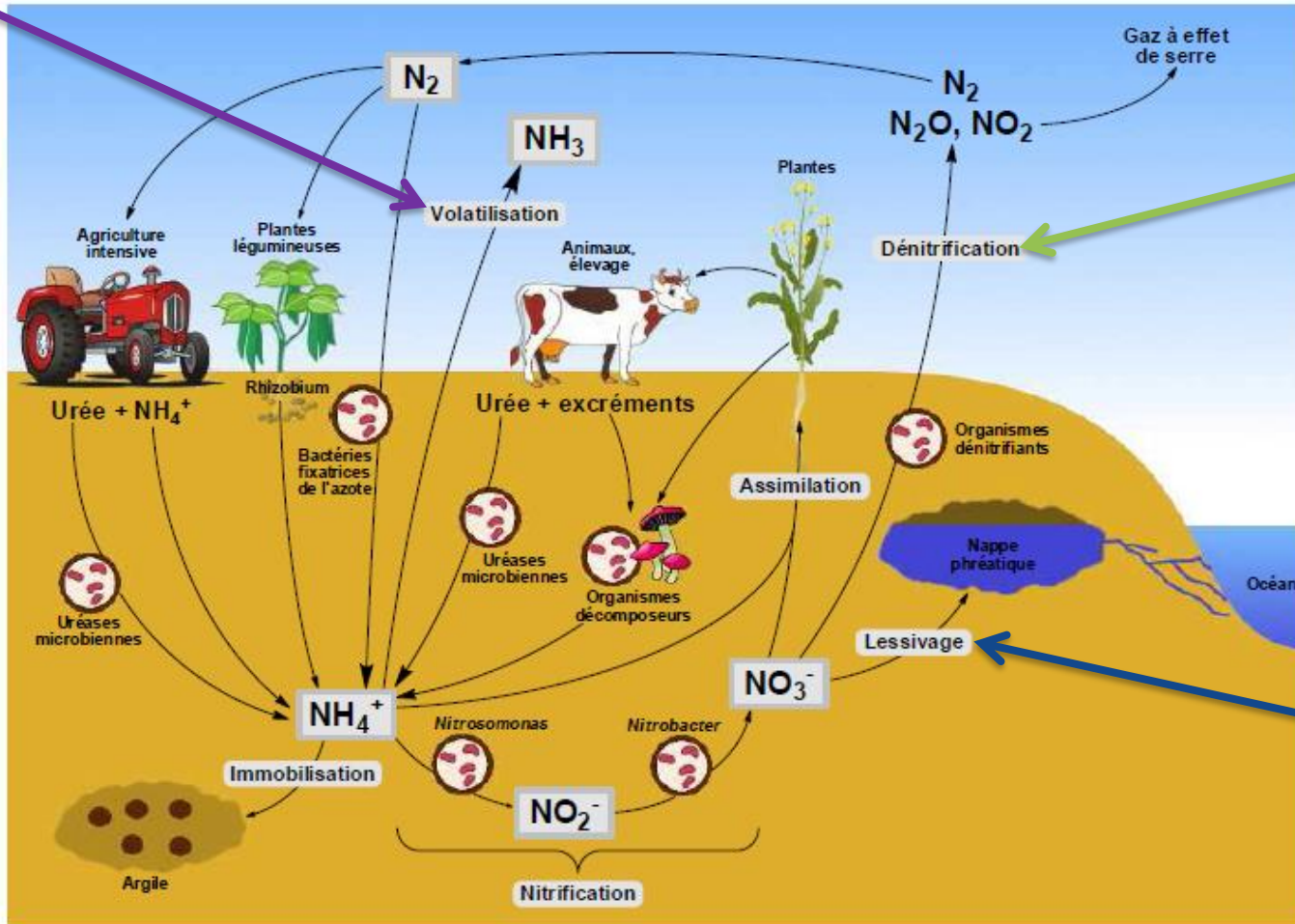
## MAITRISER LES APPORTS D'AZOTE = QUALITÉ DES RÉCOLTES

*Protection de la santé  
Limiter les pertes économiques*

**MAIS AUSSI :**

*Atténuation  
Changement  
climatique*

*Préservation des  
ressources en eau*



## Forum TERATEC : 28 juin 2017

### « Nouvelle approche des besoins en fertilisation basés sur l'analyse de la sève « xylémienne » ».

1. **Le contexte** : Qualité et environnement

2. **Transport et valorisation de l'azote chez les céréales.**

3. **L'analyse de la sève xylémienne :**

- Pour caractériser les variétés
- Pour piloter la fertilisation azotée des céréales
- Pour gérer les apports d'oligo-éléments

4. **L'application terrain**

5. **Les perspectives**





# AMÉLIORER L'EFFICACITÉ DE NOS PRATIQUES EN TERME DE FERTILISATION AZOTÉE

## L'efficacité d'utilisation de l'azote :

Entrée d'azote (azote du sol + fertilisation organique + fertilisation minérale)

-

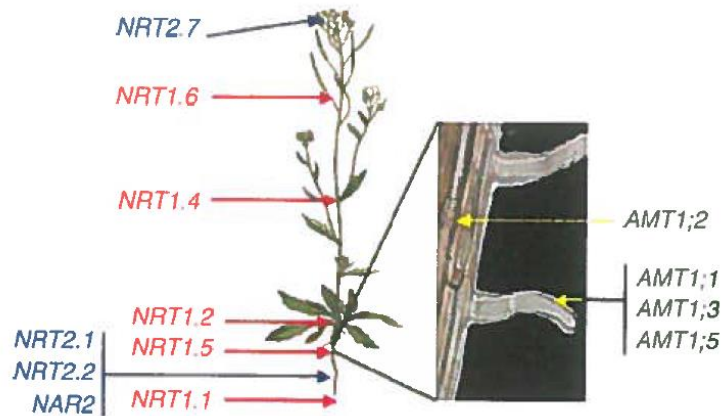
Sortie d'azote (rendement, teneur en protéine du grain, azote contenue dans les pailles)

## L'efficacité d'utilisation de l'azote dépend :

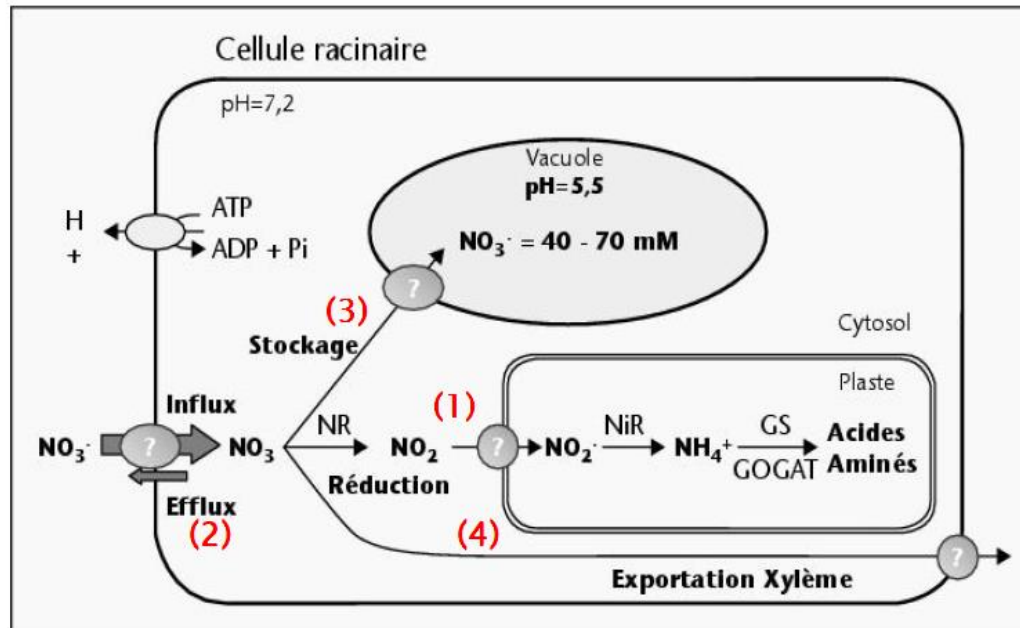
- 1/ de l'absorption de l'azote par le système racinaire
- 2/ Du transport de l'azote dans la plante
- 3/ De la métabolisation de l'azote en protéine
- 4/ Du stockage des protéines et des nitrates dans les feuilles
- 5/ De la remobilisation des réserves (protéine et nitrate) des feuilles vers le grain

Dépendant des conditions pédo-climatiques, pressions sanitaires, variétés...

# LE TRANSPORT ET LE STOCKAGE DES NITRATES DANS LES CELLULES RACINAIRES



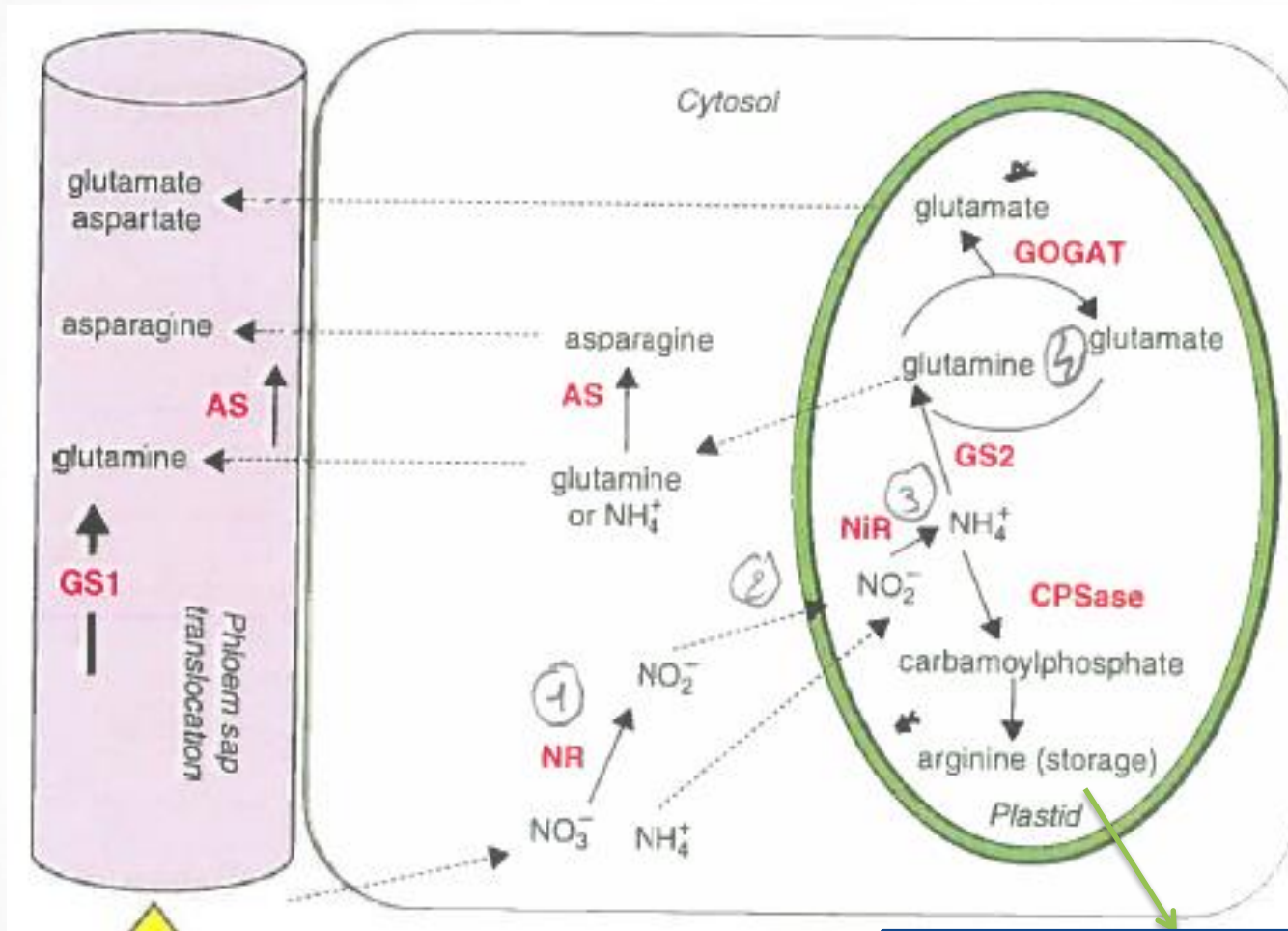
Masclaux-Daubresse *et al.*, 2009 – Nitrogen uptake, assimilation and remobilization in plants : challenges for sustainable and productive agriculture. *Annals of Botany*, **1093** : 1 – 17.



NR : nitrate réductase ; NiR : nitrite réductase ; GS : glutamine synthase ; GOGAT : glutamine 2-oxoglutarate amino transférase

## ASSIMILATION ET STOCKAGE DE L'AZOTE DANS LES JEUNES FEUILLES

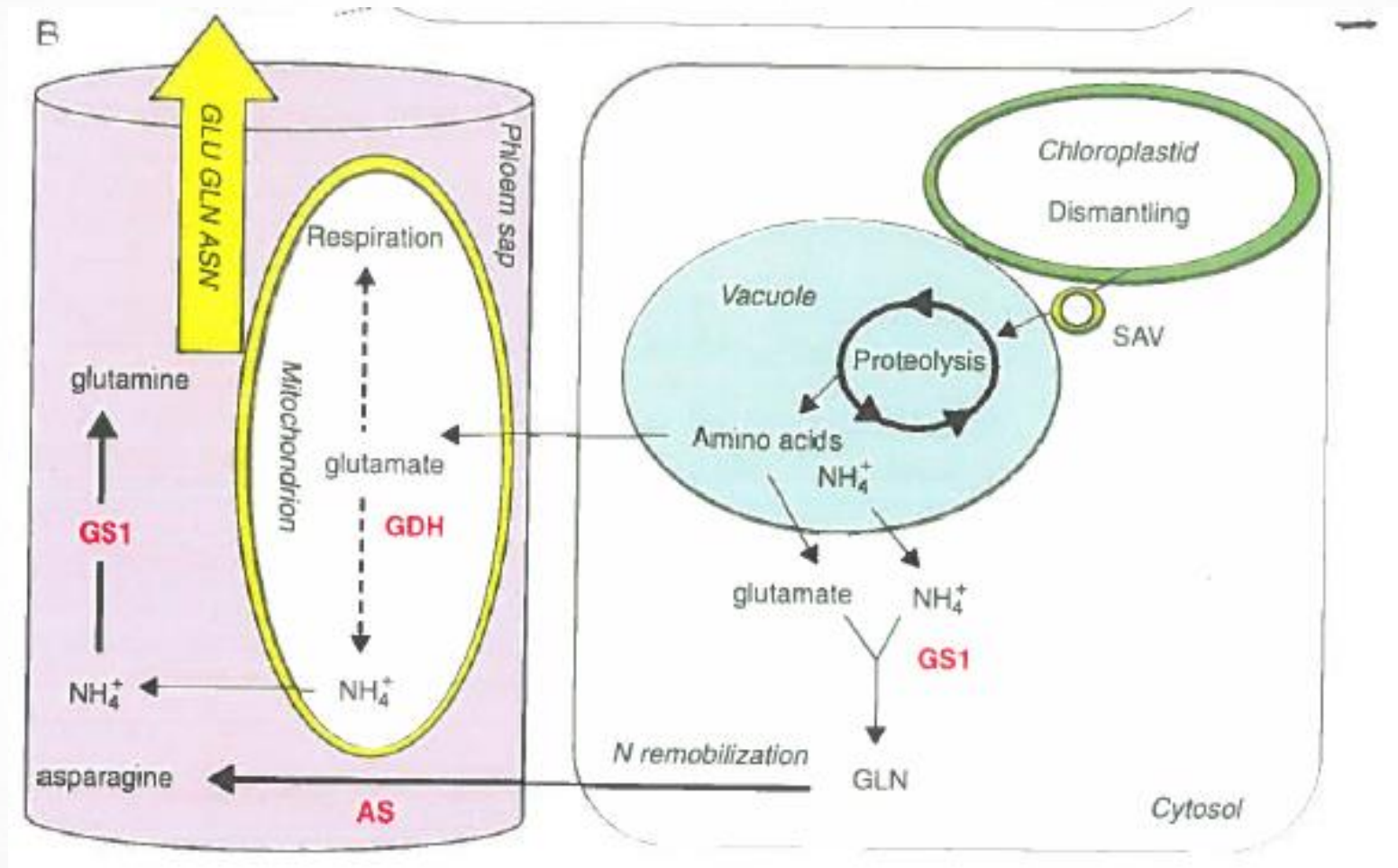
NR : nitrate réductase ; AS : asparagine synthétase ; NiR : nitrite réductase ; GS2 : glutamine synthétase isoenzyme 2 ; GOGAT : glutamate Oxoglutarate amino transférase ; CPSase : carbamoylphosphate synthétase ; GS1 : glutamine synthétase isoenzyme 1.



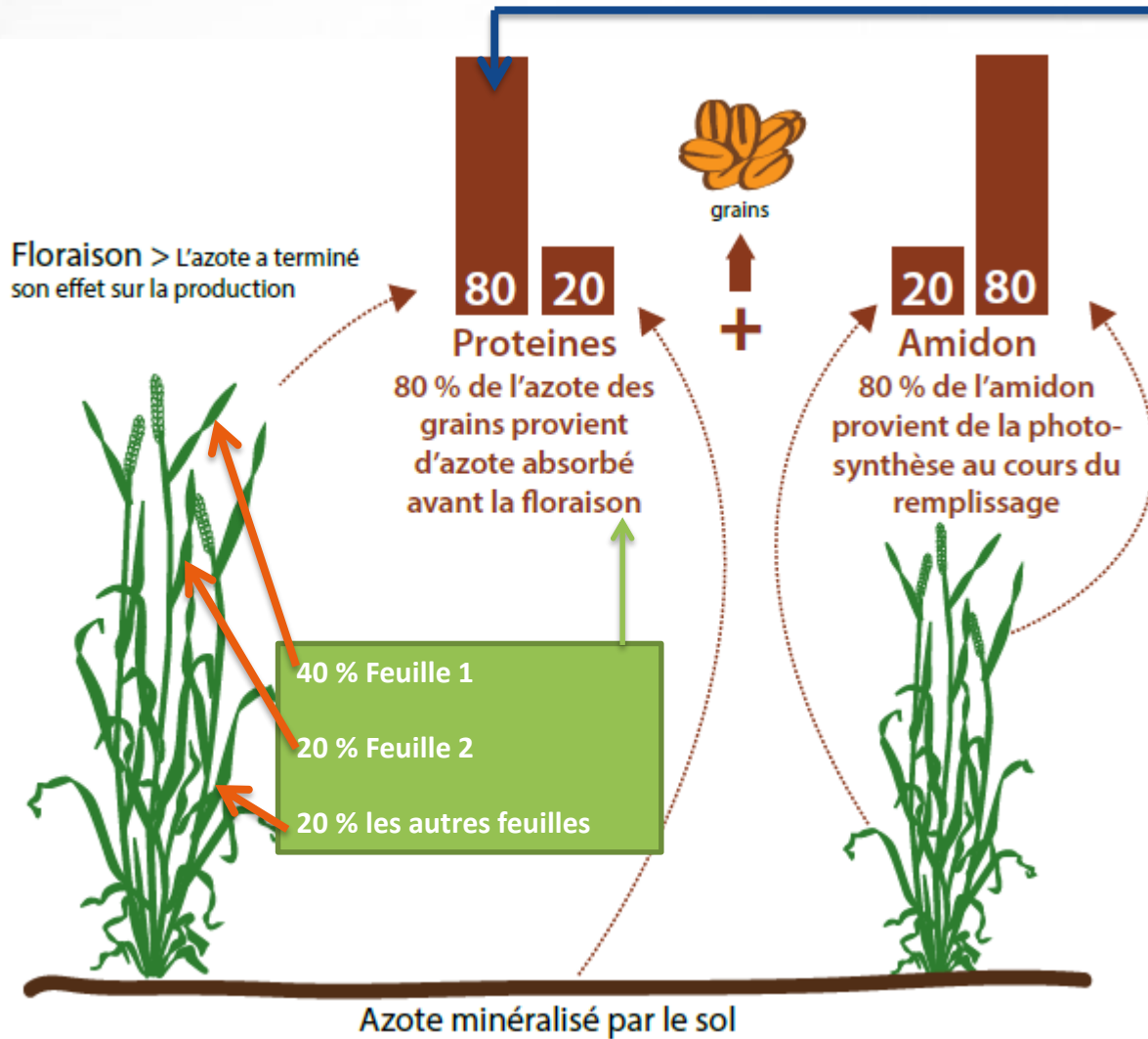


## REMOBILISATION DE L'AZOTE A PARTIR DES FEUILLES EN SÉNESCENCE VERS LE GRAIN

AS : asparagine synthétase ; GS1 : glutamine synthétase isoenzyme 1 ; GDH : glutamate dehydrogenase ; SAV : senescence-associated vacuole ; GLN : glutamine.



# REMOBILISATION DE L'AZOTE A PARTIR DES FEUILLES EN SÉNESCENCE VERS LE GRAIN



## Objectifs :

- Travailler au cours du cycle végétatif pour favoriser la mise en réserve des protéines
- Utiliser pour le premier apport des formes d'azote facilement assimilables ( $\text{NO}_3^-$  et  $\text{NH}_4^+$ : ammonitrate).
- Fractionner le second apport d'azote en solution azotée.
- Piloter le dernier apport d'azote par l'analyse de la sève xylémienne pour maîtriser le taux de protéine. Anticiper le troisième apport au stade 2 Nœuds (privilégier l'ammonitrate)

## Forum TERATEC : 28 juin 2017

### « Nouvelle approche des besoins en fertilisation basés sur l'analyse de la sève « xylémienne » ».

1. **Le contexte** : Qualité et environnement

2. **Transport et valorisation de l'azote chez les céréales.**

3. **L'analyse de la sève xylémienne :**

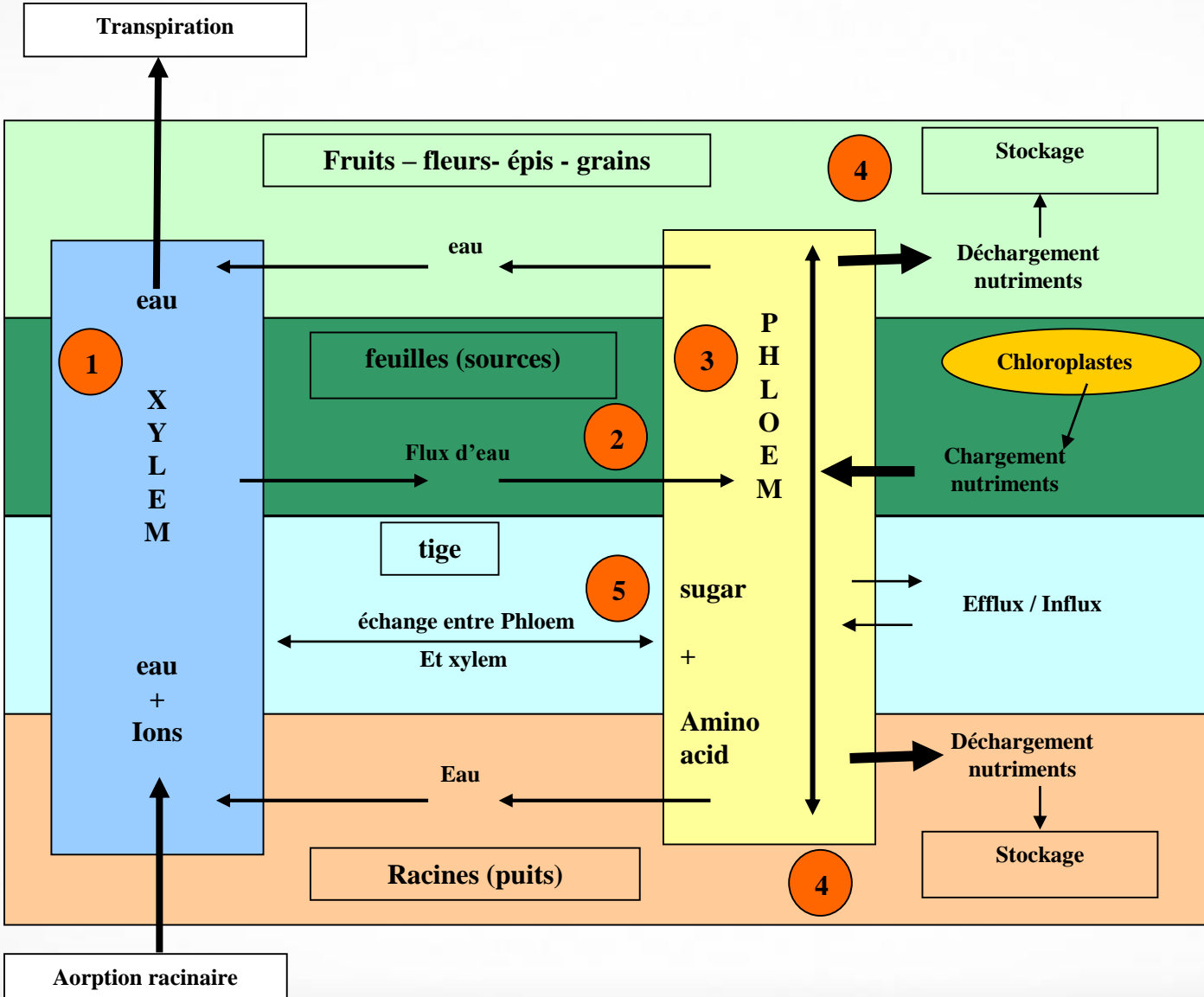
- Pour caractériser les variétés
- Pour piloter la fertilisation azotée des céréales
- Pour gérer les apports d'oligo-éléments

4. **L'application terrain**

5. **Les perspectives**

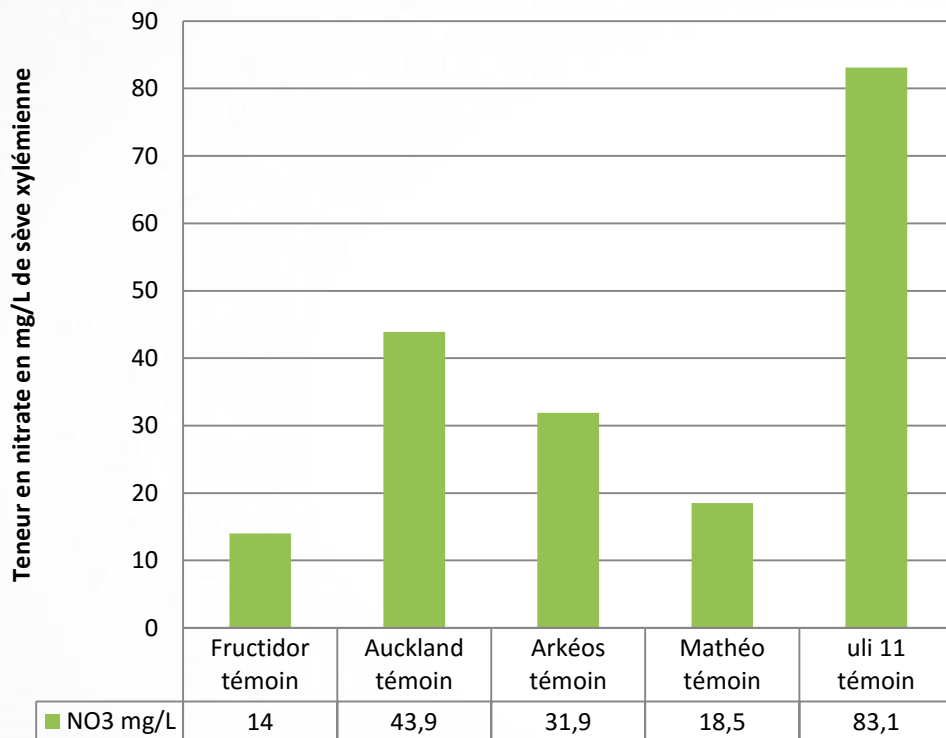


# LES FLUX DE SÈVE DANS LA PLANTE

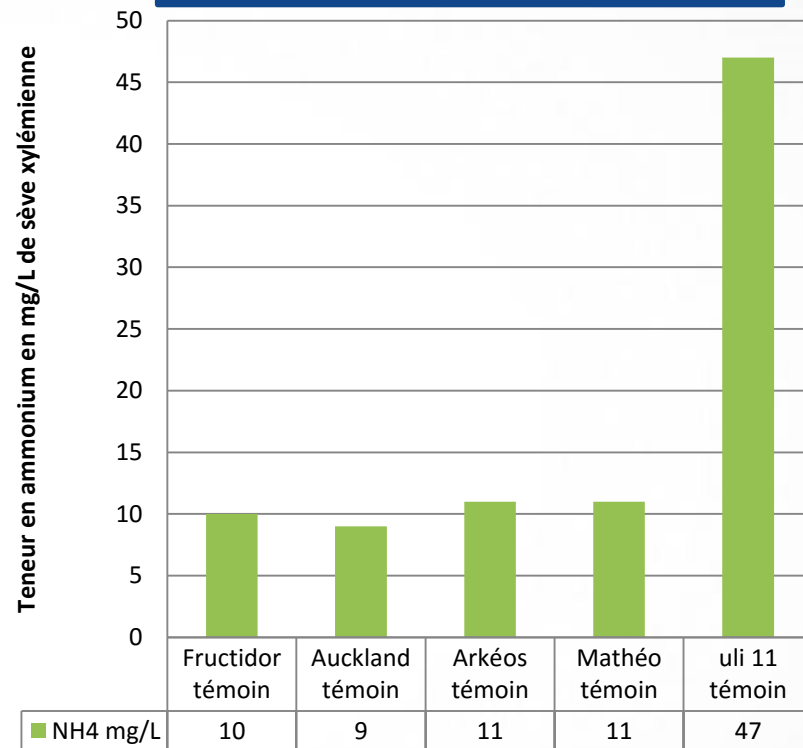


## L'ANALYSE DE LA SÈVE XYLÉMIENNE : UN OUTIL DE CARACTÉRISATION DES VARIÉTÉS

**Capacité d'absorption des nitrates**  
Parcelle non fertilisée (1<sup>er</sup> nœud)  
Essais 2017 - Aubeterre



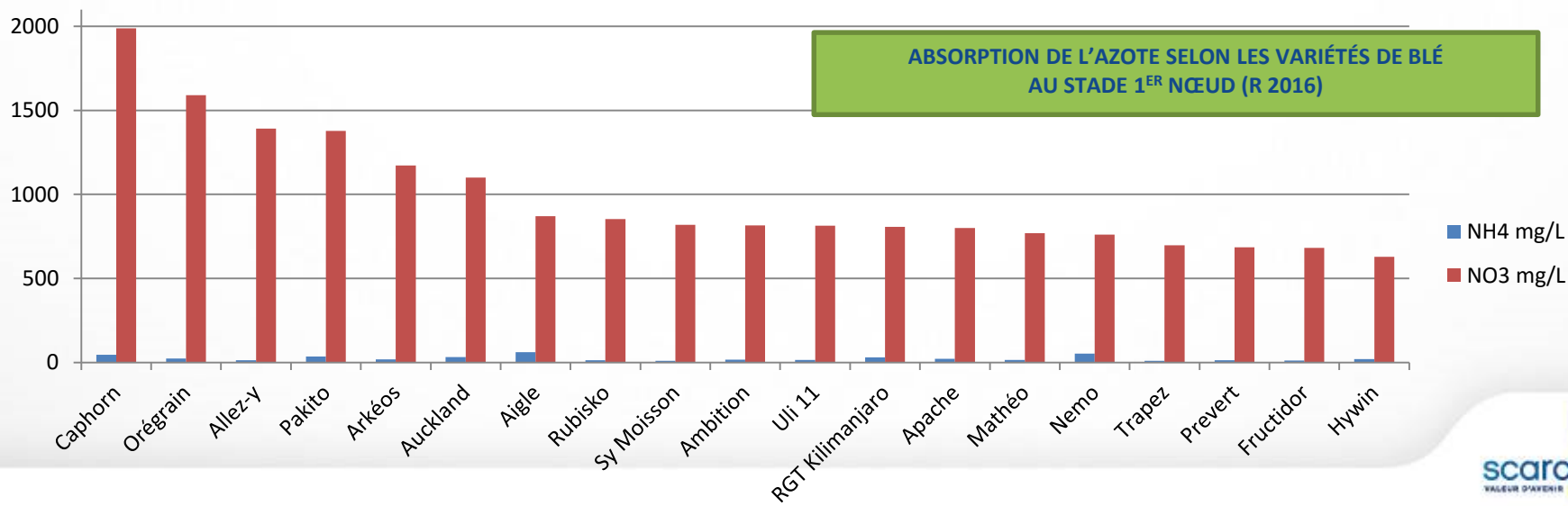
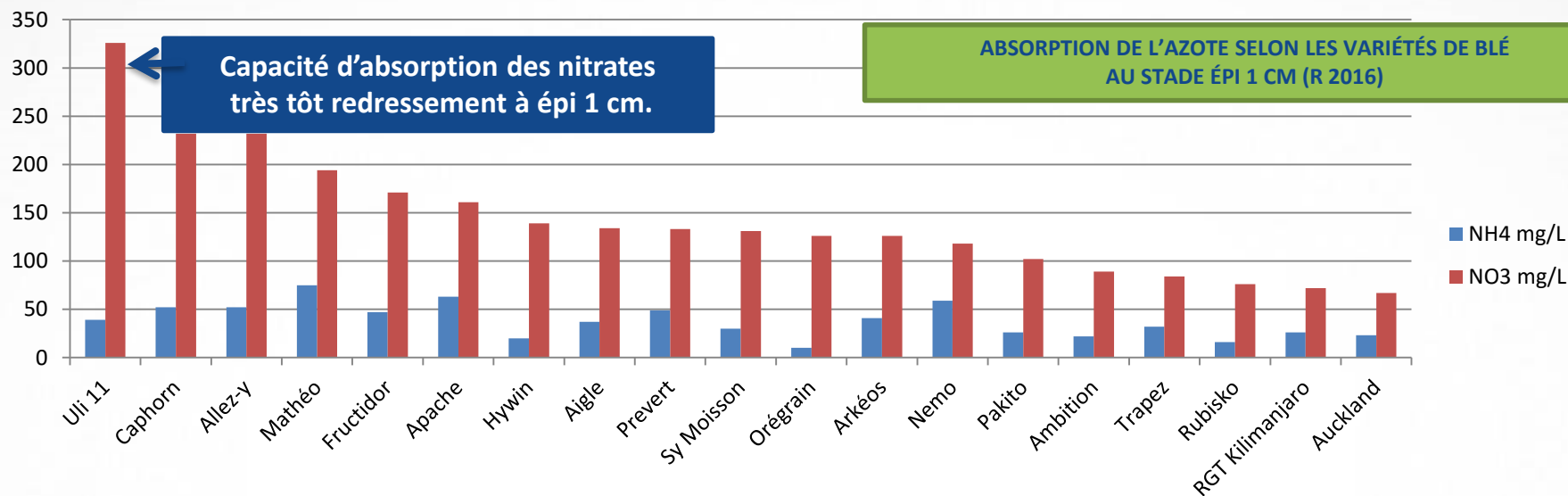
**Capacité d'absorption de l'ammonium**  
Parcelle non fertilisée (1<sup>er</sup> nœud)  
Essais 2017 - aubeterre



Horizon	Densité	Humidité	NH4+ (kg/ha)	NO3- (Kg/ha)	Azote minéral (kg/ha)
0 - 30 cm	1,20	21 %	3,10	26,00	29,10
30 - 60 cm	1,40	18 %	6,10	10,30	16,40
60 - 90 cm	1,50	14 %	0,30	17,00	17,30
<b>Total</b>	-	-	<b>9,50 kg/ha</b>	<b>53,30 Kg/ha</b>	<b>62,80 kg/ha</b>



## L'ANALYSE DE LA SÈVE XYLÉMIENNE : UN OUTIL DE CARACTÉRISATION DES VARIÉTÉS



## L'ANALYSE DE LA SÈVE XYLÉMIENNE : UN OUTIL DE CARACTÉRISATION DES VARIÉTÉS « DÉTERMINATION DU BESOIN UNITAIRE EN AZOTE (B).

Actualisation des « b » = introduction de la notion de « bq »

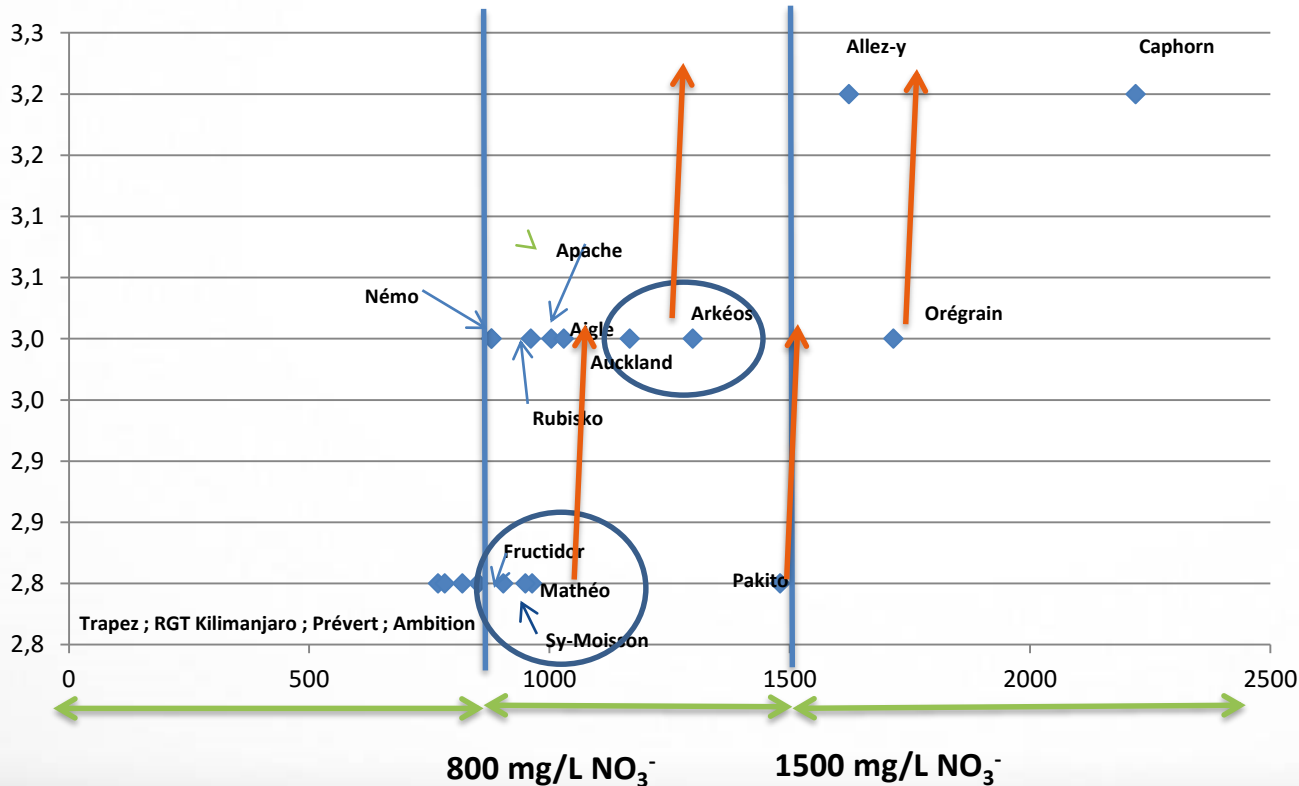
$$\mathbf{bq = b + bc}$$

**q**, comme **q**ualité (besoin en azote par unité de RDT pour atteindre le double objectif RDT et protéines)

**b**, comme **b**esoin en azote pour atteindre le RDT optimal

**c**, comme **c**omplément en azote pour un objectif de teneur en protéines de 11,5%

### Coeff **b + bc** (Kg N/q)



Les résultats obtenus par l'analyse de sève sont en cohérence avec la notion de « bqualité ».

Trois classe :

**bq = 3,2** : plus de 1200 mg/L de Nitrate véhiculé.

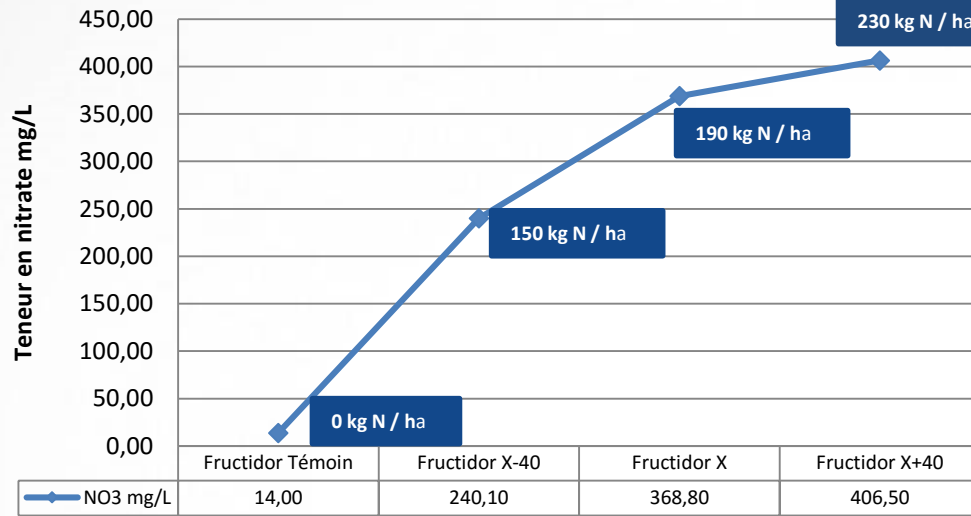
**bq = 3,0** : 1000 à 1200 mg/L de nitrate véhiculé.

**bq = 2,8** : moins de 1000 mg/L de nitrate véhiculé.

# CARACTÉRISATION VARIÉTALE ET PILOTAGE DE LA FERTILISATION AZOTÉE DES BLÉS

## ABSORPTION DES NITRATES SELON LA DOSE D'AZOTE - STADE 1<sup>ER</sup> NŒUD (R 2017)

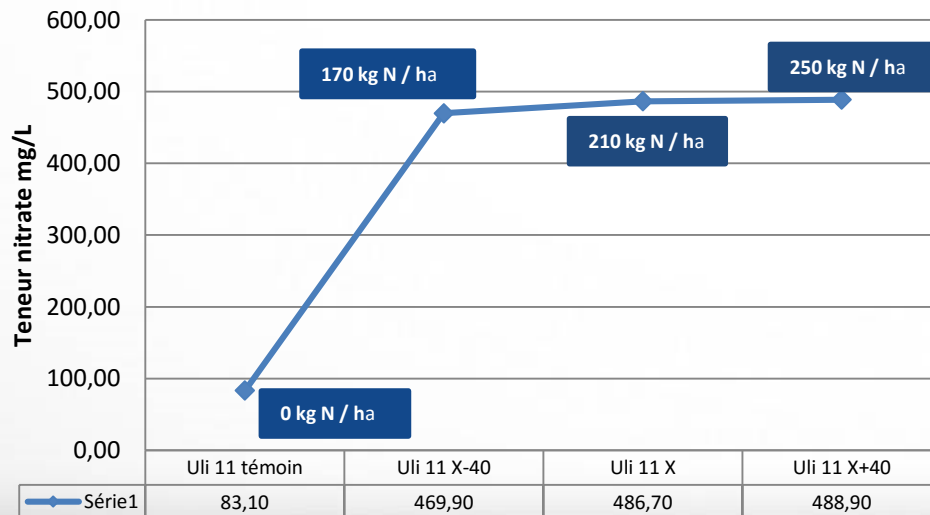
Fructidor (VRM)



Dose X = 230 kg N/ha

	23-24 février	22-mars	27-avr.	Dose totale		Note Couleur 28/04 (1)
	tallage	épi 1 cm	2 Nœuds			
1	TEMOIN					1
2	40 uN S39	130 uN S39	60 uN S39	230	X	8,5
3	60 uN S39	90 uN S39	40 uN S39	190	X-40	8,1
4	60 uN S39	130 uN S39	40 uN S39	230	X	8,5
5	60 uN S39	170 uN S39	40 uN S39	270	X+40	8,9
6	60 uN Ammo	130 uN S39	40 uN S39	230	X	8,5

Uli 11 Améliorant



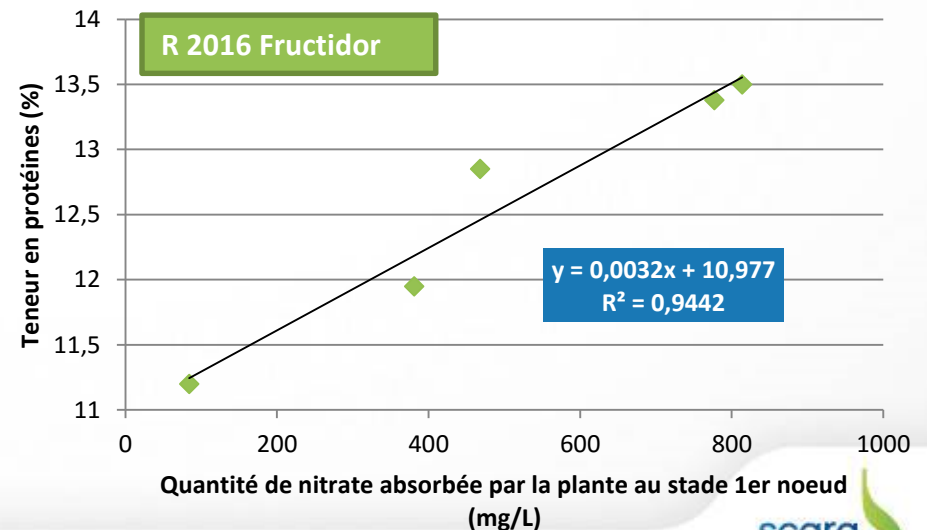
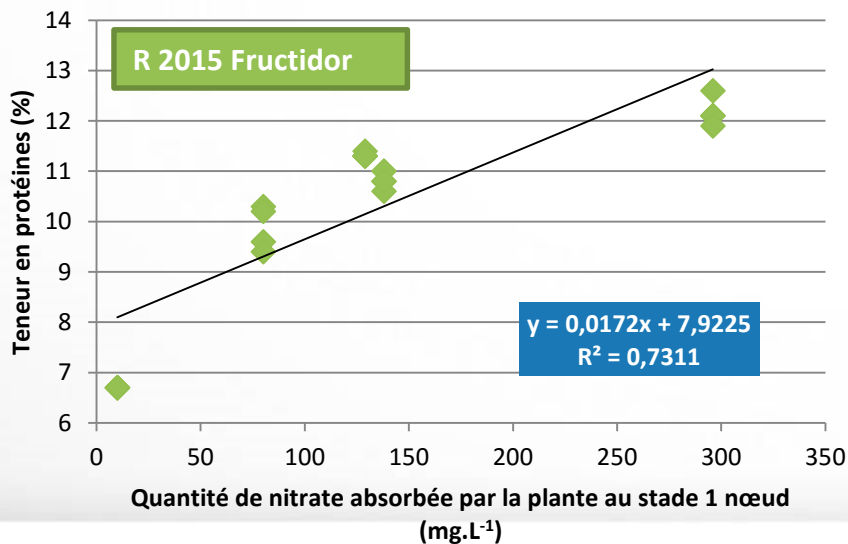
Dose X = 250 kg N/ha

	23-24 février	23-mars	27-avr.	dose totale	
	tallage	épi 1 cm	2 Nœuds		
1	TEMOIN				
2	40 uN S39	150 uN S39	60 uN S39	250	X
3	60 uN S39	110 uN S39	40 uN S39	210	X-40
4	60 uN S39	150 uN S39	40 uN S39	250	X
5	60 uN S39	190 uN S39	40 uN S39	290	X+40
6	60 uN Ammo	150 uN S39	40 uN S39	250	X

# CARACTÉRISATION VARIÉTALE ET PILOTAGE DE LA FERTILISATION AZOTÉE DES BLÉS

## COURBE DE RÉPONSE À L'AZOTE **FRUCTIDOR** - ANALYSE DE SÈVE – 1 NœUD

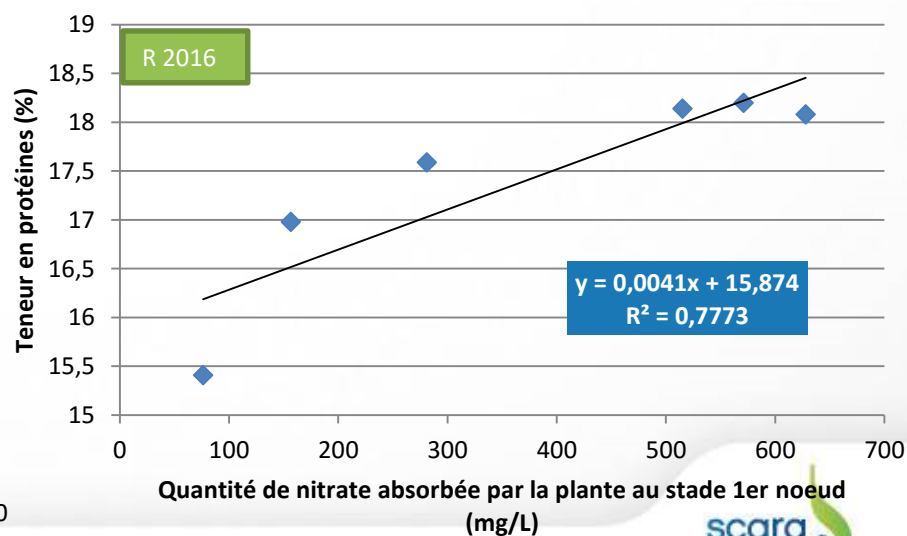
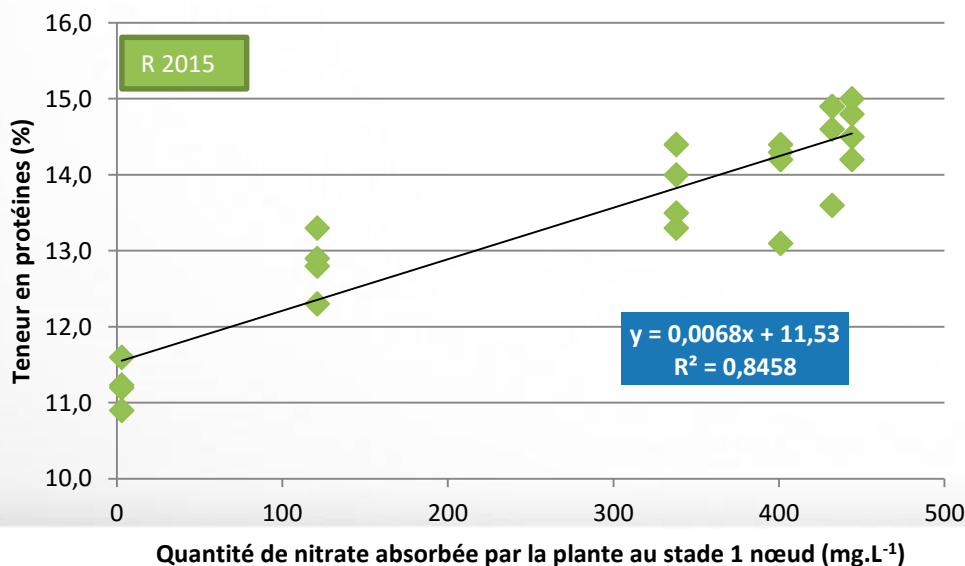
Fructidor	R 2015		R 2016		R 2017	
Modalité	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>
Témoin	15	45	84	32	14	10
X-80	271	23	381	27	-	-
X-40	415	10	468	30	240	9
X 210 kg N/ha	726	11	777	33	368	10
X+40	798	10	814	99	406	12



# CARACTÉRISATION VARIÉTALE ET PILOTAGE DE LA FERTILISATION AZOTÉE DES BLÉS

## COURBE DE RÉPONSE À L'AZOTE ULI11 - ANALYSE DE SÈVE – 1 NŒUD

Modalités	Kg N / ha	R 2015		R 2016		R 2017	
		NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>
Témoin	0	3	15	76,	10	83	47
X-80	170	121	76	156	10	-	-
X-40	210	338	72	281	10	470	13
X	250	401	150	628	10	487	10
X+40	290	432	67	571	10	489	10
X+80	330	444	78	515	10	-	-

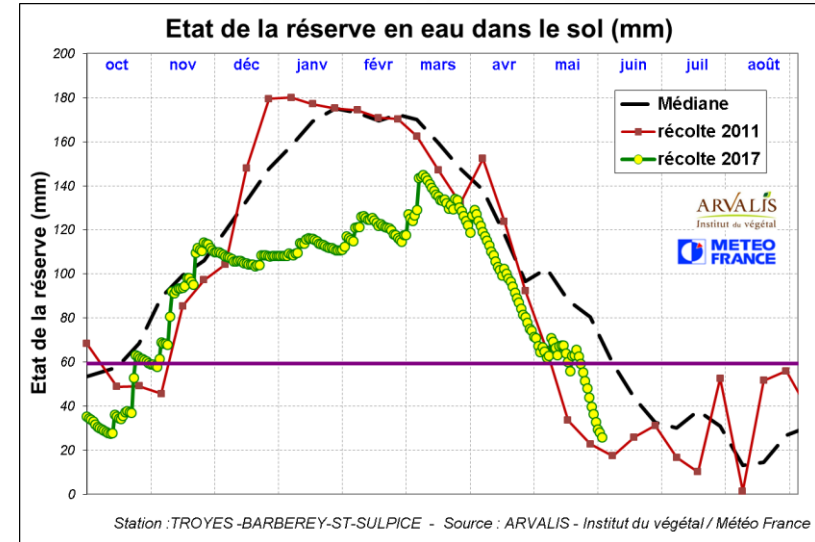
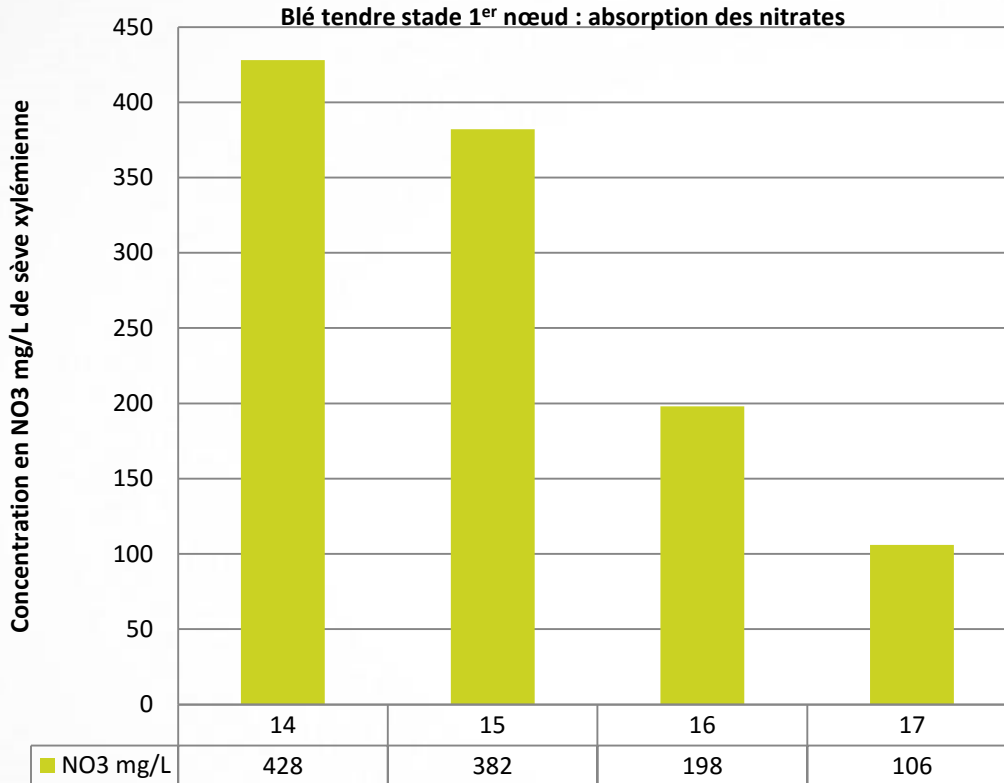




# ANALYSE DE SÈVE ET PILOTAGE DE LA FERTILISATION AZOTÉ

## PRISE EN COMPTE DES CONDITION HYDRIQUE DU SOL

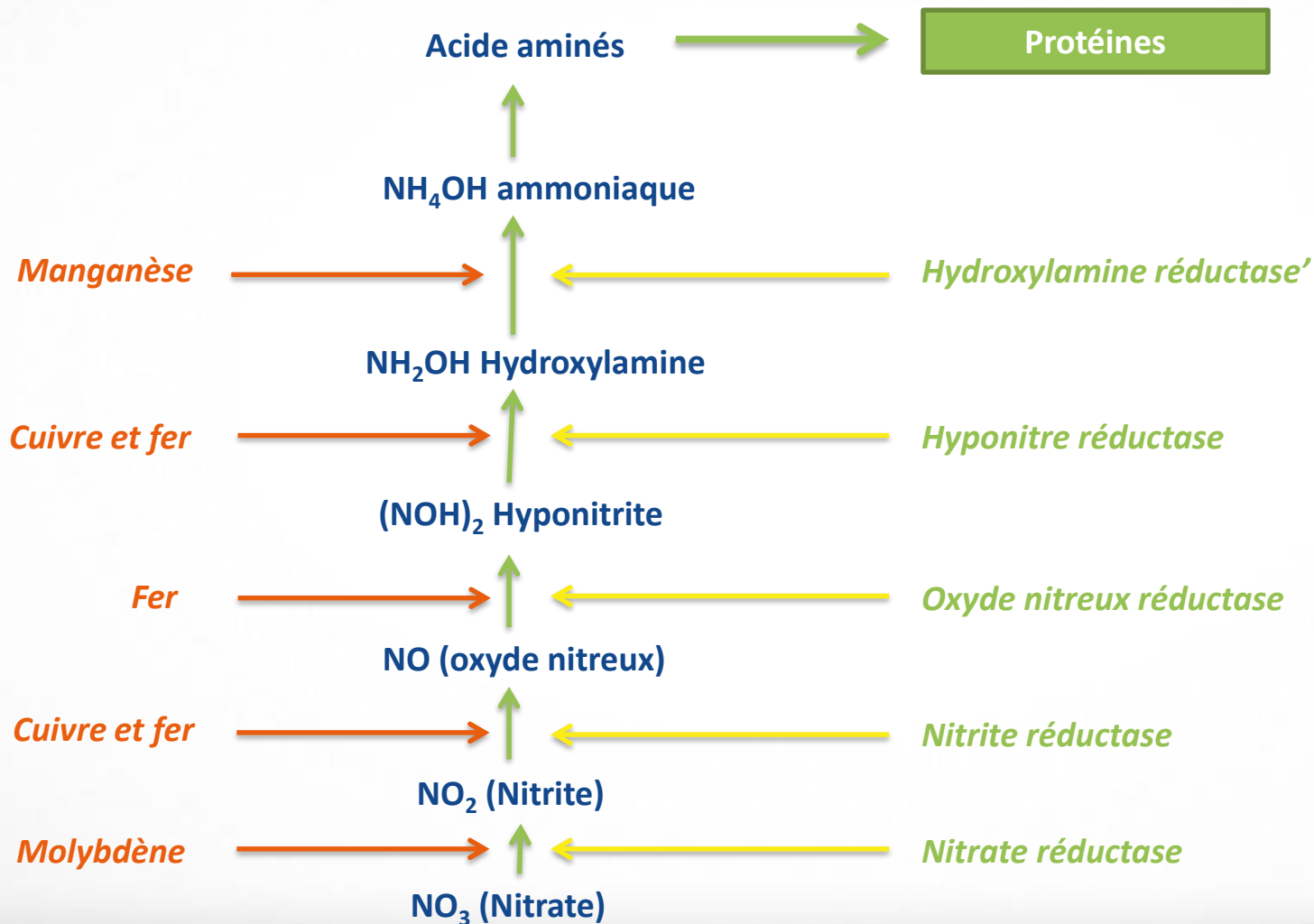
Blé tendre stade 1<sup>er</sup> nœud : absorption des nitrates



(798 hectares soit 88 parcelles)

# L'ANALYSE DE SÈVE POUR GÉRER LES OLIGO-ÉLÉMENTS BIOSYNTHÈSE DES PROTÉINES CHEZ LES VÉGÉTAUX

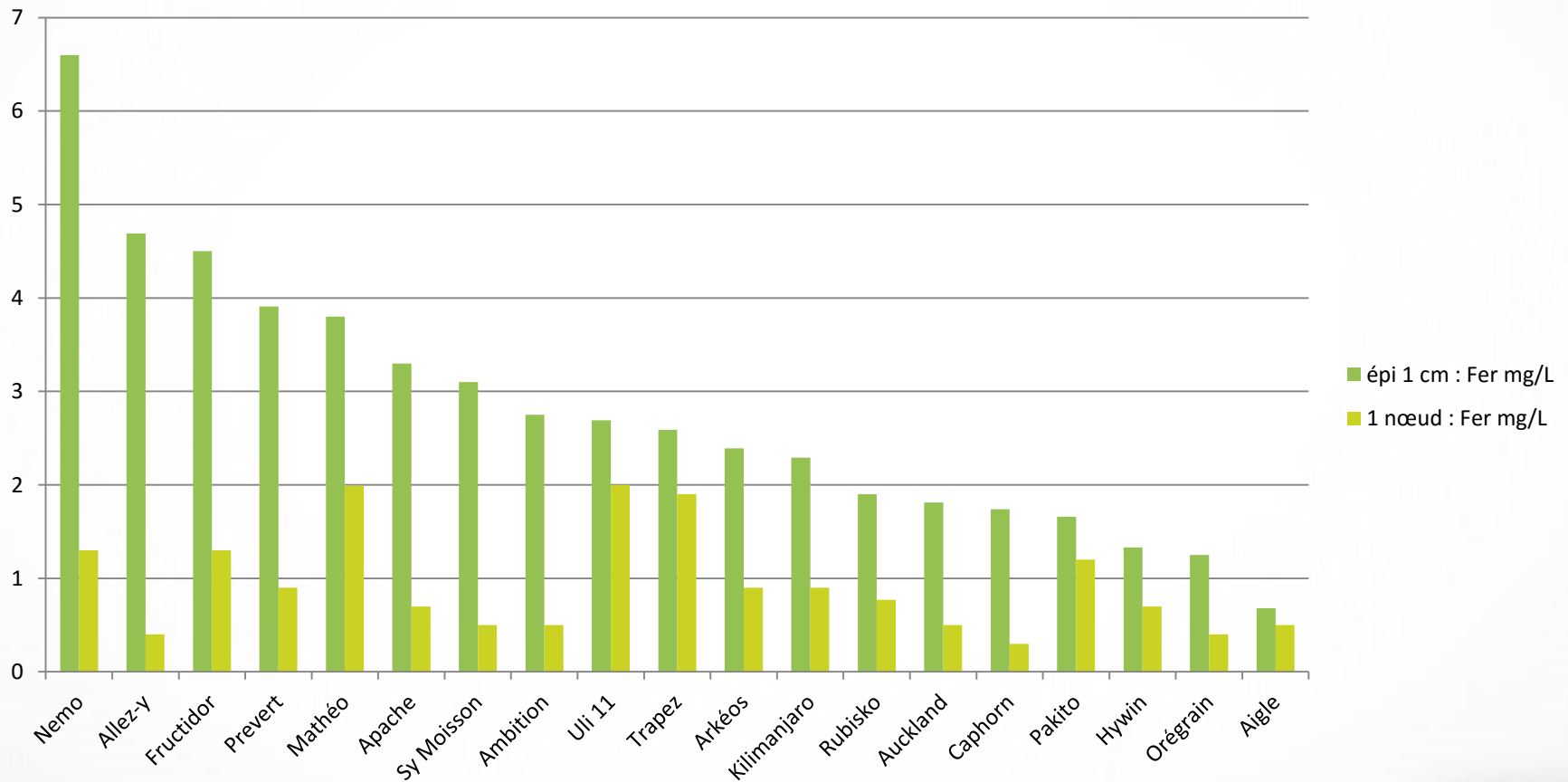
Rôle des enzymes et des métaux catalyseurs, ou co-enzymes  
dans la chaîne de biosynthèse, des protéines à partir des nitrates



# L'ANALYSE DE SÈVE POUR GÉRER LES OLIGO-ÉLÉMENTS BIOSYNTÈSE DES PROTÉINES CHEZ LES VÉGÉTAUX

ABSORPTION DU FER PAR LE BLÉ D'HIVER (HERBISSE 2016 : ESSAIS VARIÉTÉS)

LE FER EST MAJORITAIREMENT ABSORBÉ AU STADE ÉPI 1 CM



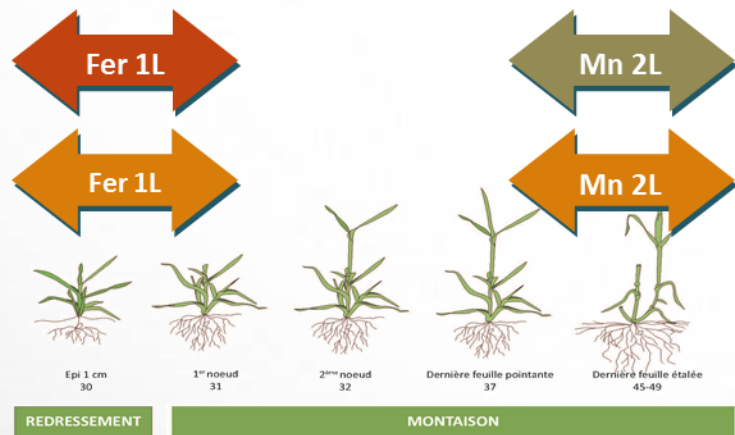
# L'ANALYSE DE SÈVE POUR GÉRER LES OLIGO-ÉLÉMENTS BIOSYNTHÈSE DES PROTÉINES CHEZ LES VÉGÉTAUX

ESSAIS OLIGO-ÉLÉMENTS FER ET MANGANÈSE SUR BLÉ TENDRE HIVER (RAMERUPT 2015 : FRUCTIDOR)

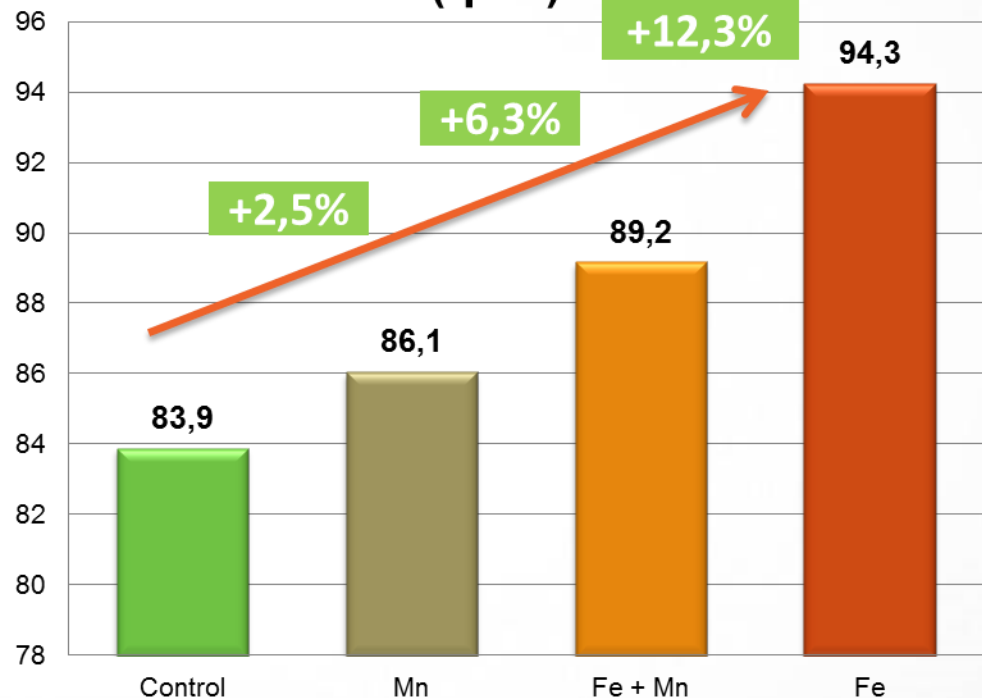
Fertilisation : N : 170 ; P : 64 ; S : 106

Conclusion:

- Premier facteur limitant Fer soulevé
- Malgré avoir séparé les traitements Fe + Mn l'antagonisme persiste



## Results of SCARA SB trial 2015 (q/ha)

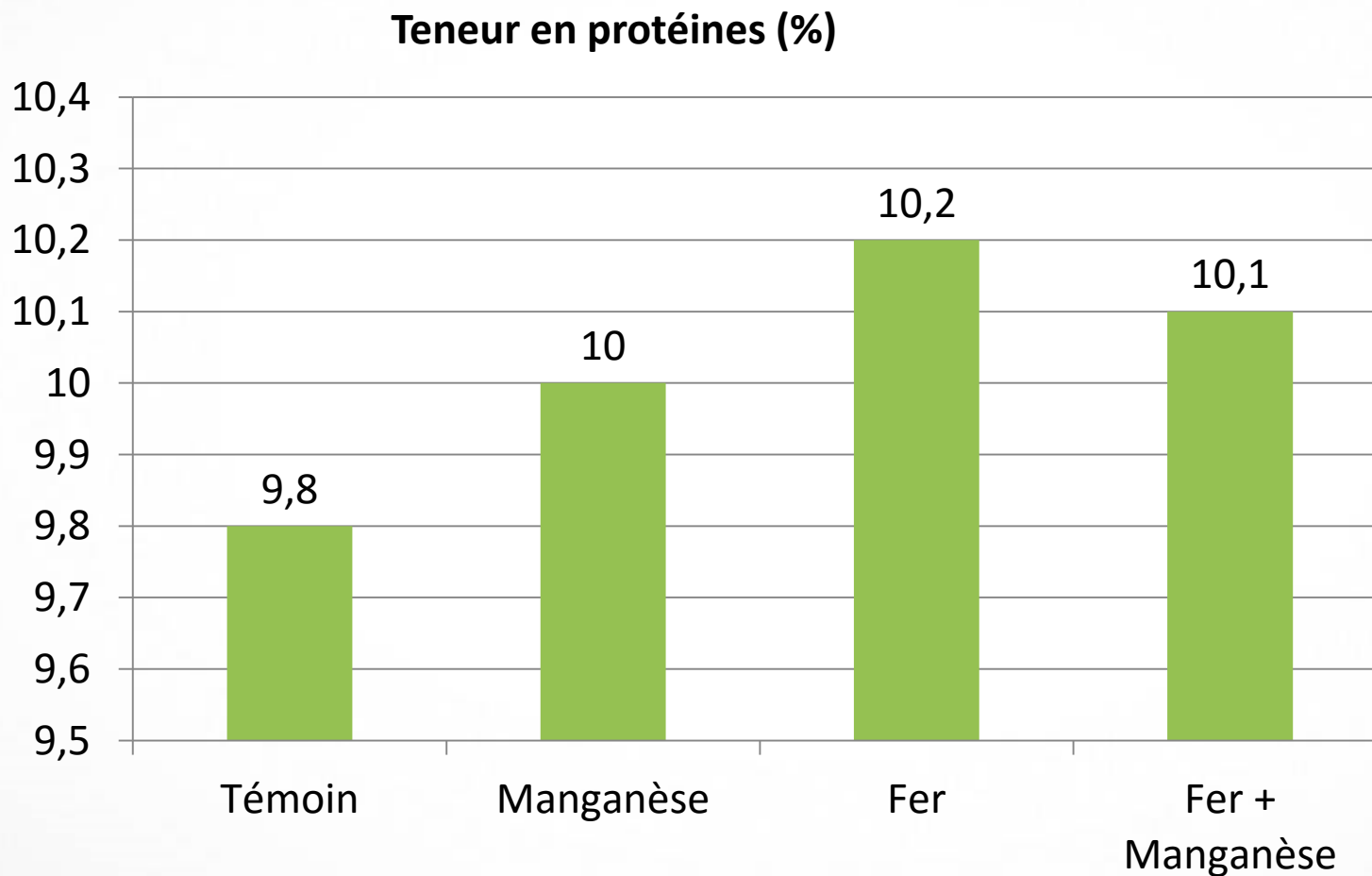


Prospectives :

Intervenir plus tôt en Fer (épi 1cm)  
Mn à DFE

# L'ANALYSE DE SÈVE POUR GÉRER LES OLIGO-ÉLÉMENTS BIOSYNTÈSE DES PROTÉINES CHEZ LES VÉGÉTAUX

INFLUENCE DU FER SUR LE TAUX DE PROTÉINE FRUCTIDOR (RAMERUPT 2015)





## Forum TERATEC : 28 juin 2017

### « Nouvelle approche des besoins en fertilisation basés sur l'analyse de la sève « xylémienne » ».

1. **Le contexte** : Qualité et environnement

2. **Transport et valorisation de l'azote chez les céréales.**

3. **L'analyse de la sève xylémienne :**

- Pour caractériser les variétés
- Pour piloter la fertilisation azotée des céréales
- Pour gérer les apports d'oligo-éléments

4. **L'application terrain**

5. **Les perspectives**



# ANALYSE DE LA SÈVE XYLÉMIENNE : EXEMPLE DE RÉSULTATS 2017

scara VALUEUR D'AVANCEMENT

GALYS laboratoire

## Analyse de la sève Xylémienne

Exploitant : \_\_\_\_\_

Parcelle : **Le Chemin de Chassois**

date prélèvement : 10/04/2017

Stade : 1 Noeud

Dose PPF : 189

Azote déjà épandue : 191

Surface	Culture	Variété	Particularité
6,27	Ble	Fruotidor	

Nombre d'exploitations	70			
	toutes cultures	escourgeon	blé	orge
nombre de parcelles	169	7	88	74
Surfaces (ha)	1767,17	65,83	798,42	902,92

		Valeur	Norme	
Statut azoté en mg/L de sève				
Nitrate	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	213,60	260 à 340	
Ammonium	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	41,60	15 à 40	

Analyse de sève permet de gérer les apports d'azote

		Valeur	Norme	
Éléments majeurs en mg/L de sève				
Phosphore	P	152,50	135 à 165	
Potassium	K	3 593,60	3300 à 3700	
Magnésium	Mg	73,10	65 à 85	
Soufre	S	211,20	115 à 140	

De contrôler l'assimilation des éléments majeurs et éventuellement de corriger par des applications foliaires en cas de carence. Une vérification est faite avec l'analyse de sol.

		Valeur	Norme	
Oligo-éléments en mg/L de sève				
Fer	Fe	10,62	0.35 à 1.45	
Manganèse	Mn	4,57	3 à 5	
Zinc	Zn	1,16	0.4 à 0.6	
Cuivre	Cu	0,62	0.15 à 0.35	

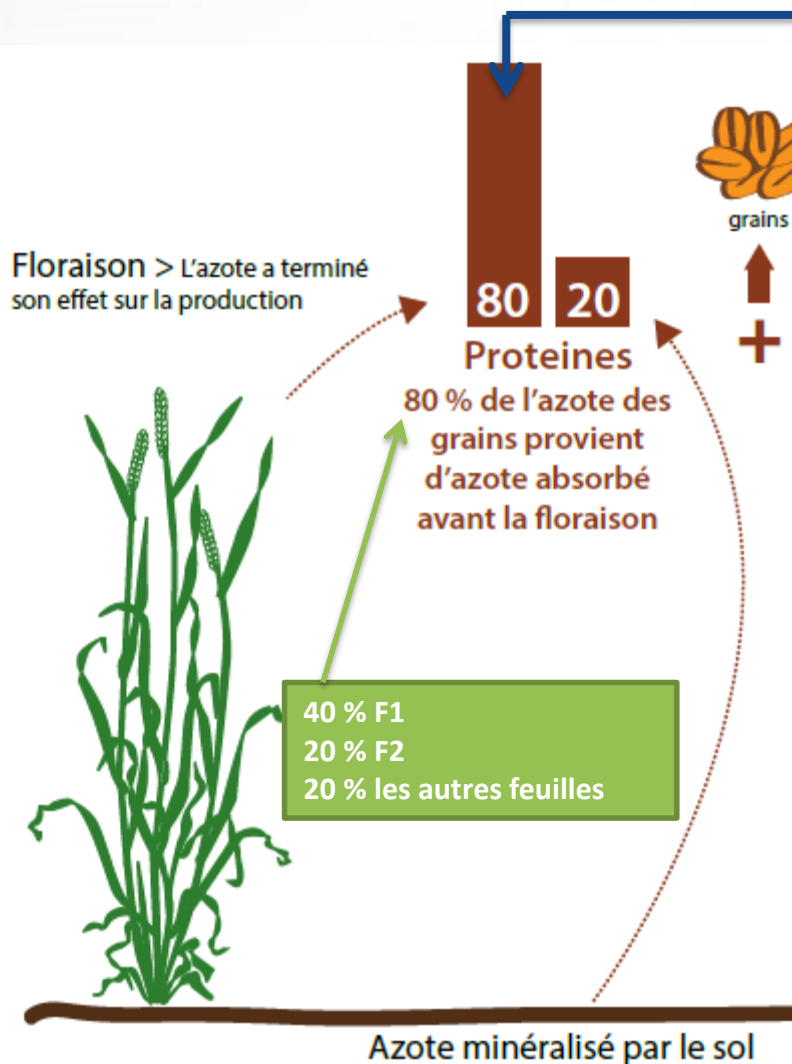
Gestion des oligo-éléments. On note ici une forte teneur en fer. Forte teneur dans l'analyse de sol (23 mg/kg de terre) + une application de 1 L/ha de fer EDTA dosé à 100 g/L.

Taux de protéines prévisionnel : 11.42 ± 0.5

### Commentaires :

Le blé panifiable est réfactionné lorsque le taux de protéines est inférieur à 11,5 %.  
 Le taux de protéines prévisionnel de votre parcelle est de 11.4 %.  
 Nous vous conseillons de faire un complément d'azote de 40 unités en Solution 39 au stade 2 noeuds à dernière feuille pointante.  
 Si possible, réalisez l'apport au plus près de la pluie.

## UN CONSEIL PRÉCIS POUR CHAQUE ÉTAPE DE LA FERTILISATION AZOTÉE



**Objectifs :** Travailler au cours du cycle végétatif pour favoriser la mise en réserve des protéines.

- Utiliser pour le premier apport des formes d'azote facilement assimilable ( $\text{NO}_3^-$  et  $\text{NH}_4^+$ ). Ammonitrate, Secostar (+S), 20/17 (N, P, Mg + S)
- Pour le second apport, en solution possibilité de fractionner en 2 fois pour répartir les doses selon les besoins.
- Anticiper le troisième apport (2 Nœuds), pour privilégier le stockage des protéines dans la dernière feuilles avant la remobilisation vers le grain.

## Forum TERATEC : 28 juin 2017

### « Nouvelle approche des besoins en fertilisation basés sur l'analyse de la sève « xylémienne » ».

1. **Le contexte** : Qualité et environnement

2. **Transport et valorisation de l'azote chez les céréales.**

3. **L'analyse de la sève xylémienne :**

- Pour caractériser les variétés
- Pour piloter la fertilisation azotée des céréales
- Pour gérer les apports d'oligo-éléments

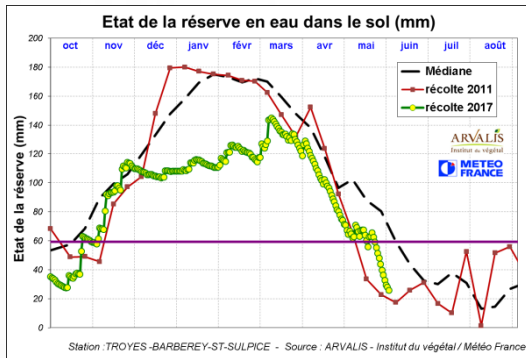
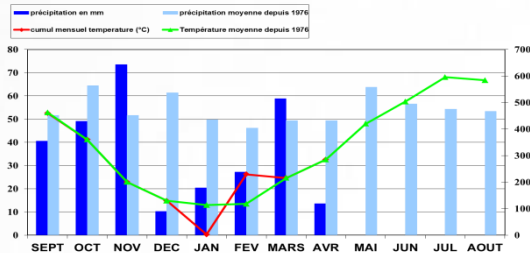
4. **L'application terrain**

5. **Les perspectives**



# POUR SUIVRE LE DÉVELOPPEMENT DE NOTRE SERVICE MUTUALISATION DES DONNÉES POUR UN SERVICE INNOVANT – COMPLET - PRÉCIS

## Données parcellaires Et pédoclimatiques



Horizon	Densité	Humidité	NH4+ (kg/ha)	NO3- (kg/ha)	Azote minéral (kg/ha)
0 - 30 cm	1,20	21 %	3,10	26,00	29,10
30 - 60 cm	1,40	18 %	6,10	10,30	16,40
60 - 90 cm	1,50	14 %	0,30	17,00	17,30
<b>Total</b>	-	-	<b>9,50 kg/ha</b>	<b>53,30 kg/ha</b>	<b>62,80 kg/ha</b>

+

## Données Physiologies Spécifiques De la variété et du stade de développement

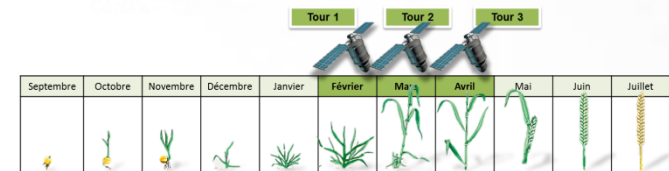
		Valeur	Norme
Statut azoté en mg/L de sève			
Nitrate	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	213,60	260 à 340
Ammonium	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	41,60	15 à 40
Éléments majeurs en mg/L de sève			
Phosphore	P	152,50	135 à 165
Potassium	K	3 593,60	3300 à 3700
Magnésium	Mg	73,10	65 à 85
Soufre	S	211,20	115 à 140
Oligo-éléments en mg/L de sève			
Fer	Fe	10,62	0,35 à 1,45
Manganèse	Mn	4,57	3 à 5
Zinc	Zn	1,16	0,4 à 0,6
Cuivre	Cu	0,62	0,15 à 0,35

Taux de protéines prévisionnel : 11,42 ± 0,8

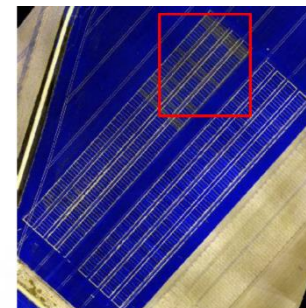
**Commentaires :**  
Le blé panifiable est réfracténon lorsque le taux de protéines est inférieur à 11,5 %.  
Le taux de protéines prévisionnel de votre parcelle est de 11,4 %.  
Nous vous conseillons de faire un complément d'azote de 40 unités en Solution 39 au stade 2 noués à dernière feuille pointante.  
Si possible, réalisez l'apport au plus près de la pluie.

+

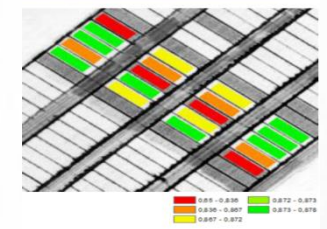
## Données imagerie satellite : Gestion de la variabilité intra parcellaire



- Carte de LAI (calibration terrain par SMAG)
- Carte d'application d'azote pour chaque tour + carte dose totale
- Carte d'anomalie de croissance
- Carte de risque de verse (Tour 2)
- Création de rapports au format pdf ou format d'application variable
- Carte de chlorophylle
- Carte d'application d'azote
- Carte d'anomalie de croissance
- Création de rapports au format pdf ou format d'application variable



B.2 Essais parcelles expérimentales  
Courbe de réponse : Valeurs réelles



Essai courbe de réponse (prise de vue du 17/04/15)

= Un conseil de précision basés sur l'ensemble des données disponibles sur la parcelle.

Projet en cours d'élaboration en partenariat avec la société CYBELETECH



Forum TERATEC : 28 juin 2017  
Atelier 1 : Outils numériques de simulation et de big data  
pour le suivi de production et de qualité en agriculture.

« Nouvelle approche des besoins en fertilisation basés sur l'analyse de la sève « xylémienne ».

Philippe Michonneau – Charlotte Terrey  
Pôle Agronomie, innovation, Services

Merci pour votre attention

---

