

# FERTILISATION AZOTÉE DE LA POMME DE TERRE



GUIDE PRATIQUE

**ALTERNATECH**  
Section Agro-Transfert

**ITCF**  
INSTITUT NATIONAL  
DE LA RECHERCHE ET DE  
L'ENSEIGNEMENT AGRICOLES

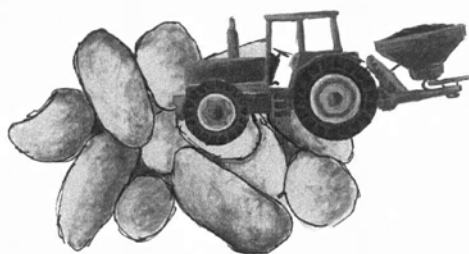
**itpt**  
INSTITUT NATIONAL  
DE LA RECHERCHE ET DE  
L'ENSEIGNEMENT AGRICOLES

**INRA**  
EDITIONS

avec la collaboration de l'ISAB



# FERTILISATION AZOTÉE DE LA POMME DE TERRE



**GUIDE PRATIQUE**

**ALTERNATECH**  
Section Agro-Transfert

**ITCF**  
CÉRÉALISERS DE FRANCE



**INRA**  
EDITIONS

avec la collaboration de l'ISAB

**Auteurs :**

**Caroline CHAMBENOIT**  
Section Agro-Transfert  
d'AlternatEch

Domaine de Brunehaut  
80200 Estrées-Mons  
Tél 03 22 85 75 79  
Fax 03 22 85 75 73

**François LAURENT**  
ITCF

Institut Technique des Céréales et  
des Fourrages  
Station expérimentale  
91720 Boigneville  
Tél 01 64 99 22 55  
Fax 01 64 99 33 30

**Jean-Marie MACHET**  
INRA - Unité d'agronomie

Station INRA de Laon  
Rue Fernand Christ  
02004 Laon cedex  
Tél 03 23 23 64 85  
Fax 03 23 79 36 15

**Olivier SCHEURER**  
ISAB

Institut Supérieur d'Agriculture de  
Beauvais  
Rue Pierre Waguet  
BP 30313  
60026 Beauvais  
Tél 03 44 06 25 25  
Fax 03 44 06 25 26

Cet ouvrage a été réalisé sous la  
coordination de Caroline  
Chambenoit (Agro-Transfert)

Réalisation Service Communication Marketing ITCF  
Maquette-type Oxalis (77) Illustration Hélène Mazuy  
Flashage impression Val de Loire Impressions (45)  
© ITCF.ITPT Janvier 2002 ISBN 2.6492.488.9  
© INRA Janvier 2002 ISBN 2.7380.0988.3  
© Agro-Transfert Janvier 2002 ISBN 2.908589.11.7

**PRIX : 20 €**



**ALTERNATECH**

Section Agro-Transfert

AGRO-TRANSFERT est une section spécialisée d'ALTERNATECH (association régionale de Picardie). Elle est chargée de l'élaboration et de la mise en oeuvre de démarches de transfert vers les acteurs économiques du secteur agricole. Elle travaille en partenariat étroit avec les Chambres d'Agriculture de Picardie et l'INRA.

Ses objectifs sont notamment :

1. D'adapter et de transférer les résultats de recherche disponibles vers les secteurs du développement agricole,
2. De définir et valider des démarches, des outils et des méthodes permettant de répondre aux questions posées par les Professionnels de l'agriculture.

AGRO-TRANSFERT travaille aujourd'hui sur 4 programmes :

**1. Qualification des exploitations agricoles en Picardie (Quali'terre)**

Ce programme vise à définir et proposer une démarche globale de qualification des exploitations.

**2. Protection intégrée en zone de grande culture.**

Ce programme propose et teste différents itinéraires techniques visant à réduire, voire supprimer, l'utilisation de produits phytosanitaires. Ce travail s'accompagne d'une recherche d'indicateurs pertinents permettant d'encadrer les pratiques.

**3. Recherche d'itinéraires techniques adaptés pour la production de lin oléagineux.**

L'objectif de ce programme est de contribuer au développement d'une culture de diversification. Deux axes principaux ont été retenus : approfondissement des connaissances sur la culture et étude de ses conditions de rentabilité.

**4. Agrophysiologie de la Pomme de Terre.**

Ce programme vise à proposer et améliorer les outils de conseil et règles de décision relatifs à la production de cette espèce

**Pour en savoir plus :**  
[www.alternatech.org](http://www.alternatech.org)



Depuis 1995, les activités de Recherche-Développement en pommes de terre sont menées dans le cadre d'un accord de partenariat liant l'I.T.C.F. et l'I.T.P.T.. Elles ont pour finalité de fournir aux différents acteurs des 3 familles (consommateur-industrie-plant) de la filière pommes de terre, des informations, des outils et des services (formation, expertise) leur permettant de concilier performance technico-économique, reconnaissance de la qualité des produits et respect de l'environnement.

### 1 – Maîtriser la qualité du produit :

Tout d'abord, il s'agit de mieux évaluer la qualité technologique et sanitaire de la production. Dans ce but, plusieurs actions sont menées comme la participation au projet de normalisation AFNOR de la réception, la définition d'un cahier des charges pour la réalisation d'échelles d'évaluation de la qualité de présentation pour le marché du frais ou l'acquisition de références sur la teneur des tubercules en éléments traces métalliques et en résidus de produits phytosanitaires.

En second lieu, les actions visent à maîtriser la qualité du produit en cours de stockage par une meilleure connaissance du comportement des variétés et par l'amélioration des techniques de conservation.

### 2 – Evaluer les innovations

Le rendement, les caractéristiques agronomiques et les aptitudes qualitatives des nouvelles variétés sont étudiées au champ et en laboratoire. Les informations recueillies sont diffusées aux agriculteurs et aux entreprises de l'aval de la filière pour leur permettre de choisir les variétés les mieux adaptées au contexte des exploitations agricoles et aux débouchés visés. Toutes les nouvelles molécules de produits phytosanitaires sont également testées de manière à mieux appréhender leur efficacité et leurs conditions d'emploi.

### 3 – Piloter les cultures

Il s'agit de mettre au point et promouvoir les méthodes, les procédés et les outils utiles à la conduite raisonnée des cultures. Dans cette perspective, des travaux de recherche et d'expérimentation sont conduits sur les différentes opérations de l'itinéraire technique cultural : la fertilisation azotée, l'irrigation, la lutte contre les maladies, spécialement le mildiou, et le défanage thermique. L'ITCF développe, avec les partenaires de la filière du frais, la production raisonnée en actualisant le guide de bonne pratique sur lequel s'appuie la norme AFNOR.

Pour en savoir plus : [www.itcf.fr](http://www.itcf.fr)



INRA Editions participe à l'élaboration de la politique éditoriale de l'institut et en assure la mise en œuvre.

Chaque année, une trentaine de nouveaux titres ayant trait aux domaines couverts par les recherches menées à l'INRA enrichissent les collections destinées aux chercheurs, enseignants, étudiants, praticiens agricoles, décideurs privés et publics et à toute personne intéressée par l'acquisition des dernières connaissances scientifiques. Deux collections tournées vers le grand public contribuent à la réflexion sur le fonctionnement de la recherche et à la vulgarisation des connaissances.

La promotion, la diffusion et la distribution sont assurées par INRA Editions et ses relais en France et à l'étranger.

Pour en savoir plus : [www.inra.fr/editions](http://www.inra.fr/editions)

Depuis 1992 un programme d'étude de l'agrophysiologie de la pomme de terre a été mené au sein d'Agro-Transfert, à la demande de la Chambre Régionale d'Agriculture de Picardie, dans le but d'améliorer les outils de conseil sur cette culture.

Ce programme a mobilisé un partenariat important, notamment le GITEP, l'INRA, l'ISAB, l'ITCF-ITPT, Mc Cain SA, Roquette Frères SA,... rassemblant différentes natures de compétences.

Les réseaux d'essais mis en place et les réunions de concertation entre partenaires ont permis de progresser nettement dans nos connaissances et de tisser des liens forts entre intervenants autour de cette culture.

Ce guide pratique de la fertilisation azotée est une initiative d'Agro-Transfert pour valoriser les connaissances acquises par chaque partenaire au cours du programme. Il s'adresse aux agriculteurs, conseillers et agronomes impliqués sur la culture de pommes de terre ainsi qu'aux enseignants.

Ce document :

- présente les principes d'écophysiologie de la culture et de dynamique de l'azote dans le sol,
- fournit les règles d'aide à la décision dans le choix des doses, dates et formes d'apports d'engrais azotés.

Pour assurer le caractère évolutif du document, il a été choisi de séparer les parties opérationnelles, susceptibles d'être améliorées et actualisées chaque année, de celles plus théoriques par l'intermédiaire d'une rédaction en chapitres. Le quatrième chapitre, opérationnel, peut ainsi se lire indépendamment des autres.

Jean-Paul Deneuille (CETA des Hauts de Somme), Alain Maurice (Lycée agricole de Péronne), Laurent Merchat (AlternatecH), Olivier Morel (CA80-GITEP), Christian Perrier (ENITA de Clermont-Ferrand), Gérard Tropato (Mc Cain) et Sophie Vallade (ITCF) ont bien voulu s'associer aux éditeurs pour relire cet ouvrage. Nous les remercions pour leurs suggestions et leurs remarques.

Nous remercions également Thierry Duchenne (chargé d'étude Agro-Transfert) pour l'ensemble des résultats acquis de 92 à 98 au cours du programme « Agrophysiologie de la pomme de terre » d'Agro-Transfert et Hubert Boizard (INRA) pour son active participation à la valorisation de ces résultats depuis 1999.

**Les éditeurs**

Avant propos .....	3
Sommaire .....	5
Préface .....	7

**CHAPITRE 1**

**LE PRÉLÈVEMENT D'AZOTE ET LA PRODUCTION D'UNE CULTURE DE POMMES DE TERRE . 9**

<b>Nutrition azotée et production de pommes de terre .....</b>	<b>11</b>
1. Croissance de la culture .....	12
1.1 Effets de la nutrition azotée sur la mise en place de l'indice foliaire .....	12
1.2 Effets de la nutrition azotée sur la durée du cycle cultural .....	13
2. Elaboration du rendement .....	14
2.1 Effets de la nutrition azotée sur les modalités de la tubérisation .....	15
2.2 Effets de la nutrition azotée sur la répartition des assimilats .....	17
<b>Dynamique d'accumulation et de répartition de l'azote au cours de la croissance .....</b>	<b>19</b>
1. Principaux facteurs influençant la cinétique d'absorption d'azote .....	20
2. Dynamique d'accumulation de la biomasse et de l'azote dans le couvert végétal .....	21
3. Evolution de la teneur en azote en cours de croissance : notion de teneur critique en azote .....	23
3.1 Dilution de l'azote dans la matière sèche produite .....	23
3.2 Courbe de teneur critique en azote .....	25
<b>Evaluer les besoins et caractériser le niveau de nutrition azotée pour gérer la fertilisation azotée de la culture .....</b>	<b>29</b>
1. Notion de besoin optimal .....	30
2. Besoins forfaitaires .....	32
3. Besoins établis par rapport aux objectifs de production .....	33
4. Les indicateurs de déclenchement d'un apport complémentaire d'azote .....	36
<b>Conclusion .....</b>	<b>38</b>

**CHAPITRE 2**

**DISPONIBILITÉ EN AZOTE POUR LA PLANTE .....**

<b>Le cycle de l'azote dans le sol .....</b>	<b>41</b>
1. Les formes d'azote dans le sol .....	41
2. Les transformations de l'azote dans le sol .....	43
2.1 La fixation d'azote atmosphérique .....	43
2.2 La minéralisation de l'azote organique .....	43
2.3 L'organisation de l'azote minéral .....	44
2.4 La nitrification .....	45
2.5 La dénitrification .....	46
2.6 La volatilisation d'ammoniac .....	46
2.7 Le lessivage des nitrates .....	46
3. Conclusions .....	47
<b>Devenir de l'azote « engrais » dans le système sol-plante .....</b>	<b>49</b>
1. Disponibilité de l'azote minéral apporté par l'engrais .....	50
2. Interactions de l'engrais avec le cycle interne de l'azote dans le sol .....	52
3. Bilan de l'azote de l'engrais pour une culture de pommes de terre .....	54
<b>Caractérisation de l'enracinement de la pomme de terre .....</b>	<b>57</b>
1. Profondeur maximale d'enracinement .....	58
2. Cinétique de mise en place du système racinaire .....	58
3. Abondance et répartition spatiale des racines .....	59
4. Facteurs de variation de la densité racinaire .....	61
4.1 Etat structural des horizons travaillés .....	61
4.2 Irrigation .....	63

4.3 Variété .....	65
5. Synthèse des acquis concernant l'enracinement .....	66
<b>Evaluation des quantités d'azote minéral du sol .....</b>	<b>67</b>
1. Le reliquat début de culture .....	68
2. Le reliquat fin de culture .....	69

### CHAPITRE 3

#### **LES EFFETS DE LA DOSE TOTALE D'AZOTE SUR LA PRODUCTION, LA QUALITÉ DES TUBERCULES ET L'ENVIRONNEMENT .....**

1. Rendement total et par classes de calibres .....	73
2. Teneur en matière sèche des tubercules .....	75
3. Teneur en nitrates des tubercules .....	76
4. Autres critères qualitatifs .....	79
5. Quantité d'azote minéral présent dans le sol à la récolte .....	80

### CHAPITRE 4

#### **DOSES ET MODALITÉS D'APPORTS : ASPECTS OPÉRATIONNELS DE LA FERTILISATION AZOTÉE DE LA POMME DE TERRE .....**

##### **Calcul de la dose totale d'azote .....**

1. Principe de calcul .....	86
2. Azote absorbé par le peuplement .....	88
3. Azote minéral du sol non utilisable par le peuplement .....	91
4. Azote minéral du sol disponible au peuplement en début de cycle .....	92
5. Minéralisation des matières organiques .....	93
5.1 Minéralisation nette des résidus de récolte des précédents culturaux .....	94
5.2 Minéralisation nette supplémentaire due aux cultures intermédiaires .....	95
5.3 Minéralisation nette supplémentaire due aux retournement de prairies .....	96
5.4 Minéralisation de l'humus .....	97
6. Quantité d'azote fournie par les produits organiques .....	100

##### **Fractionnement de la dose totale d'azote .....**

1. Le fractionnement précoce entre plantation et levée .....	104
2. Outils de pilotage .....	109
2.1 JUBIL® .....	109
2.2 Autres outils .....	111

##### **Modalités d'apport de l'engrais : localisation, pulvérisations foliaires ou fertigation. ....**

1. Localisation de l'engrais à la plantation .....	114
2. Apport d'azote par voie foliaire .....	117
3. L'apport d'azote par l'eau d'irrigation (fertigation) .....	119
4. Choix des formes d'engrais .....	121
4.1 Engrais minéraux .....	121
4.2 Engrais organiques .....	122

Sources des données .....	123
Glossaire .....	124
Bibliographie .....	126



La filière Pomme de terre est de première importance pour l'économie agricole de la région Picardie : 800 000 tonnes sont produites chaque année pour la féculé (première région française) ce qui représente 57% de la production nationale, 900 000 tonnes pour la consommation (deuxième région française) soit 20% de la production nationale. Le territoire régional picard accueille par ailleurs plusieurs producteurs leader du marché (Vico, Flodor, Mc Cain, Sitpa-Nestlé pour la pomme de terre de consommation transformée pour l'alimentation humaine, Roquette pour la production de féculé...).

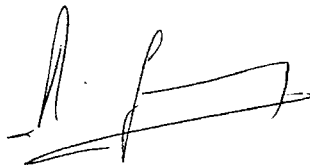
Cette importance s'explique tant par la fertilité des sols que par les compétences de ceux qui les cultivent.

Pour les agriculteurs, la diversification des cahiers des charges et l'adaptation des itinéraires techniques aux nouvelles contraintes de la production et de la consommation représentent en effet un défi constant. Il s'agit en permanence de concilier les exigences de rentabilité économique avec la préservation du milieu, deux facteurs indispensables au maintien d'une agriculture durable, et la qualité des produits pour le consommateur.

C'est dans ce cadre qu'a été initié en 1992, à la demande de la Chambre Régionale d'Agriculture de Picardie, le programme Agrophysiologie de la pomme de terre d'Agro-Transfert.

A la faveur de ce programme, de nombreuses synergies se sont créées entre les différents organismes qui concourent, dans notre région, à l'acquisition de connaissances, de références techniques et à la diffusion du conseil sur les techniques culturales : l'INRA, l'ITCF-ITPT qui possède une station expérimentale à Villers Saint Christophe, les services agronomiques des Industries Agro- Alimentaires, des coopératives, l'ISAB, le GITEP, les Chambres d'Agriculture, les CETA...

Ce guide est le résultat concret de la mise en commun des résultats des recherches et expérimentations conduites par ces partenaires au cours des 7 années du programme. Il est à la fois un ouvrage didactique et un outil d'aide à la décision. Il est l'illustration de ce que des collaborations régionales adaptées et efficaces ont des impacts et retombées qui vont bien au-delà de leur territoire initial, nationalement ou internationalement. Il est une démonstration du dynamisme des professionnels agricoles régionaux.



**D. Guillemot**  
Président d'Alternatech



**et J.L. Poulain**  
Président de la Chambre Régionale  
d'Agriculture de Picardie



# Le prélèvement d'azote et la production d'une culture de pommes de terre



L'objet de ce premier chapitre est de présenter en quoi les connaissances physiologiques récentes permettent de mieux estimer les prélèvements d'azote par la culture de pommes de terre. Il est divisé en trois parties.

La **première partie** traite des relations entre nutrition azotée et production quantitative et qualitative de la culture. Les questions auxquelles on se propose de répondre sont les suivantes :

- Quels sont les principaux critères de production affectés par une variation du niveau de nutrition azotée ?
- Quels phénomènes physiologiques en sont les ressorts ?

La **deuxième partie** pose le problème du suivi de l'état de nutrition azotée de la culture. Pour le résoudre, il faut comprendre :

- Quelles sont les dynamiques d'accumulation et de répartition de l'azote au cours de la croissance ?
- Comment caractériser le statut azoté de la plante, comment interpréter les mesures ?

La **troisième et dernière partie** du chapitre donne les éléments qui permettent d'ajuster les apports d'azote aux seuls besoins de la culture, besoins évalués selon les caractéristiques du milieu et les objectifs de production en répondant à la question :

- Quels niveaux de nutrition azotée peuvent être considérés comme nécessaires et suffisants pour atteindre les objectifs de rendements et de qualité des tubercules ?

# Nutrition azotée et production de pommes de terre



**La nutrition azotée est souvent présentée comme un facteur clé de maîtrise de la production d'une culture de pommes de terre.**

**Après avoir rappelé les principaux mécanismes physiologiques impliqués dans la croissance et l'élaboration du rendement d'une culture de pommes de terre, nous détaillerons les effets de la nutrition azotée sur ceux-ci.**

**Pour cela, nous utiliserons les résultats d'essais ayant reçu différents niveaux de fertilisation azotée (de 0 à plus de 200 kg N/ha).**

**La confrontation des résultats acquis pour chaque dose d'azote permet de détailler les processus les plus impliqués. La comparaison des doses extrêmes (en deçà et au-delà de la dose optimale de chaque essai pour tous les critères) permet par ailleurs de mieux évaluer l'effet d'une fertilisation inadaptée, soit par défaut, soit par excès.**

# 1. Croissance de la culture

## Rappel

Depuis les années 70, un concept couramment utilisé pour l'analyse de la croissance d'une culture a été celui du rendement énergétique (*Monteith, 1972; Gallagher & Biscoe, 1978; Warren Wilson, 1981; Varlet-Grancher et al., 1982*). *Monteith (1977)* a particulièrement mis en évidence l'importance du rayonnement solaire dans les variations de production de biomasse végétale. En condition d'alimentation hydrique et minérale non limitantes, il a pu établir une relation linéaire entre la matière sèche totale accumulée par le couvert végétal à une date donnée et la quantité d'énergie interceptée par ce couvert jusqu'à cette date :

$$MStot = E_i E_b PAR_{itot} \quad (1)$$

MStot	biomasse totale (kg.ha <sup>-1</sup> ) ou (g.m <sup>-2</sup> )
E <sub>i</sub>	efficacité d'interception de la culture (sans unité).
E <sub>b</sub>	efficacité de conversion de l'énergie interceptée en biomasse végétale (g.MJ <sup>-1</sup> ).
PAR <sub>itot</sub>	rayonnement incident utile à la photosynthèse (MJ.m <sup>-2</sup> ).

E<sub>i</sub> représente l'efficacité d'interception de l'énergie lumineuse. E<sub>i</sub> est limitante pour la production maximale de matière sèche pendant la phase d'implantation et de sénescence du couvert végétal (Indices foliaires faibles). E<sub>b</sub> (efficacité biologique) représente l'efficacité de conversion de l'énergie interceptée en biomasse végétale et traduit l'efficacité de la transformation du rayonnement intercepté en matière sèche.

On comprend alors que tout facteur de production intervenant sur la vitesse de mise en place et de jaunissement du système foliaire, la structure et la densité de végétation aura une forte influence sur la production de biomasse totale. Nous allons approfondir ici le cas de l'azote.

## 1.1 Effets de la nutrition azotée sur la mise en place de l'indice foliaire

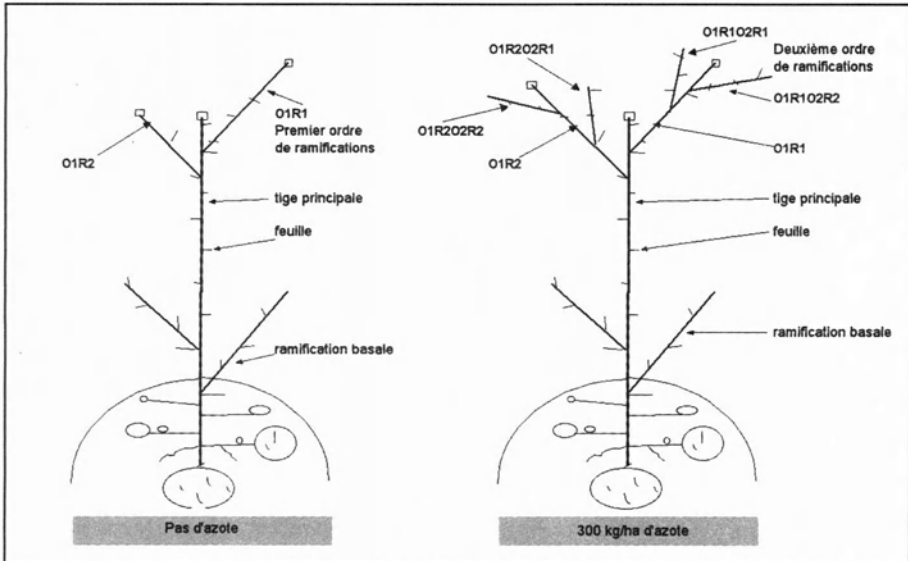
La disponibilité en azote intervient sur la densité du couvert foliaire dont le rôle dans la production de biomasse est déterminant.

Cet effet ne semble pas lié au rythme d'émission des feuilles (phyllochrone), à la durée de croissance des feuilles, et la vitesse d'apparition des ramifications qui restent inchangés quel que soit le niveau de nutrition azotée.

En revanche, quand l'azote est le facteur limitant de la croissance, la plante produit des tiges de plus petite taille et un nombre réduit de ramifications (figure 1). Un manque d'azote provoque également une diminution de la surface spécifique des limbes (cm<sup>2</sup> de limbes/g de matière sèche limbe) accompagnée d'une augmentation de la durée de fonctionnement des feuilles anciennes, basses, aux dépens de la production de nouvelles feuilles.

**Figure 1 : Effets de l'azote sur l'émission des ramifications**

Bintje irriguée, 1994, Villers (02), sol limoneux



Une dose élevée d'azote (300 kgN/ha) conduit à l'émission de ramifications d'ordre 2 alors qu'un manque d'azote (0 kgN/ha) limite le développement foliaire à des ramifications primaires.

Un déficit de nutrition azotée se traduit ainsi par une pénalisation de l'indice foliaire, résultat pour partie d'un arrêt précoce de la croissance.

■ **La nutrition azotée constitue donc un facteur de contrôle de la durée du cycle et donc du degré de maturité de la culture à la récolte.**

## 1.2 Effets de la nutrition azotée sur la durée du cycle cultural

La durée du cycle cultural peut être évaluée au moyen de la vitesse de fermeture du couvert (durée requise pour obtenir un taux de couverture égal à 100 %) et de la durée de la couverture intégrale du sol (avant l'entrée en sénescence).

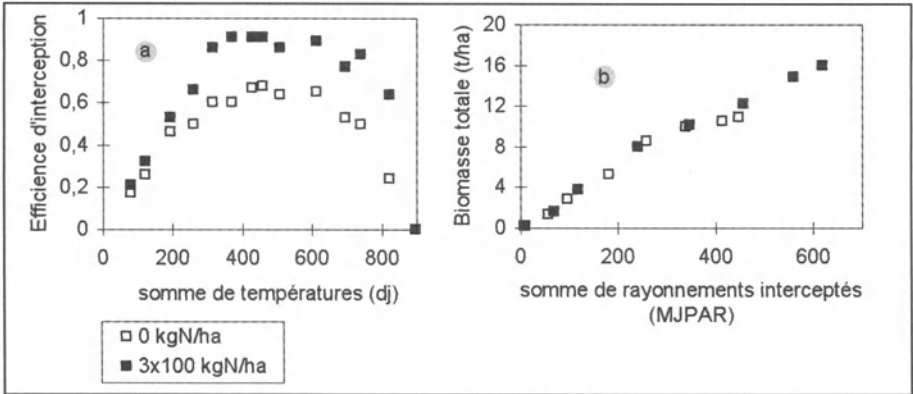
Une meilleure absorption d'azote augmente la vitesse de fermeture du couvert et la durée de recouvrement total du sol. Or la fraction de sol couverte par les parties aériennes est un bon indicateur de la proportion de radiations solaires interceptée par la culture.

L'efficacité d'interception des rayonnements par la culture ( $E_i$ ) qui représente le pourcentage de rayonnement incident intercepté par le couvert végétal est ainsi accrue par de fortes nutriments azotés (figure 2 a).

L'efficacité de conversion de cette énergie lumineuse en biomasse ( $E_b$ ) qui représente le pourcentage de rayonnement intercepté transformé en biomasse par le couvert végétal n'est en revanche pas sensible à une modification de disponibilité en azote (figure 2 b; la valeur de l'efficacité biologique est la pente de la relation existant entre la biomasse totale et la somme de rayonnements interceptés).

**Figure 2: Effets de l'azote sur l'efficacité d'interception (a) et de conversion (b) de la lumière**

Bintje irriguée, 1994, Villers (02), sol limoneux



(a) Une dose élevée d'azote (300 kgN/ha) améliore l'efficacité d'interception (Ei) et permet de maintenir un maximum d'interception lumineuse plus longtemps. Un manque d'azote (0 kgN/ha) limite l'efficacité d'interception et induit une entrée en sénescence du couvert plus rapide.

(b) L'efficacité biologique correspond à la pente de la relation existant entre la biomasse totale et la somme de rayonnements interceptés. Celle-ci est indépendante de la dose d'azote.

■ Une augmentation de la disponibilité en azote entraîne un allongement de la durée du cycle cultural et conduit à augmenter la production de biomasse totale. Un stress azoté induit en revanche une entrée en sénescence précoce du couvert qui limite l'interception lumineuse et donc la production de biomasse totale.

## 2. Élaboration du rendement

### Rappel

Le tubercule est la justification économique de la culture de pommes de terre. La formation des tubercules ou tubérisation se déroule selon trois étapes successives : l'induction, l'initiation et la croissance radiale des tubercules (Grison, 1983).

- L'induction de la tubérisation correspond à l'acquisition de l'aptitude de la plante à tubériser ; sa conséquence visible est l'initiation des tubercules.
- L'initiation des tubercules se caractérise par l'apparition d'une croissance radiale sur le dernier entre-noeud en élancement du stolon. Elle conduit à la production d'ébauches de tubercules visibles à l'œil. Les tubercules ne sont pas tous initiés en même temps. Leur initiation débute sur la partie basale et progresse vers la partie apicale de la tige principale. Elle est vraisemblablement stoppée lorsque la totalité des assimilats nouvellement produits par le feuillage est utilisée pour la croissance des tubercules.
- La croissance précoce des ébauches de tubercules est liée aux caractéristiques des stolons (taille, diamètre). Elle se manifeste par la croissance des cellules du cœur du stolon, suivie d'une multiplication cellulaire intense et d'un retour à une phase de croissance cellulaire. Le poids final du tubercule serait atteint principalement par la croissance cellulaire.



## 2.1 Effets de la nutrition azotée sur les modalités de la tubérisation

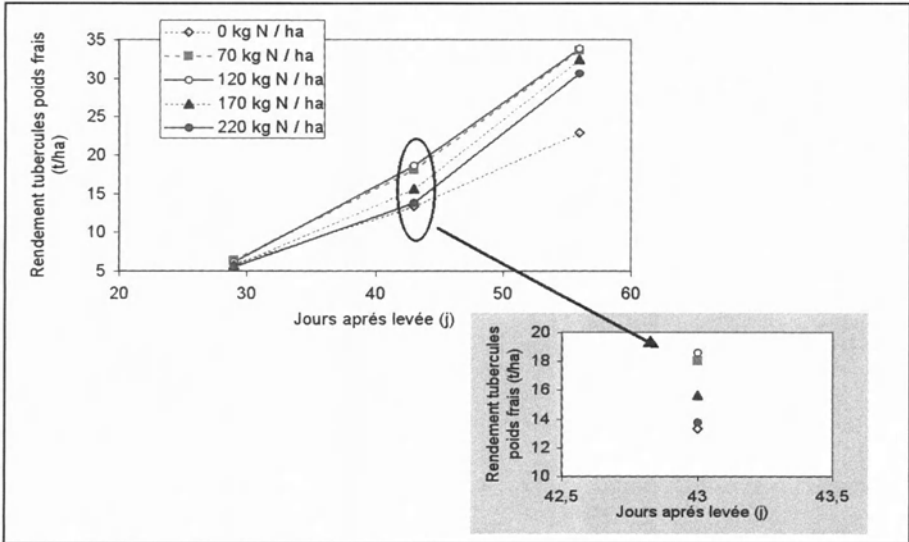
Les processus physiologiques impliqués dans les différentes étapes de la tubérisation ne sont pas encore totalement élucidés. Néanmoins, différents travaux ont montré que des apports azotés élevés en début de cycle peuvent conduire à des retards d'initiation de tubérisation accompagnés de retards de dates d'entrée en croissance rapide des tubercules (Dyson & Watson, 1971) (figure 3).

Il semble même possible d'inhiber presque totalement la tubérisation par de fortes nutrition azotées en début de cycle. Ceci a été montré notamment sur des plantes cultivées sur solution nutritive avec des photopériodes et des températures pourtant favorables à la tubérisation (Krauss, 1978, Krauss and Marschner, 1982).

La figure 3 présente la comparaison des rendements précoces d'une variété Bintje ayant reçu différentes doses d'azote à la plantation.

**Figure 3 : Effets de la fertilisation azotée sur la production précoce de tubercules**

Bintje irriguée, 1997, Boigneville (91), sol argilo-limoneux



L'entrée en croissance rapide des tubercules s'est effectuée précocement sur les parcelles fertilisées avec 70 et 120 kg N/ha.

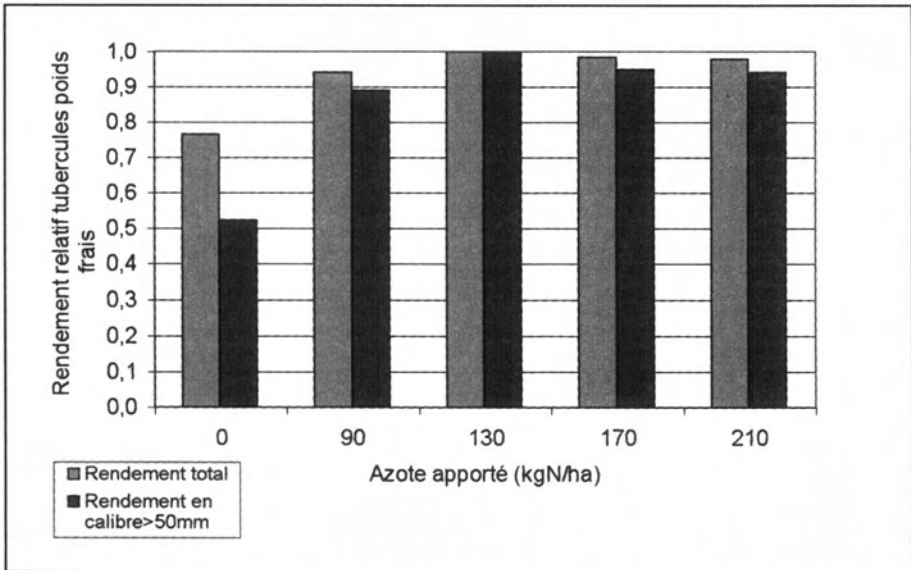
Le classement des rendements observés 43 jours après la levée s'effectue dans l'ordre inverse des apports d'azote et atteste d'une pénalisation de la croissance précoce des tubercules dans le cas de fortes disponibilités en azote comme cela a pu être le cas avec 220 kgN/ha. 43 jours après la levée, la parcelle ayant reçu 220 kgN/ha a ainsi le même rendement tubercules que le témoin sans azote.

**De fortes nutrition azotées en début de cycle s'accompagnent d'un retard de tubérisation et ont pour corollaire un retard de maturité de la culture. Ce retard de tubérisation est préjudiciable à la production si la récolte des tubercules est réalisée avant la maturité.**

En revanche, à maturité, on constate que ce sont bien de fortes disponibilités en azote qui permettent d'obtenir les rendements totaux et en tubercules de gros calibres les plus élevés (figure 4).

**Figure 4 : Effet de la nutrition azotée sur le rendement tubercules total et le rendement en gros calibres**

Bintje irriguée, 1999, Boigneville (91), sol argilo-limoneux



Rendement relatif tubercules (t/ha) : rapport entre le rendement observé avec une quelconque dose d'azote et le rendement potentiel observé hors facteur limitant azote.

A la récolte, le classement des rendements tubercules s'effectue dans le même ordre que les apports d'azote jusqu'à une dose optimale (130 kgN/ha dans cet essai). Au-delà de cette dose, on ne distingue plus de réponse du rendement total à une augmentation de la nutrition azotée. À la date de récolte de cet essai on assiste même à une pénalisation du rendement pour de fortes doses d'azote.

Le rendement en tubercules de gros calibres suit la même évolution que le rendement total vis-à-vis de la dose d'azote. La dose 130 kgN/ha correspond ainsi dans cet essai à la dose optimale pour le rendement en tubercules de gros calibres puisqu'au-delà de 130 kgN/ha aucune augmentation significative du rendement en tubercules de gros calibres n'a été notée.

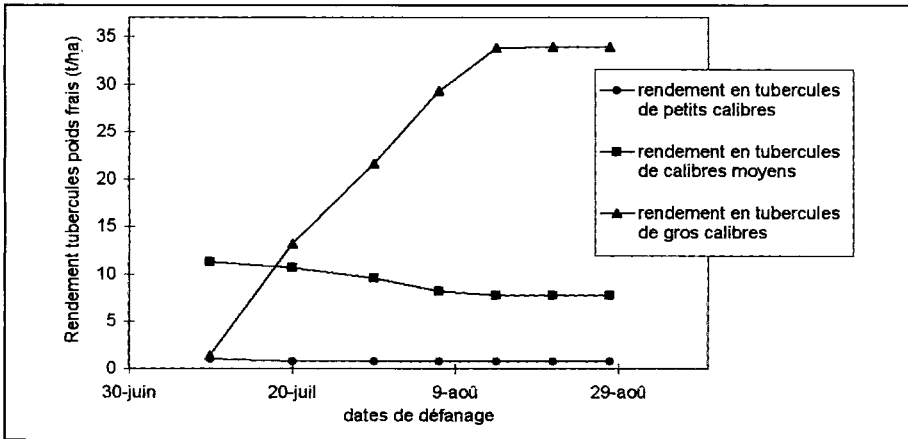
Cet effet de la nutrition azotée sur l'élaboration du rendement et notamment sur la répartition des tubercules en classes de calibres est à rapprocher de celui sur la durée du cycle de la culture (voir page 13) (figure 5).

Les rendements en gros calibres augmentent significativement en fin de cycle aux dépens des calibres moyens. L'augmentation de la durée du cycle par l'intermédiaire de forts niveaux de nutrition azotée sera ainsi favorable à la production de gros calibres de tubercules.

Ainsi, il semble que ce soit en partie par l'intermédiaire de l'allongement de la durée du cycle qu'une augmentation de la disponibilité en azote permet la production de plus gros calibres de tubercules.

**Figure 5 : Évolution du rendement dans les différentes classes de calibres en fonction de la date de défanage ou de la date de récolte en vert**

D'après Duchenne (2000, non publié)



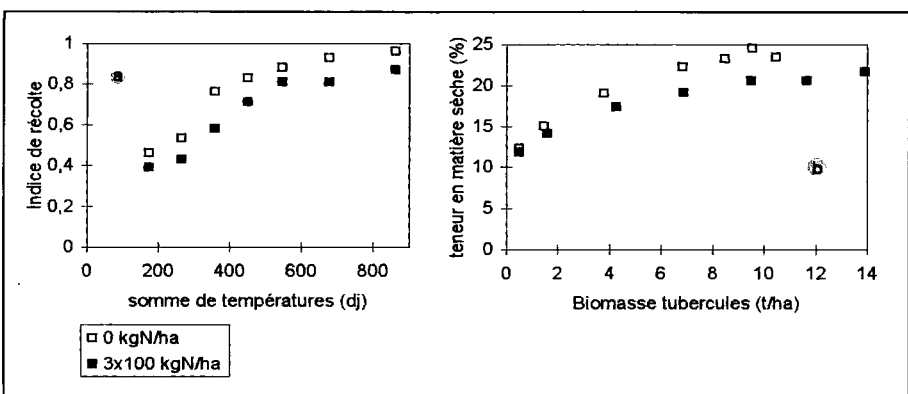
## 2.2 Effets de la nutrition azotée sur la répartition des assimilats

L'augmentation de la production de fanes, conséquence d'une forte nutrition azotée, s'accompagne d'une baisse de l'allocation de biomasse produite aux tubercules (Millard & Mac Kerron, 1986). Cela se traduit par une dégradation de l'indice de récolte (rapport entre la biomasse tubercules et la biomasse totale) (figure 6a) et une diminution de la teneur en matière sèche des tubercules (figure 6b).

Les mécanismes de régulation impliqués ne sont pas encore totalement connus.


**Figure 6 : Effets de l'azote sur l'indice de récolte (a) et la teneur en matière sèche des tubercules (b)**

Bintje irriguée, 1994, Villers (02), sol limoneux



(a) Une dose élevée d'azote (300 kgN/ha) diminue l'indice de récolte. La conséquence d'une nutrition azotée élevée est donc l'allocation d'une fraction moins importante de la biomasse totale produite aux tubercules.

(b) Pour une même biomasse de tubercules (MStu), la teneur en matière sèche (tms) diminue avec la dose d'azote.

 Dans cette première partie de chapitre, nous avons détaillé les effets de la nutrition azotée sur les principaux mécanismes impliqués dans la croissance et l'élaboration du rendement d'une culture de pommes de terre.

La nutrition azotée est ainsi un facteur déterminant de contrôle de la maturité de la culture à la récolte et en cela des rendements totaux et rendements par classes de calibres. Elle intervient également, par des mécanismes partiellement connus sur la teneur en matière sèche des tubercules. Elle joue également un rôle non développé ici sur la teneur en nitrates et en sucres réducteurs des tubercules (voir chapitre 3, pages 76-79).

En conséquence, pour atteindre une production quantitativement et qualitativement optimale, il faut maintenir un niveau de nutrition azotée de la culture de pommes de terre toujours à l'optimum des besoins de la plante, besoins définis et adaptés à chaque situation : conditions pédo-climatiques, variété, objectifs de production et conduite culturale.

L'évaluation de l'état de satisfaction des besoins en azote du peuplement est ainsi un outil indispensable pour atteindre les objectifs de production. Cette évaluation passe par la connaissance approfondie des dynamiques d'accumulation et de répartition de l'azote au cours du cycle cultural. Ces dynamiques vont être détaillées dans la deuxième partie de ce premier chapitre.