



Optimiser les fertilisations : éléments clés de la qualité des légumes

Christiane Raynal Lacroix

Recherches et Innovations Technologiques - Drummondville 13 et 14 Février 2012



Qualité des légumes et petits fruits

- La qualité se décline sous différentes formes
- L'intérêt vis à vis tel ou tel aspect est plus ou moins fort selon le maillon de la chaîne considéré, du producteur au consommateur

Aspects qualité	Degré de sensibilisation des :		
	producteurs	Intermédiaires commerciaux	Consommateurs et citoyens
Visuelle	+++	+++	+++
Tenue en conservation	++	+++	++
Gustative	+	+	+++
Nutritionnelle	+	+	+++
Sanitaire	+++	+++	+++
Environnement	++	++(+)	++(+)

- La qualité s'élabore au champ
- La fertilisation, un facteur clef → le producteur a un rôle actif sur le(s) résultat(s) qualitatif(s)

Recherches et Innovations Technologiques - Drummondville 13 et 14 Février 2012



Fertilisation et qualité

Relation illustrée à travers les aspects :

- aptitude à la conservation
- qualité gustative
- qualité nutritionnelle
- qualité visuelle (désordres physiologiques)
- sensibilité aux bioagresseurs

Exemples pris parmi des espèces feuilles, fruits, racines

Recherches et Innovations Technologiques - Drummondville 13 et 14 Février 2012



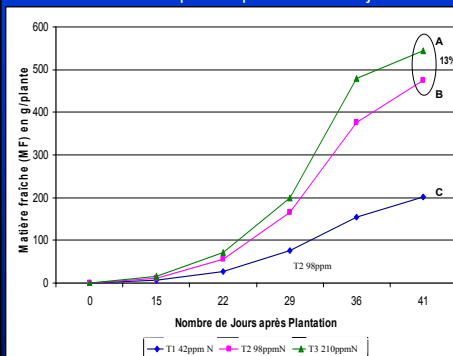
Fertilisation et aptitude à la conservation

Laitue (1/3)

Essais en conditions contrôlées

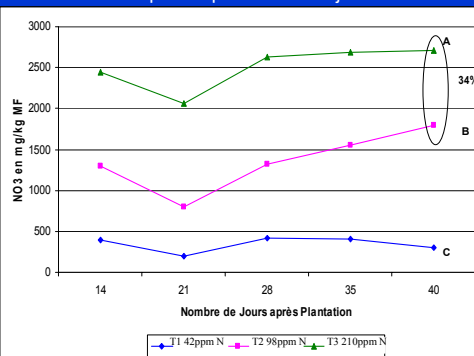
Production de biomasse foliaire

Culture de printemps mi mai – fin juin



Evolution des teneurs en nitrates

Culture de printemps mi mai – fin juin



> 75 à 90 kg d'N prélevés (laitue d'environ 500g). Au-delà, pas de valorisation de l'N en terme de croissance mais accumulation sous forme de NO₃ dans les vacuoles (jusqu'à 50% de l'N accumulé par la culture).

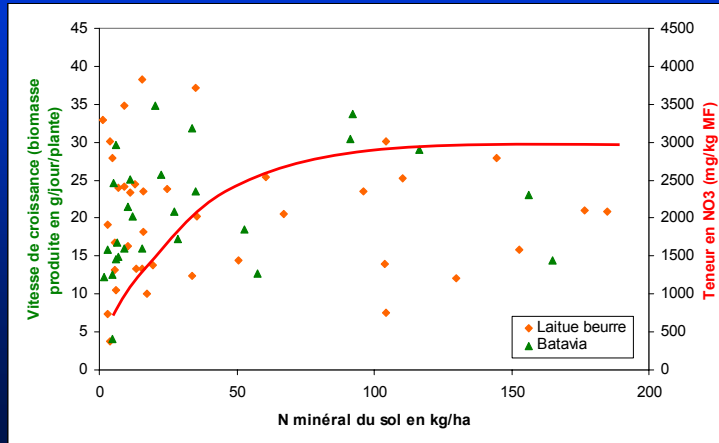
Recherches et Innovations Technologiques - Drummondville 13 et 14 Février 2012



Fertilisation et aptitude à la conservation Laitue (2/3)

Suivi au champ dans la zone de production du Lot et Garonne

Relation entre la disponibilité en N du sol, la vitesse de croissance et la teneur en NO₃ à la récolte

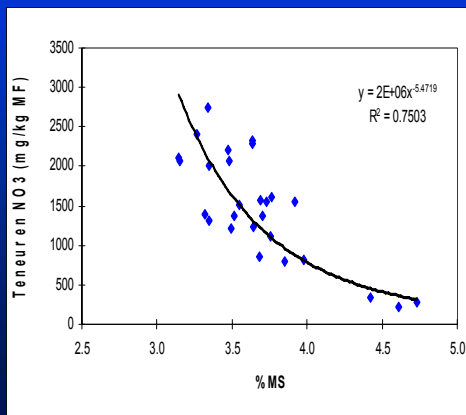


Recherches et Innovations Technologiques - Drummondville 13 et 14 Février 2012



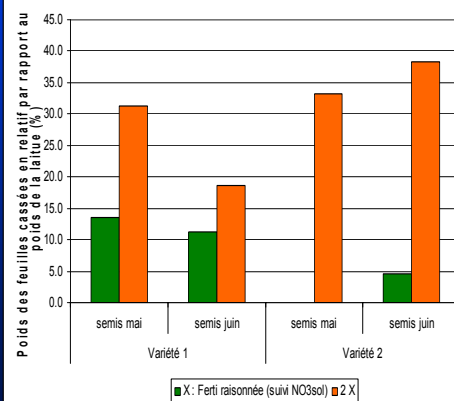
Fertilisation et aptitude à la conservation Laitue (3/3)

Relation entre la teneur en NO₃ et le % matière sèche (%MS) à la récolte



Indice de fragilité des laitues

Notation des feuilles cassées (% en poids de la laitue)



➤ Laitue plus fragile et plus sensible aux manipulations en rayon

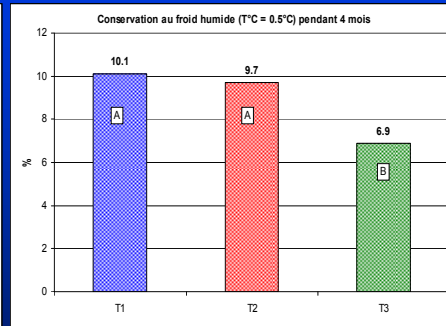
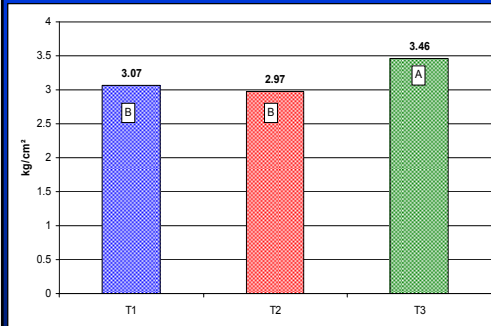
Recherches et Innovations Technologiques - Drummondville 13 et 14 Février 2012



Fertilisation et aptitude à la conservation Carotte

Résistance en kg/cm² (test de pénétrométrie)

Perte de poids en frigo



T1 : 70 à 140 ppm N selon le développement et le climat
 T2 : 50% N par rapport à T1
 T3 : limitation de N dans le temps jusqu'à sa suppression dans la dernière phase de culture (12 semaines après plantation)

➤ Rationnement graduel N en cours de culture → meilleures aptitudes à la conservation

Recherches et Innovations Technologiques - Drummondville 13 et 14 Février 2012

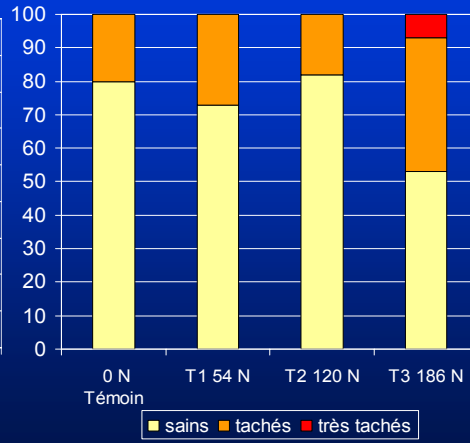
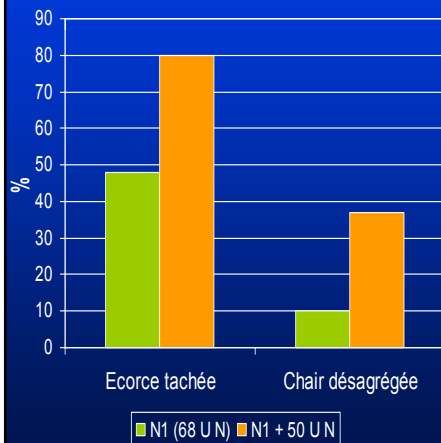


Fertilisation et aptitude à la conservation Melon

Effet de l'N sur la tenue des melons après récolte

Effet de la fertilisation azotée sur la qualité de melons
var. Manta après conservation 7 j à 10°C et 2 j à 20°C

N et qualité de l'épiderme de melons
var. Buffalo après conservation 2 j à 10°C et 5 j à 20°C



➤ Effet néfaste de l'N sur la tenue des melons après récolte (sensibilité différente selon les variétés)

Recherches et Innovations Technologiques - Drummondville 13 et 14 Février 2012

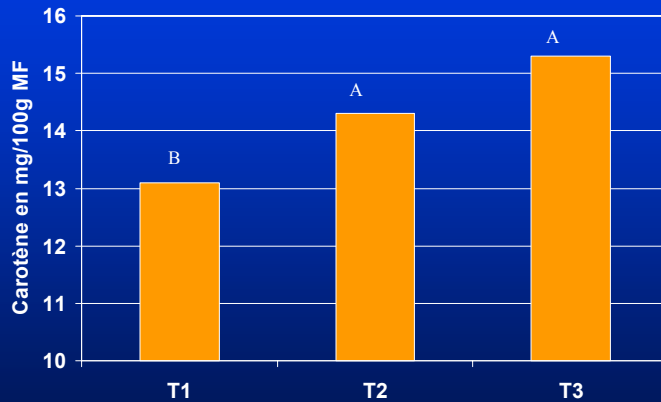


Fertilisation et qualités nutritionnelles

Carotte

Azote et teneur en β carotène de la carotte

T1 = 70 à 140 ppm N selon le développement et le climat
 T2 = 50% N par rapport à T1
 T3 = rationnement graduel en N en cours de culture



➤ Impact significatif de l'N sur la teneur en β carotène de la carotte

Recherches et Innovations Technologiques - Drummondville 13 et 14 Février 2012



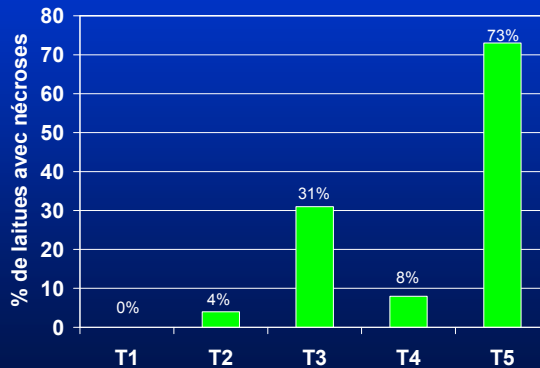
Fertilisation et dégâts liés à des maladies physiologiques

Tip burn de la laitue



	N en ppm N	K/Ca
T1	42	0.83
T2	98	0.83
T3	210	0.83
T4	210	0.23
T5	210	3.42

Effet N et K/Ca sur les nécroses foliaires
 Observation sur 25 plantes à la récolte, stade 50 feuilles



➤ Haut niveau d'azote et déséquilibre K/Ca en faveur du K favorisent le tip burn

Recherches et Innovations Technologiques - Drummondville 13 et 14 Février 2012

Citil

Fertilisation et dégâts liés à des maladies physiologiques

Salades

Facteurs impliqués dans la nécrose marginale de la chicorée au champ (enquête sur les pratiques, les mesures physico chimiques, la climatologie)

Sud Ouest
Gironde, Lot et Garonne
Cultures d'été
Sols sableux et limono argileux
12 parcelles suivies :
T°C > 30°C
HR j < 40%
HR n < 95%
Compacité du sol
Profondeur
Semelle labour
Etat hydrique
N (NO3)
K

Sud Est
Pyrénées Orientales
Cultures de printemps sous abris
Sols sableux, sablo limoneux et limono sableux
21 parcelles suivies :
Compacité du sol
Etat hydrique
N (NO3)

Sud Est
Alpes de Hautes Provence
Cultures d'été plein champ
Sols sablo limoneux, limono sableux, limono argileux, limono argilo sableux
21 parcelles suivies :
T°C > 30°C HRn
HR n
Etat hydrique
K/Ca
Densité de plantation

54 parcelles – 3 zones de production – Textures de sol et climats variés
Des facteurs à risque maîtrisables par le producteur

- Travail du sol
- Suivi hydrique
- Fertilisation N et K


Recherches et Innovations Technologiques - Drummondville 13 et 14 Février 2012

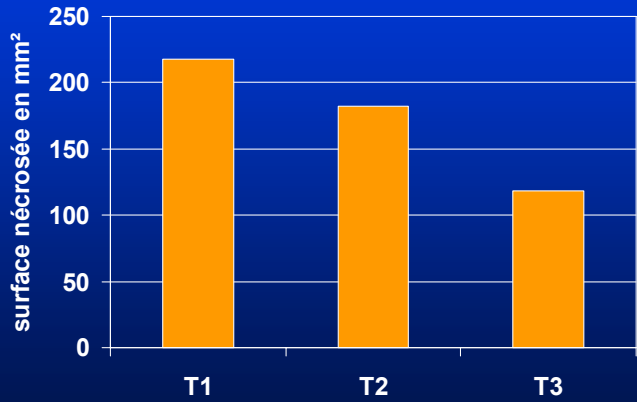
Citil

Fertilisation et sensibilité aux maladies et ravageurs

Carotte

Incidence du niveau d'N sur les attaques de *Mycocentrospora acerina* (souche 21) – maladie de conservation au froid -





Traitement	Surface nécrosée (mm²)
T1	~220
T2	~180
T3	~120

T1 = 70 à 140 ppm N selon le développement et le climat
T2 = 50% N par rapport à T1
T3 = rationnement graduel en N en cours de culture

➤ Net effet de l'azote sur les dégâts engendrés par *Mycocentrospora acerina*.

Recherches et Innovations Technologiques - Drummondville 13 et 14 Février 2012



Conclusions et perspectives

- ❑ Exigences des marchés, des consommateurs
- ❑ Evolution de la réglementation (produits, ressources naturelles)
 - Nécessaires adaptations des pratiques de production
- ❑ Qualité des produits : une réelle marge de manœuvre du producteur via la maîtrise des fertilisations, en particulier
 - Mettre à disposition des références, des OAD
 - A titre d'exemples :
 - Un test rapide pour évaluer la qualité marchande des laitues en référence aux normes CE
 - Un outil de gestion des apports N, PILazo®, propre aux cultures légumières et petits fruits
- ❑ Investir dans l'élaboration de stratégies de fertilisation minimisant la sensibilité des plantes aux bioagresseurs et, in fine, réduire l'usage des produits phytosanitaires

Recherches et Innovations Technologiques - Drummondville 13 et 14 Février 2012



Laitue

2 tests rapides pour évaluer la teneur en NO₃ des laitues, en référence aux normes CE (règlement n° 1822/2005 de la Commission modifiant le règlement n° 466/2001) - Δ N° 1259/2011-

Test au champ

10 laitues de 400-500g
Jus des côtes de couronnes de rang 4

Test d'agrèage en station

10 laitues > 350g
Jus de côtes des 2 couronnes entourant le cœur

GUIDE PRATIQUE DU TEST NITRATES AU CHAMP

PIÈCE 5.5.9

GRILLE D'INTERPRÉTATION DU TEST AU CHAMP

Norme CE (mg/kg)	Niveau de NO ₃ des côtes (en mg/kg)		
	Normes réglementaires	Zone à risque	Norme maximale réglementaire
Norme CE1 = 4000 mg/kg	4000	4000-8000	4800
	4000	4000-8000	4800
Norme CE2 = 2000 mg/kg	2000	2500-3100	3100
	2000	2500-3100	3100

GUIDE PRATIQUE DU TEST NITRATES A L'AGREAGE

PIÈCE 5.5.1

GRILLE D'INTERPRÉTATION DU TEST A L'AGREAGE

Norme CE (mg/kg)	Niveau de NO ₃ des côtes (en mg/kg)		
	Normes réglementaires	Zone à risque	Norme maximale réglementaire
Norme CE1 = 4000 mg/kg	4000	4000-8000	4800
	4000	4000-8000	4800
Norme CE2 = 2000 mg/kg	2500	2500-3100	3100
	2500	2500-3100	3100

Recherches et Innovations Technologiques - Drummondville 13 et 14 Février 2012



Gestion de l'azote

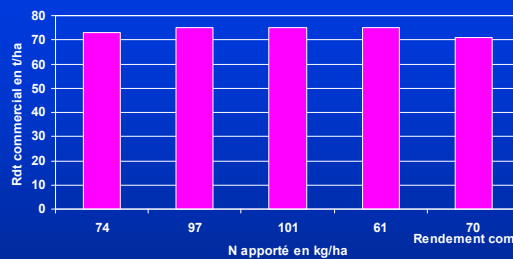
- Concilier impératifs économiques, techniques, réglementaires, commerciaux...
- Evolution des pratiques de fertilisation N → gestion équilibrée de l'N en ajustant l'offre aux besoins réels de la culture.
- Associer la technique du fractionnement de l'N à une mesure objective du besoin en N

Recherches et Innovations Technologiques - Drummondville 13 et 14 Février 2012

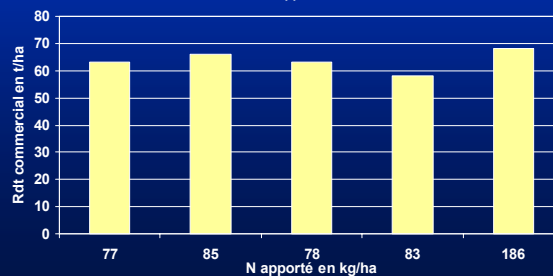


Pas de dose prédéfinie pour la gestion azotée

Rendement commercial de cultures de carottes de printemps en fonction de la dose d'N apportée



Rendement commercial de cultures de carottes d'été en fonction de la dose d'N apportée



Recherches et Innovations Technologiques - Drummondville 13 et 14 Février 2012



Méthode PILazo®

- **Méthode de gestion raisonnée de l'azote.**
Elaborée par le Ctif en lien avec l'INRA de Bordeaux et d'Avignon et la participation des partenaires techniques.
Applicable aux cultures légumières et au fraisier

- **Principe : associe 2 outils « sol » et « plante »**
 - Bilan azote simplifié avant plantation, semis
Tenir compte des fournitures du sol pour définir la dose d'engrais (complémentaire de l'azote du sol)
 - Test NO₃ plante en cours de culture (à des stades clefs, généralement)
Apporter l'azote en fonction des besoins exprimés par la culture.



Synthèse des actions relatives à la méthode PILazo®

	Courbe critique /INN Seuils critiques NO ₃	Validation des références en réseau	Validation des règles de décision	Diffusion méthode + guide technique
	Phase expérimentale Site d'expérimentation puis réseau Stations Régionales, Chambres d'Agriculture ...		Phase de pré-application parcelles d'essais + producteurs	
Fraisier / prod.fruits	→			
Melon	→			
Pomme de terre primeur	→			
Carotte d'été SO	→			
Carotte printemps	→			
Carotte bâchée hiver - printemps	→			
Aubergine	→			
Tomate	→			



Synthèse des actions relatives à la méthode PILazo®

	Courbe critique /INN Seuils critiques NO ₃	Validation des références en réseau	Validation des règles de décision	Diffusion méthode + guide technique
	Phase expérimentale Site d'expérimentation puis réseau Stations Régionales, Chambres d'Agriculture ...		Phase de pré-application parcelles d'essais + producteurs	
Fraisier pépinière trayplant	→			
Carotte d'été SE	→			
Chou fleur d'hiver	→			
Poireau	→			
Poivron	→			

Recherches et Innovations Technologiques - Drummondville 13 et 14 Février 2012

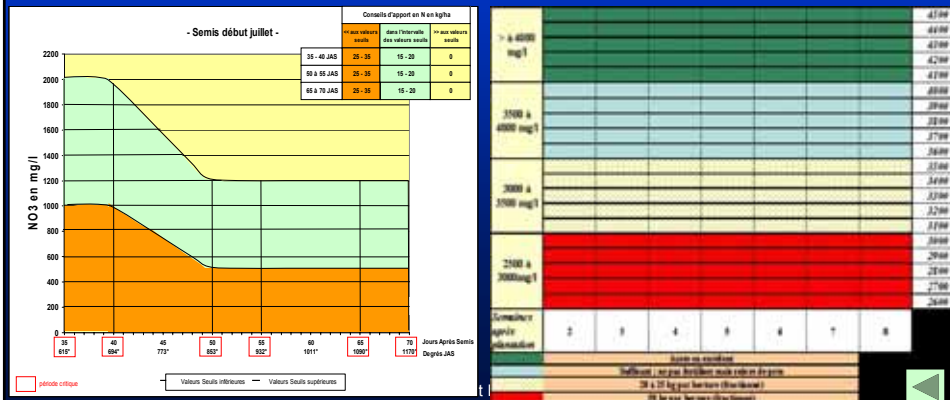


PILazo®

- Bilan Azote simplifié avant plantation, semis**
→ Déterminer la dose d'engrais complémentaire des fournitures du sol
- Test NO3 plante en cours de culture**
→ Ajuster l'azote en fonction des besoins exprimés par la culture

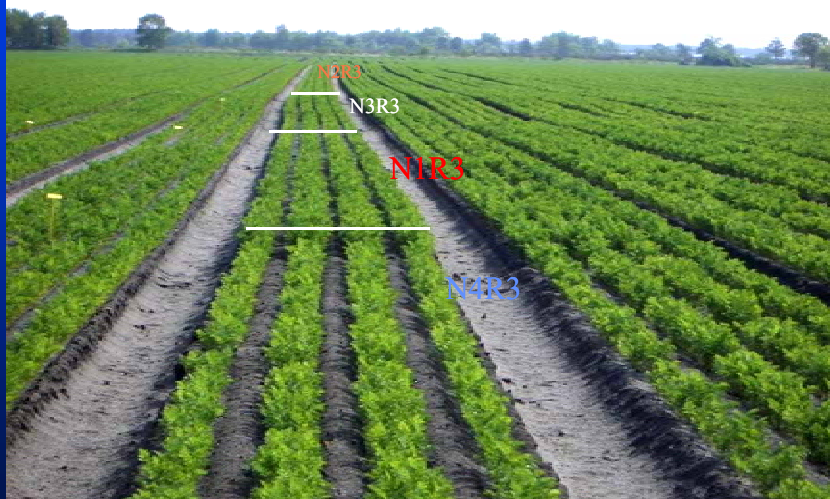
Grille de décision PILazo® Carotte d'été

Grille de décision PILazo® Melon





Conditions expérimentales (02/05)



Recherches et Innovations Technologiques - Drummondville 13 et 14 Février 2012



Carottes d'été Conditions expérimentales

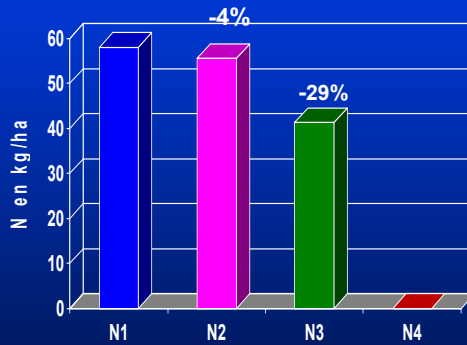
- Variété : Dordogne
- Semis : 04/07/05
- Dispositif : Carré latin à 4 répétitions
- Modalités étudiées :
 - ❖ N1 : Fertilisation type « Producteur »
 - ❖ N2 : Fertilisation basée sur les valeurs seuils NO₃ déterminées précédemment
 - ❖ N3 : Fertilisation pilotée sur la base de valeur NO₃ < de 30% aux références teneurs en nitrates pétiolaires puis « rattrapage »
 - ❖ N4 : Absence de fertilisation

Recherches et Innovations Technologiques - Drummondville 13 et 14 Février 2012



Conditions expérimentales Fertilisation N (en kg/ha) selon les modalités

Apports totaux moyens d' N par modalité

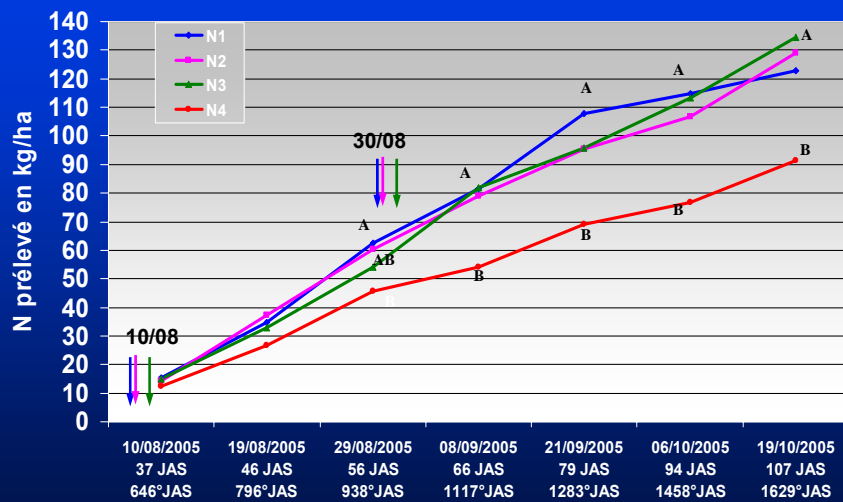


Modalité	1 ^{er} apport 07/07/05 3JAS	2 ^{ème} apport 10/08/05 37JAS	3 ^{ème} apport 30/08/05 57JAS	Apports totaux
N1	23	15	20	58
N2	13	23	20	56
N3	0	14	27	41
N4	0	0	0	0

Recherches et Innovations Technologiques - Drummondville 13 et 14 Février 2012



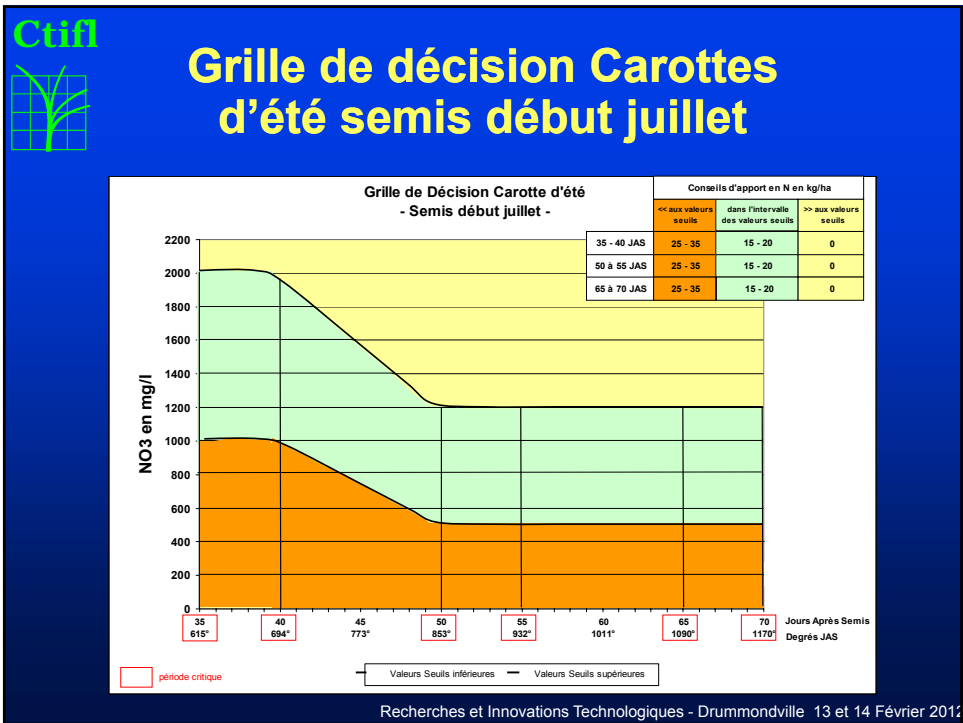
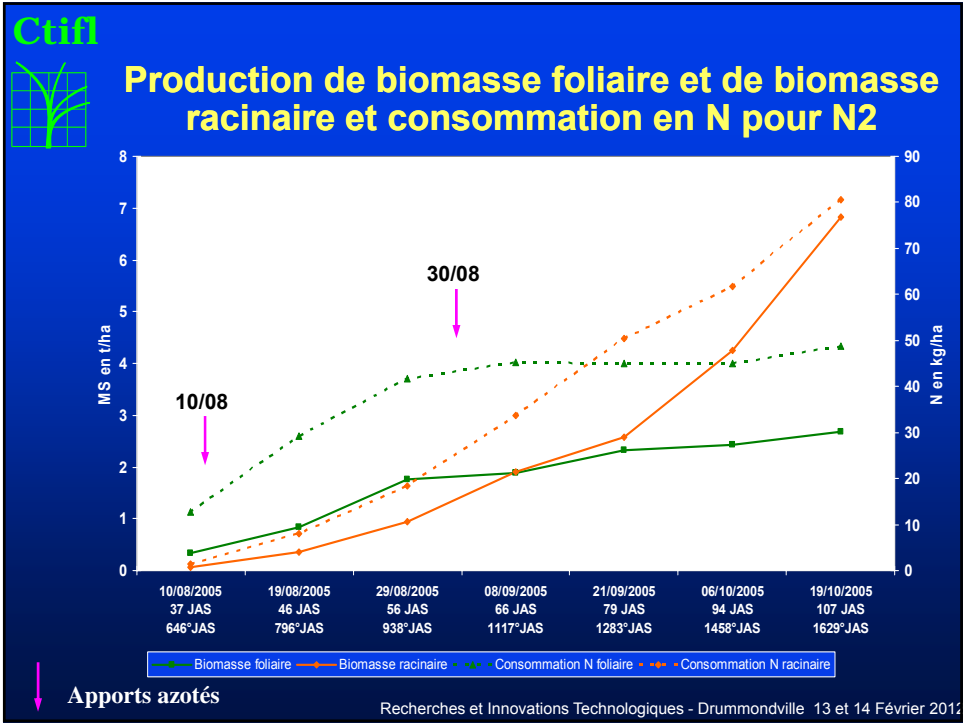
Evolution des quantités d'N prélevées par la plante entière



Appports azotés

A et B : groupes homogènes à 5%

Recherches et Innovations Technologiques - Drummondville 13 et 14 Février 2012



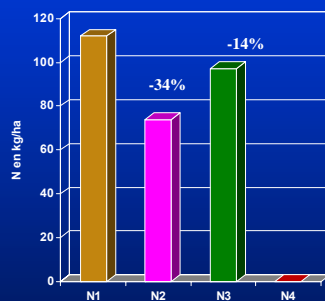


Carotte de printemps Conditions expérimentales

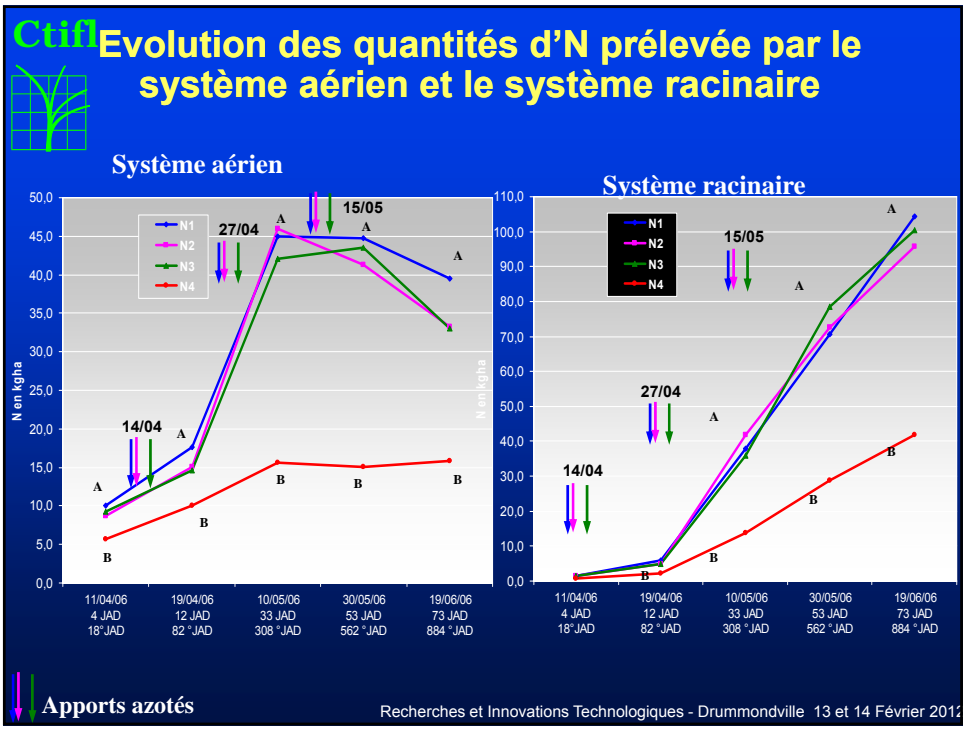
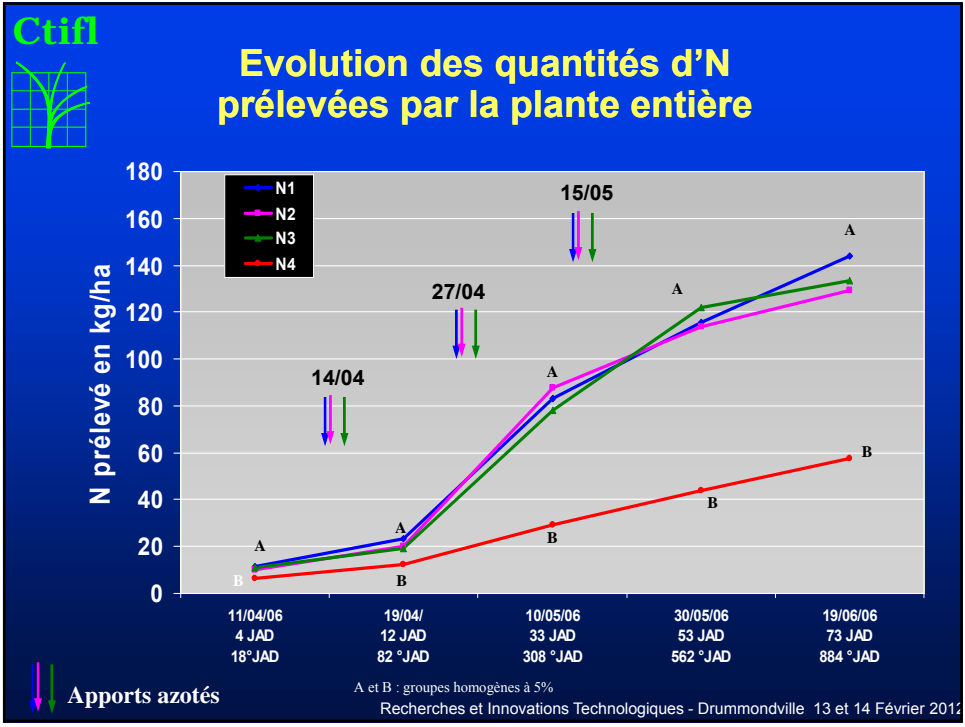
- ☐ Variété : Nanda
- ☐ Semis : 13/01/06
- ☐ Récolte : 12/06/06
- ☐ Dispositif : Carré latin à 4 répétitions
- ☐ Modalités étudiées :
 - ❖ N1 : Fertilisation type « Producteur »
 - ❖ N2 et N3 : Fertilisation basée sur les valeurs seuils NO₃ déterminées expérimentalement (valeurs références)
 - ❖ N4 : Absence de fertilisation



Conditions expérimentales : Fertilisation N (en kg/ha) selon les modalités



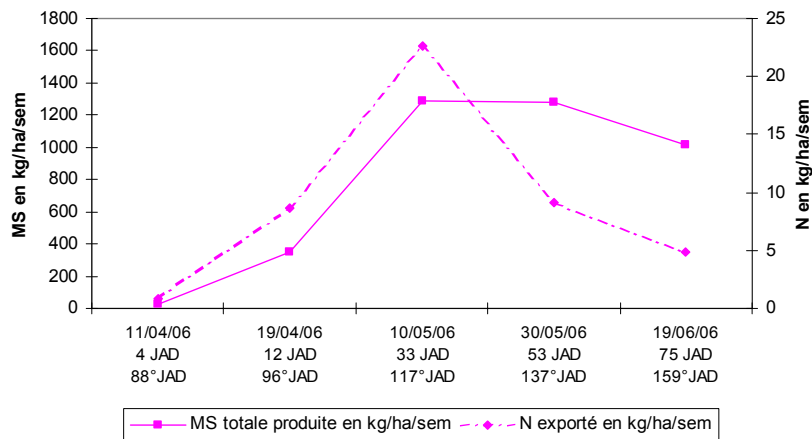
Modalités	Apport au semis 16/01/06	1 ^{er} ré apport 14/01/06 7JAD	2 ^{ème} ré apport 27/04/06 20JAD	3 ^{ème} ré apport 15/05/06 38JAD	Apports totaux
N1 « Prod »	25	33	21	34	112
N2 « Pilazo 1 »	16	30	17.5	10	74
N3 « Pilazo 2 »	16	36.3	25	20	97
N4 N(engr.)=0	0	0	0	0	0





Dynamique de production de MS totale et prélèvement en N par la plante entière pour N2

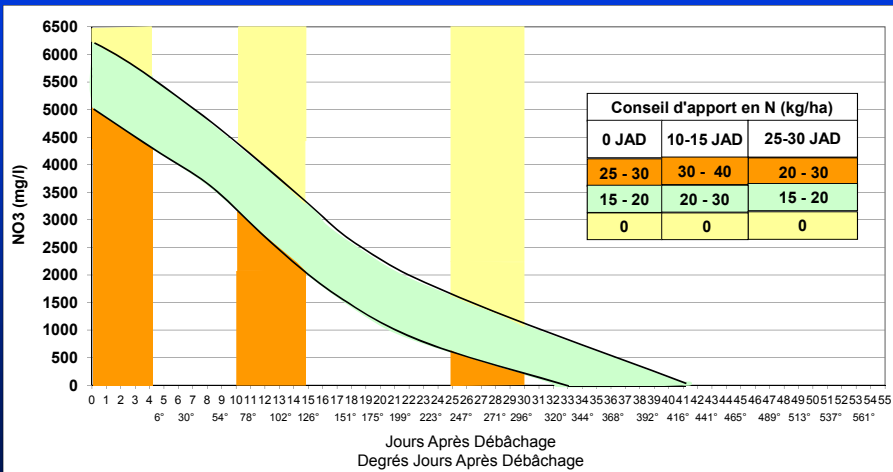
Dynamique de production de MS totale et de prélèvement en N en kg/ha/sem pour la modalité N2 - carottes de printemps 2006 -



Recherches et Innovations Technologiques - Drummondville 13 et 14 Février 2012



Grille de décision Carotte bâchée de Printemps semis janvier



Recherches et Innovations Technologiques - Drummondville 13 et 14 Février 2012

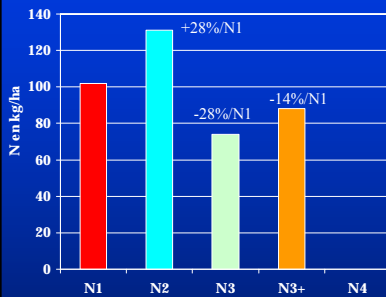


Carotte primeur bâchée Conditions expérimentales

- Semis : 27/11/06
- Débâchage : 12 et 13/03/07
- Récolte : 15/05/07
- Variété : Nanda
- 4 modalités de fertilisation N et 4 répétitions :
 - N1 : fertilisation type Legum'Land
 - N2 : fertilisation type l'Ombrière
 - N3 : fertilisation calée sur les besoins en N et les valeurs seuils PILazo® définies pour les cultures de printemps



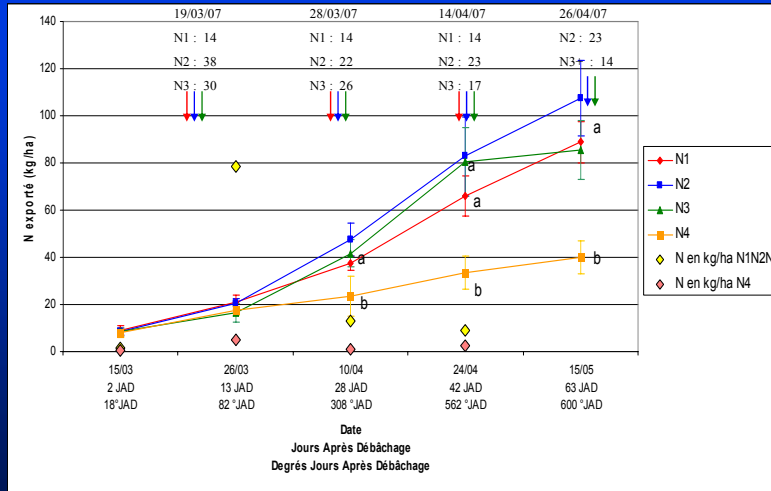
Conditions expérimentales Fertilisation N en kg/ha selon les modalités



	Apport au semis 27/11/06	1 ^{er} réapport au débâchage 13/03/06	2 ^{ème} réapport 28/03/07 D+14j	3 ^{ème} réapport 11/04/07 D+29j	4 ^{ème} réapport 26/04/07 D+44j	Total
N1 Legum Land	60	14	14	14	0	102
N2 L'Ombrière	30	33	22	23	24	131
N3 PILazo®	0	30	26	18	0	74
N3+ PILazo®	0	30	26	18	14	88
N4 0 N	0	0	0	0	0	0



Consommation en N de la culture

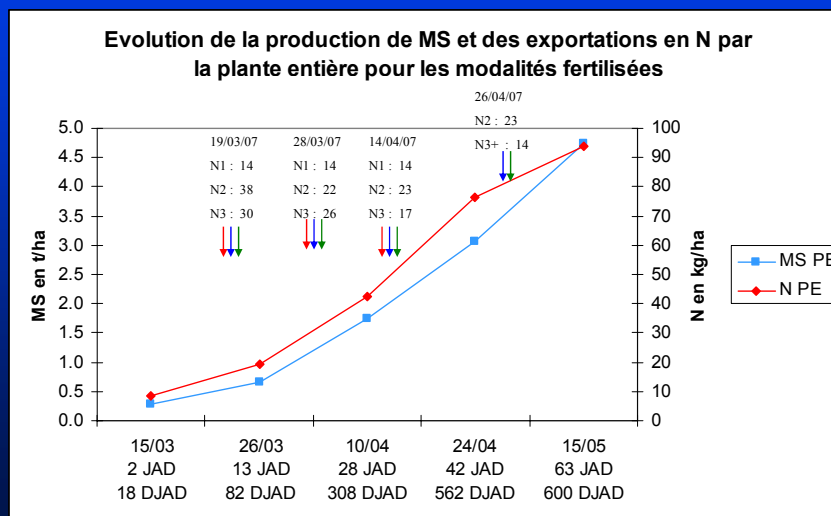


a, b : groupes homogènes au seuil de 5%

Recherches et Innovations Technologiques - Drummondville 13 et 14 Février 2012



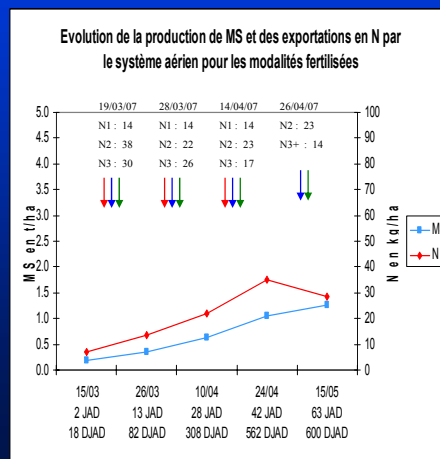
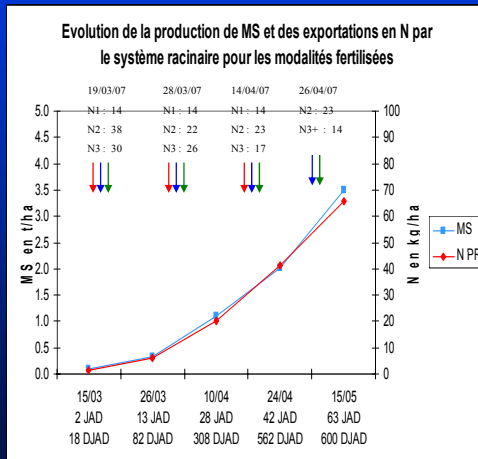
Evolution de la production de MS et des exportations en N par la plante entière pour les modalités fertilisées



Recherches et Innovations Technologiques - Drummondville 13 et 14 Février 2012



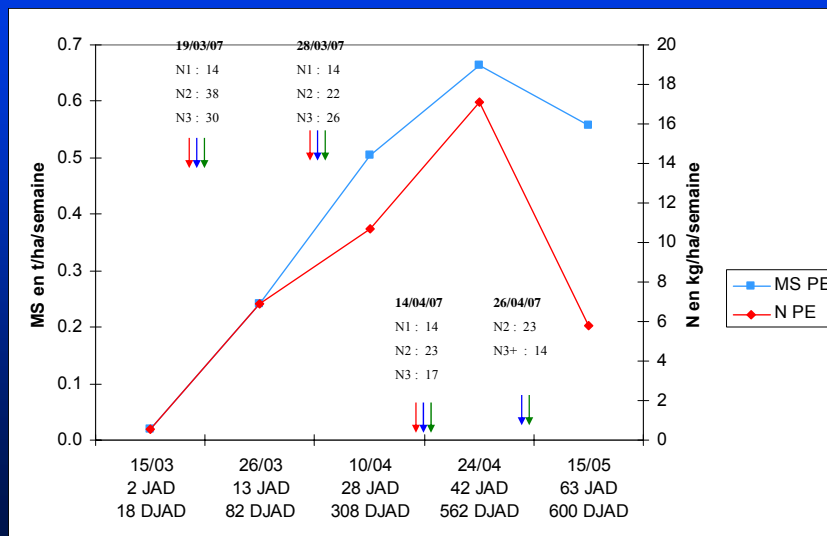
Evolution de la production de MS et des exportations en N par les systèmes racinaire et aérien pour les modalités fertilisées



Recherches et Innovations Technologiques - Drummondville 13 et 14 Février 2011



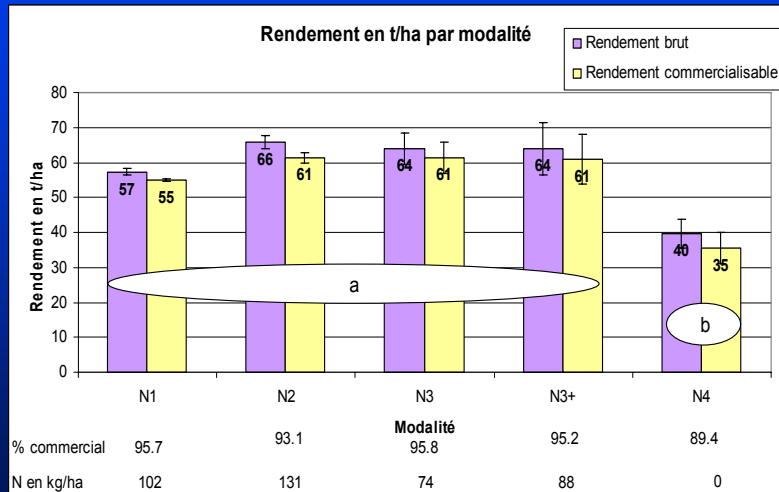
Evolution des dynamiques de production de MS et des exportations en N par la plante entière pour les modalités fertilisées



Recherches et Innovations Technologiques - Drummondville 13 et 14 Février 2011



Rendements à la récolte

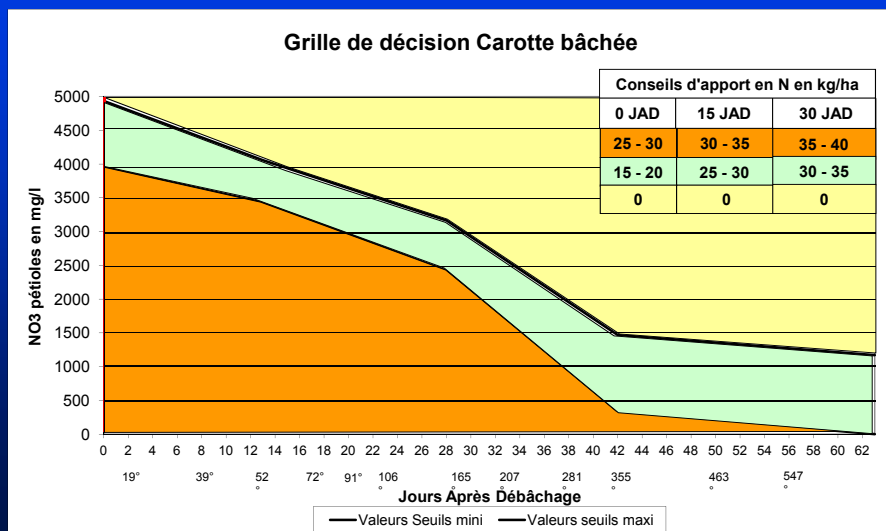


a, b : groupes homogènes au seuil de 5%

Recherches et Innovations Technologiques - Drummondville 13 et 14 Février 2012



Grille de décision Carotte primeur bâchée semis novembre



Recherches et Innovations Technologiques - Drummondville 13 et 14 Février 2012



Perspectives à moyen / long terme

La méthode aujourd'hui = **tests plante** + **bilan N**,
l'indicateur de l'état N = $[\text{NO}_3]$ pétiolaire

- Etudes prospectives sur les **tests optiques** (mesures indirectes de l'état N des cultures / test NO_3 qui est une mesure directe) → Agriculture de précision
- Enrichir la partie « **Bilan N** » de la méthode : meilleure approche des fournitures du sol pour accroître les performances de PILazo®
 - base de données sur la valeur nutritive des produits organiques les plus représentés en cultures légumières et leur dynamique de minéralisation



Propriétés des MO

Propriétés physiques

- structure du sol
 - circulation de l'air et de l'eau
 - enracinement
 - rétention en eau
 - diminue la sensibilité au compactage
 - augmente la stabilité structurale
 - facilité des travaux de culture
 - résistance à l'érosion → qualité des eaux



Propriétés chimiques

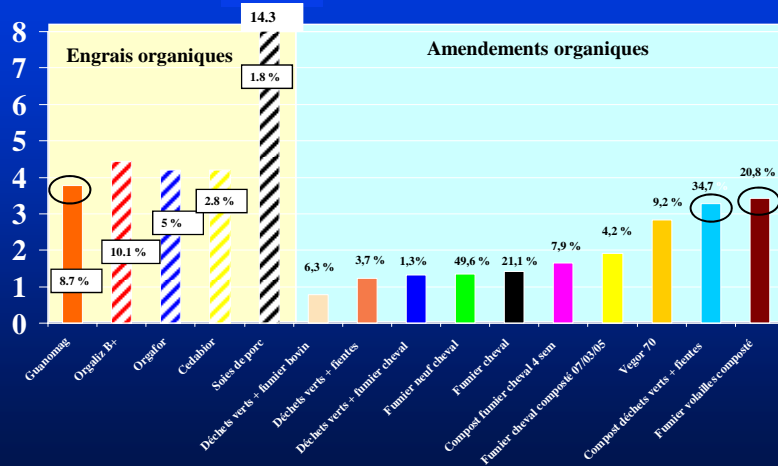
- libération d'éléments minéraux par minéralisation → fourniture d'N / immobilisation
- capacité de rétention des composés chimiques → qualité des eaux
- contribution à la CEC (36%)
- puits de C

Propriétés biologiques

- activité biologique du sol
 - cycle du C, de N
 - minéralisation des MO
- biodiversité
 - développement de microorganismes antagonistes → résistance à certaines maladies telluriques



Composition chimique N total (g/100 g produit sec)



X% : pourcentage d'N minéral

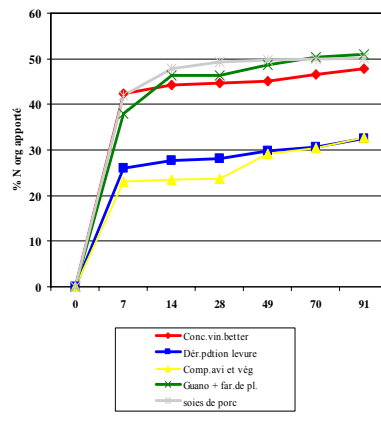
Source: Fertiagribo

Recherches et Innovations Technologiques - Drummondville 13 et 14 Février 2012

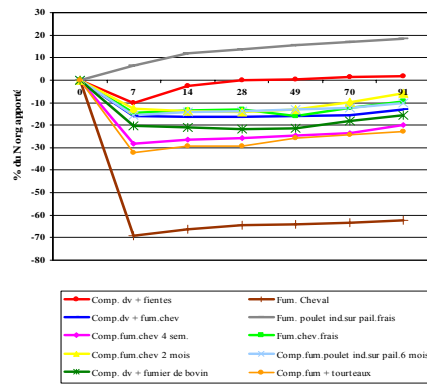


Minéralisation de l'azote organique des produits

Fertilisants organiques



Amendements organiques



Source: Fertiagribo

Recherches et Innovations Technologiques - Drummondville 13 et 14 Février 2012



Cultures intermédiaires

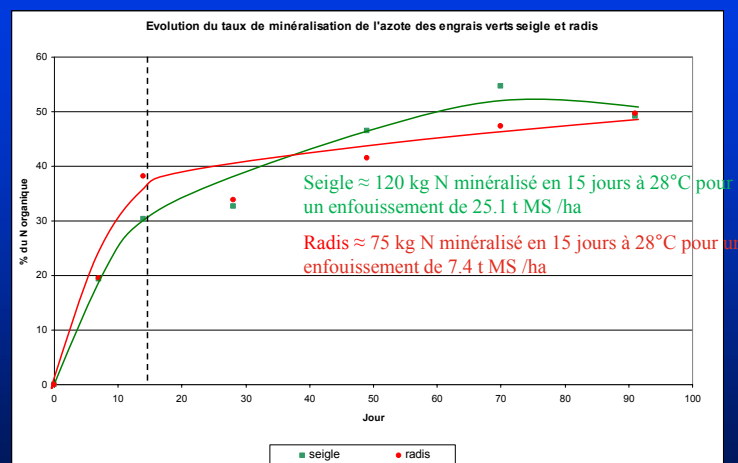
Seigle, radis fourrager cultivés en tant que CIPAN

- Composition chimique
- Minéralisation de l'N et du C via des incubations sur 3 mois (28°C, Hcc)

Recherches et Innovations Technologiques - Drummondville 13 et 14 Février 2012



Minéralisation du seigle et du radis fourrager



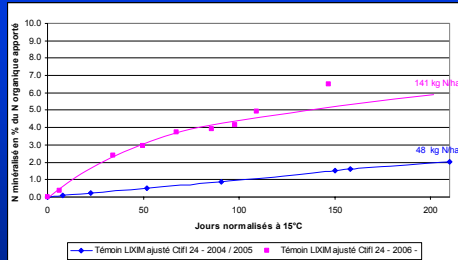
Seigle : 30% du N minéralisé en 15 jours puis 20% supplémentaires entre 15 et 91 jours.

Radis : 38% du N minéralisé en 15 jours puis 15 % supplémentaires entre 15 et 91 jours.

Recherches et Innovations Technologiques - Drummondville 13 et 14 Février 2012

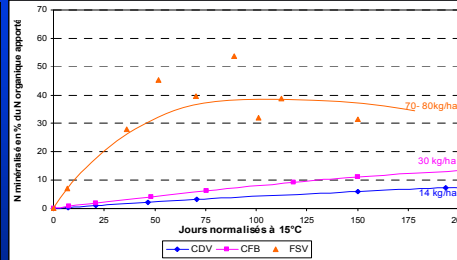


Minéralisation de la MO endogène du sol, de 2 composts de déchets verts et d'1 engrais organique



Dynamique de minéralisation de la MO endogène du sol

Témoin 2004/2005 : 0,24 kg/ha/J N 15°C
 Témoin 2006 : 0,96 kg/ha/J N 15°C
 (prairie de 3 ans retournée)

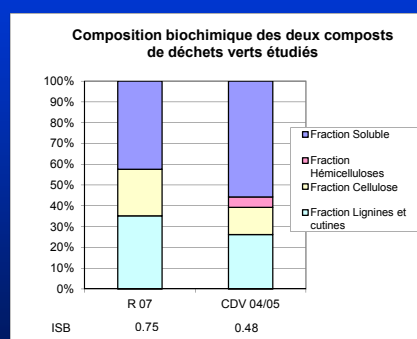
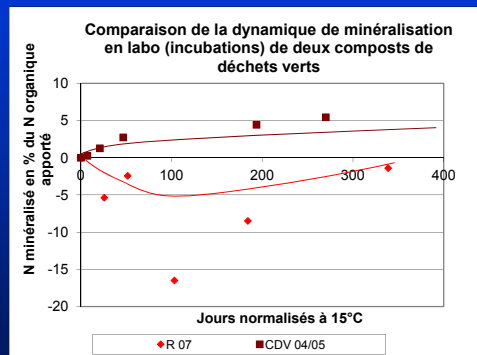


Dynamique de minéralisation des produits : composts déchets verts (CDV), fumier bovin (CFB) et fientes de volailles (FSV)

CDV : 0,07 kg/ha/J N 15°C
 CFB : 0,14 kg/ha/J N 15°C
 FSV : 0,93 – 1,06 kg/ha/J N 15°C

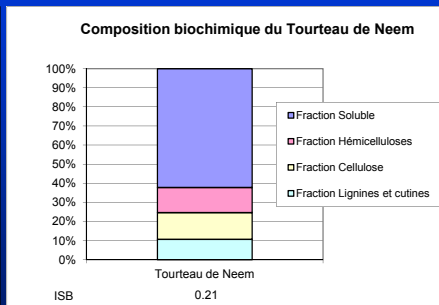
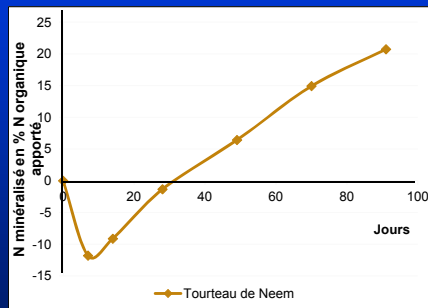


Comparaison des dynamiques de minéralisation de deux composts de déchets verts





Minéralisation d'un engrais organique: le Tourteau de Neem



Recherches et Innovations Technologiques - Drummondville 13 et 14 Février 2012



Conclusions - Perspectives

- Acquisition de références: une nécessité pour améliorer l'adéquation entre fourniture en N et besoins des cultures (variables selon le cycle de culture)
- Gestion de l'N dans le système de culture – le choix des EV pour nourrir la (les) culture(s) suivante(s): préciser leurs potentialités de biofourniture en N.
- Base de données: projet pour permettre l'appropriation des acquis techniques par la Profession et au final l'évolution des pratiques.

Recherches et Innovations Technologiques - Drummondville 13 et 14 Février 2012



Les enjeux de la fertilisation azotée au niveau environnemental

❖ N, élément associé au risque environnemental : agent potentiel de pollution des eaux (NO₃) / pollution de l'air (NH₃, N₂O)

- Mesures réglementaires et dispositions contractuelles (AR, CAD, Cahiers des charges GD)

• Directive NO₃ (12 décembre 1991)

→ Zones vulnérables

→ Programmes d'action

• Directive Cadre sur l'eau (23 octobre 2000)

• Loi sur l'eau et les milieux aquatiques (30 décembre 2006)

- Mesures liées au Grenelle de l'Environnement

• Mesure phares : concernent en 1^{er} lieu les pesticides avec réduction de 50% de leur usage à l'horizon 2018

• A propos des fertilisants N et P : résorber tous les cas de dépassement des normes → réduire les pollutions par les NO₃ et PO₄ en 5 à 10 ans.

Le Grenelle de l'Environnement conforte et renforce (échéance fixée) la réglementation existante

• Certification / notation environnementale des exploitations.

→ Objectif : 50% des exploitations dans la démarche d'ici 2012

→ Plusieurs niveaux : HVE

→ Indicateurs dont indicateur « Fertilisation azotée »

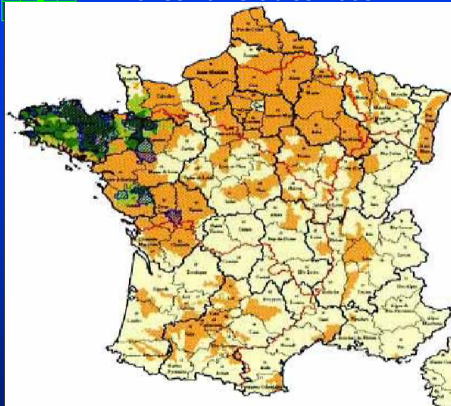
❖ Forte augmentation du prix des engrais → charges de production

Recherches et Innovations Technologiques - Drummondville 13 et 14 Février 2012



Directive Nitrates

Zones vulnérables 2003



- Zones vulnérables
- Zones d'Excédent Structurel
- Cantons où la pression organique est comprise entre 140 et 170 kg d'azote organique par ha épendable
- Zones d'Actions Complémentaires

Zones vulnérables 2007



Ctif



L'azote au rendez vous des évolutions majeures de l'agriculture

En résumé, l'azote a toujours été un élément clef dans les évolutions des objectifs de production:

- Rendement : années 1950-80
- Qualité des productions : années 1980-90
- Protection de l'environnement : depuis les années 1990
- Agriculture durable/ Grenelle Env. : depuis 2008

Recherches et Innovations Technologiques - Drummondville 13 et 14 Février 2012