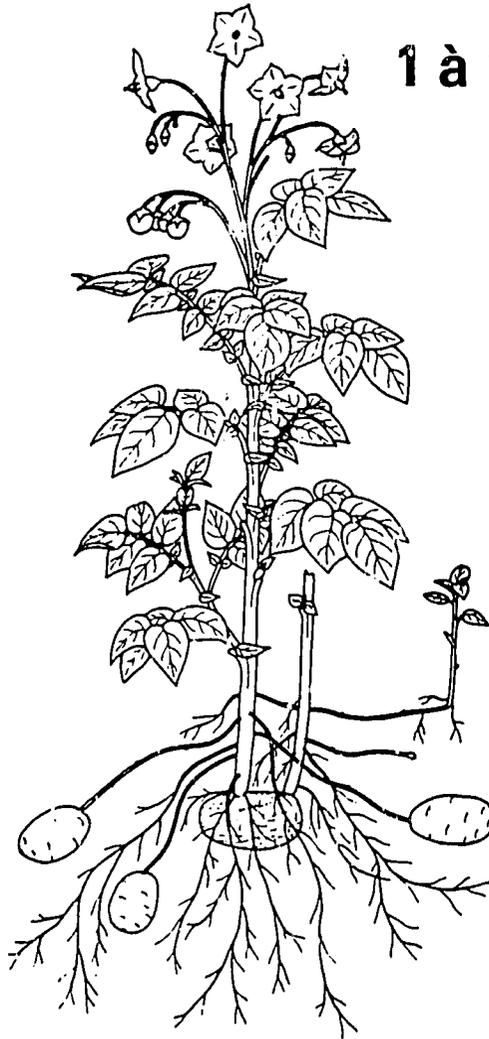


LA POMME DE TERRE

BULLETINS D'INFORMATION TECHNIQUE

1 à 19



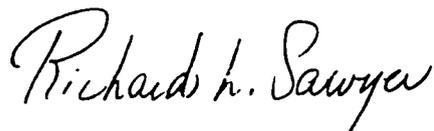
CENTRE INTERNATIONAL DE LA POMME DE TERRE (CIP)

Depuis la formation en 1972 du Centre International de la Pomme de terre (CIP) qui est l'un des Centres Internationaux de Recherche Agricole soutenus par le Groupe Consultatif pour la Recherche Agricole Internationale (GCRAI), beaucoup de chemin a été fait dans l'amélioration de la pomme de terre grâce au travail des 80 programmes nationaux répartis dans le monde entier. Comme plusieurs de ces programmes nationaux se trouvent dans des pays de l'Afrique francophone, il s'est avéré nécessaire de publier en français l'information technique du CIP.

Ce livre intitulé "La Pomme de Terre : Bulletins d'Information Technique 1 à 19", est traduit de l'anglais et il est le fruit de l'intérêt et des efforts fournis par les programmes régionaux du CIP en Afrique francophone pour rendre l'information technique simple et facilement applicable.

Les Bulletins d'Information Technique du CIP sont des publications pratiques, traitant de sujets spécifiques. Ils sont utilisés principalement comme support aux cours de production de pommes de terre. Ils peuvent aussi être utiles dans d'autres domaines, par exemple pour des cours universitaires. Le CIP encourage l'emploi de ces bulletins selon les conditions locales.

Il nous est particulièrement agréable de présenter ce livre et nous espérons que le contenu de ces 19 bulletins réunis en une seule publication sera mis en pratique pour cultiver la pomme de terre dans de nouvelles zones mais aussi pour obtenir de meilleurs rendements afin de contribuer à résoudre le problème de la faim dans le monde.



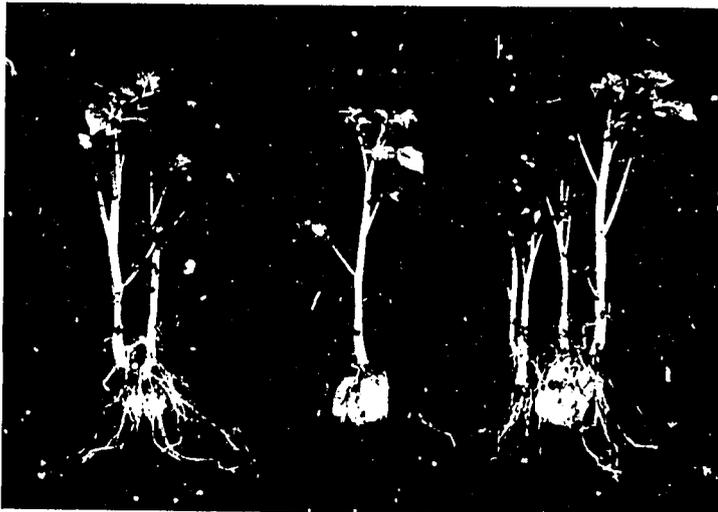
*Richard L. Sawyer
Directeur général du CIP*

TABLE DES MATIÈRES

1	INFLUENCE DE LA DENSITÉ DE TIGES SUR LA PRODUCTION DE LA POMME DE TERRE (<i>Siert G. Wiersema</i>)	page 3
2	TRANSMISSION DES VIRUS DE LA POMME DE TERRE PAR LES INSECTES (<i>K.V. Raman</i>)	page 11
3	LA TEIGNE DE LA POMME DE TERRE (<i>K.V. Raman</i>)	page 17
4	LE MILDIOU DE LA POMME DE TERRE " <i>Phytophthora infestans</i> " (<i>Jan W. Henfling</i>)	page 23
5	L'ÉPURATION DES POMMES DE TERRE (<i>Roger Cortbaoui</i>)	page 31
6	BOTANIQUE SYSTÉMATIQUE ET MORPHOLOGIE DE LA POMME DE TERRE (<i>Zósimo Huamán</i>)	page 37
7	AMÉLIORATION DU PLANT CHEZ L'AGRICULTEUR PAR LA TECHNIQUE DES PARCELLES DE PRODUCTION DE PLANTS (<i>James E. Bryan</i>)	page 45
8	NÉMATODES PARASITES DE LA POMME DE TERRE (<i>Parviz Jatala</i>)	page 49
9	NÉMATODES A KYSTE DE LA POMME DE TERRE " <i>Globodera spp</i> " (<i>Javier Franco</i>)	page 57
10	ÉVALUATION DE LA RÉSISTANCE AUX NÉMATODES A KYSTE DE LA POMME DE TERRE (<i>Maria Mayer de Scurrah</i>)	page 65
11	LA PLANTATION DE LA POMME DE TERRE (<i>Roger Cortbaoui</i>)	page 71
12	LA SÉLECTION CLONALE DANS LA PRODUCTION DE PLANTS DE POMMES DE TERRE (<i>James E. Bryan</i>)	page 77
13	LA BACTÉRIOSE VASCULAIRE DE LA POMME DE TERRE " <i>Pseudomonas solanacearum</i> " (<i>Carlos Martin</i>)	page 83
14	LA FERTILITÉ DU SOL ET SES EXIGENCES DANS LA PRODUCTION DE LA POMME DE TERRE (<i>Peter Vander Zaag</i>)	page 89
15	LA GESTION DE L'EAU DANS LA PRODUCTION DE LA POMME DE TERRE (<i>Anton J. Haverkort</i>)	page 97
16	L'ANALYSE DU BUDGET PARTIEL POUR L'APPLICATION DE LA RECHERCHE SUR LA POMME DE TERRE CHEZ L'AGRICULTEUR (<i>Douglas Horton</i>)	page 107
17	L'ALTERNARIOSE DE LA POMME DE TERRE " <i>Alternaria solani</i> " (<i>Rainer Zachmann</i>)	page 115
18	LA DÉTECTION DES VIRUS DANS LA PRODUCTION DE PLANTS DE POMMES DE TERRE (<i>Luis F. Salazar</i>)	page 123
19	LES VIROSES DE LA POMME DE TERRE (<i>William J. Hooker</i>)	page 129

INFLUENCE DE LA DENSITÉ DE TIGES SUR LA PRODUCTION DE LA POMME DE TERRE

Siert G. Wiersema



Plants produisant différents nombres de tiges

INFLUENCE DE LA DENSITÉ DE TIGES SUR LA PRODUCTION DE LA POMME DE TERRE

Objectifs : L'étude de ce bulletin devrait vous permettre de :

- définir ce qu'est la densité de tiges,
- décrire les effets de la densité de tiges,
- calculer la densité de tiges,
- dresser la liste des facteurs influençant la densité de tiges,
- discuter la densité de tiges optimale,
- calculer l'écartement entre les plants et leur quantité.

Matériel didactique :

- Des plantes de pomme de terre afin d'observer un nombre variable de tiges.
- Des parcelles de démonstration présentant différentes densités de tiges dues à un écartement et un calibre de plants différents.

Travaux pratiques :

- Compter et calculer les densités de tiges dans un champ pendant la croissance de la culture et à la récolte. Comparer les différentes densités de tiges en relation avec le rendement, le calibre des tubercules et le taux de multiplication pour différentes variétés.
- Calculer l'écartement et la quantité de plants nécessaires pour la production de plants de pomme de terre et de pommes de terre de consommation.

QUESTIONNAIRE

- 1 Quels sont les deux composants de la densité d'une culture de pommes de terre ?
- 2 Pourquoi le terme "densité de tiges" décrit-il mieux que "densité de plantes" une culture de pommes de terre ?
- 3 Comment exprime-t-on habituellement la densité de tiges ?
- 4 Comment la densité de tiges influence-t-elle le rendement total, le calibre des tubercules et le taux de multiplication ? Discutez et tirez les conclusions générales.
- 5 Comment pouvez-vous déterminer la densité de tiges dans une culture en croissance ?
- 6 Comment calculeriez-vous l'exemple de la section 4 en supposant un écartement de 100 cm entre les rangs ?
- 7 Comment des dégâts mineurs ou importants occasionnés aux germes peuvent-ils influencer le nombre de tiges en croissance ?
- 8 Comment l'étalement du lit de semences influence-t-il la densité de tiges ?
- 9 Quel est le rapport entre l'âge physiologique des plants et le nombre de germes ?
- 10 Quel est le rapport entre les conditions de production d'un champ ou du milieu et la densité optimale de tiges ?
- 11 Quelle est la différence entre la production de plants et la production de pommes de terre de consommation en ce qui concerne la densité optimale de tiges ?
- 12 Pourquoi la densité de tiges pour la production de plants certifiés doit-elle être plus élevée que pour les plants de base ?
- 13 Quel est le meilleur moyen pour déterminer la densité optimale de tiges ?
- 14 Supposons que la densité optimale de tiges soit de 30 tiges/m² et l'écartement entre les rangs de 75 cm. Les autres hypothèses de l'exemple de la section 6 restent identiques. Montrez comment calculer l'écartement entre les plants et leur quantité nécessaire.

INFLUENCE DE LA DENSITÉ DE TIGES SUR LA PRODUCTION DE LA POMME DE TERRE

- 1 Définition
- 2 Influence de la densité de tiges
- 3 Calcul de la densité de tiges
- 4 Facteurs influençant la densité de tiges
- 5 Densité optimale de tiges
- 6 Exemple
- 7 Bibliographie

Un facteur agronomique important dans la production de pommes de terre est le nombre ou la densité de tiges disponibles pour produire des tubercules. Ce facteur influence le rendement total, le calibre des tubercules et le taux de multiplication. Il existe un rapport direct entre bénéfiques et rendement total. De plus le calibre des tubercules est important pour répondre aux exigences du marché. Certains marchés exigent de gros tubercules (pommes de terre de consommation, traitement industriel), d'autres marchés ont besoin de plus petits tubercules (pommes de terre de semence). Le taux de multiplication représente le nombre de tubercules produits par chaque plante. C'est un facteur important dans la production de plants.

1 DÉFINITION

Traditionnellement, la densité d'une culture indique le nombre de plantes par unité de surface. Cependant, chaque plante de pommes de terre qui pousse à partir d'un tubercule se compose d'un certain nombre de tiges. Chaque tige forme des racines, des stolons et des tubercules; elle pousse et se comporte comme une plante indépendante.

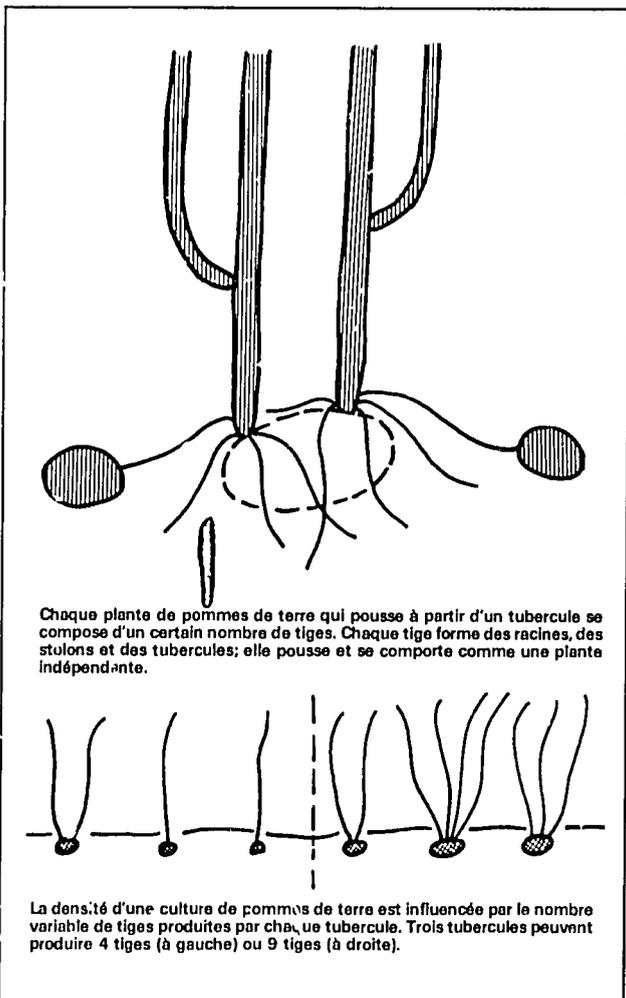
Par conséquent, en parlant de densité d'une culture de pommes de terre on considère deux éléments. Le premier est déterminé par le nombre de plantes de pommes de terre et on parle traditionnellement de "densité de plantes". Le second élément est déterminé par le nombre de tiges par plante. Donc la densité de culture réelle pour la pomme de terre est en fait la "densité de plantes" multipliée par le nombre de tiges par plante.

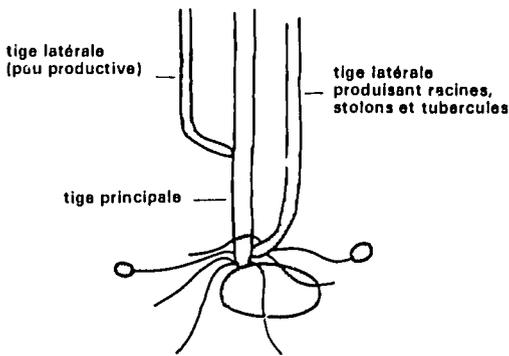
Dans cette publication, nous employons le terme **densité de tiges** qui comprend les deux éléments et décrit mieux une culture de pommes de terre que le terme traditionnel "densité de plantes".

La densité de tiges représente le nombre de tiges principales (ou tiges aériennes) par unité de surface. On l'exprime habituellement de la manière suivante :

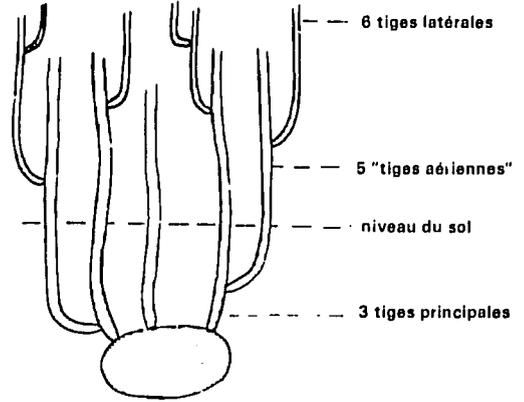
tiges principales par mètre carré
ou
tiges aériennes par mètre carré

Une tige principale pousse directement à partir du tubercule-mère. Les tiges latérales se ramifiant au dessus du sol à partir des tiges principales sont en général moins productives et ne sont pas prises en considération lors de la détermination de la densité des tiges. Cependant lorsque les tiges latérales se ramifient dans le sol près du tubercule-mère, elles peuvent former racines, stolons et tubercules comme c'est le cas pour les tiges principales. Ces tiges latérales peuvent être aussi productives que les tiges principales. Les tiges principales et les tiges latérales se ramifiant à partir des tiges principales dans le sol sont toutes appelées tiges "aériennes".





Une tige principale pousse directement à partir du tubercule-mère. Les tiges latérales se ramifient à partir des tiges principales sont généralement moins productives et ne sont pas prises en considération lors de la détermination de la densité de tiges, sauf dans le cas où ces tiges latérales se ramifient dans le sol près du tubercule-mère et qu'elles forment des racines, des stolons et des tubercules, comme c'est le cas pour les tiges principales.



Les "tiges aériennes" prises en considération pour la détermination de la densité de tiges se composent de tiges principales et de tiges latérales se ramifiant près du tubercule-mère. Une plante de pommes de terre peut se composer de 3 tiges principales, 5 tiges aériennes productives et 6 tiges latérales peu productives.

2 INFLUENCE DE LA DENSITÉ DE TIGES

La densité de tiges a une influence sur le rendement. Celui-ci est déterminé par le nombre et le calibre des tubercules. La densité de tiges a aussi une influence sur le taux de multiplication.

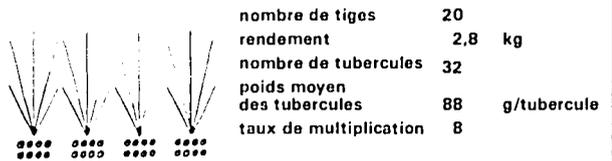
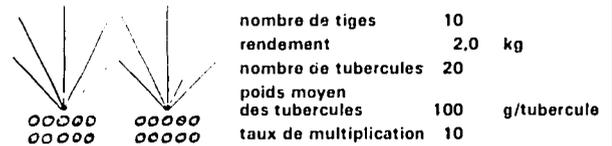
Nombre de tubercules. Le nombre de tubercules qui vont se développer dépend de la compétition entre les tiges. Il y a moins de compétition entre les tiges si la densité de tiges est faible. La conséquence en est un plus grand nombre de tubercules par tige mais un nombre de tubercules par unité de surface plus réduit. Lorsque la densité de tiges augmente, le nombre de tubercules par tige diminue, mais généralement le nombre de tubercules par unité de surface augmente.

Calibre des tubercules. Le calibre des tubercules est influencé par les réserves en éléments nutritifs adéquats, ainsi que par l'humidité du sol et la lumière. Le calibre des tubercules peut être limité par la compétition entre les tiges pour ces facteurs de croissance. Si la densité de tiges est élevée, les tubercules produits seront plus petits que si elle est faible.

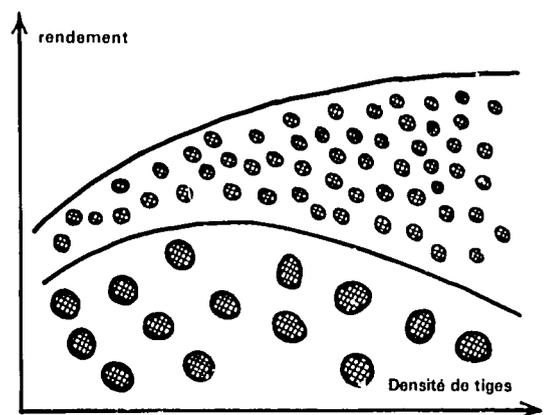
Taux de multiplication. Le taux de multiplication représente le rendement en tubercules utilisables produits à partir d'un tubercule-mère au cours d'une saison. Lorsque la densité de tiges augmente, le nombre de tubercules produit par semence est plus faible, ce qui équivaut à une réduction du taux de multiplication.

Voici quelques conclusions générales :

- une densité de tiges élevée tend à augmenter le rendement jusqu'à un certain point;
- une densité de tiges élevée réduit le calibre moyen des tubercules;
- une densité de tiges élevée diminue le taux de multiplication.



Doubler le nombre de tiges (densité de tiges) ne signifie pas nécessairement doubler le rendement. Le nombre de tubercules augmente plus que le rendement, ce qui entraîne un calibre (poids) des tubercules moins élevé. Pour une densité de tiges élevée, il y a moins de tubercules qui sont produits par tige. Donc, le taux de multiplication diminue avec l'augmentation de la densité de tiges.



Une densité de tiges élevée tend à augmenter le rendement jusqu'à un certain point et à diminuer le calibre moyen des tubercules (augmentation de la proportion des petits tubercules).

3 CALCUL DE LA DENSITÉ DE TIGES

La détermination de la densité de tiges peut être plus précise au moment de la récolte lorsqu'il est plus facile de séparer les tiges principales des tiges latérales. Cependant la détermination de la densité de tiges est plus pratique dans une culture en croissance. Pour déterminer la densité de tiges dans une culture en croissance, il faut compter le nombre de tiges aériennes.

Pour calculer la densité de tiges, que ce soit au moment de la récolte ou dans une culture en croissance, il faut d'abord compter le nombre de tiges principales ou de tiges aériennes sur 10 mètres de rangs en plusieurs endroits du champ choisis au hasard. Ensuite on obtient le nombre de tiges par mètre carré par la formule suivante :

$$\text{Densité de tiges} = \frac{\text{nombre total de tiges}}{\text{longueur totale des rangs} \times \text{écartement entre les rangs}}$$

Exemple :

nombre total de tiges à 4			
endroits choisis au hasard	= 135 + 140 + 160 + 135	= 600	tiges
longueur totale des rangs	= 4 x 10 m	= 40	m
écartement entre les rangs	=	0,75	m
<u>densité de tiges</u>	= $\frac{600 \text{ tiges}}{40 \text{ m} \times 0,75 \text{ m}}$	= 20	tiges/m ²

4 FACTEURS INFLUENÇANT LA DENSITÉ DE TIGES

La densité de tiges est déterminée par le nombre de germes qui vont émerger, survivre et se développer en une tige.

Le nombre de tiges en croissance dépend :

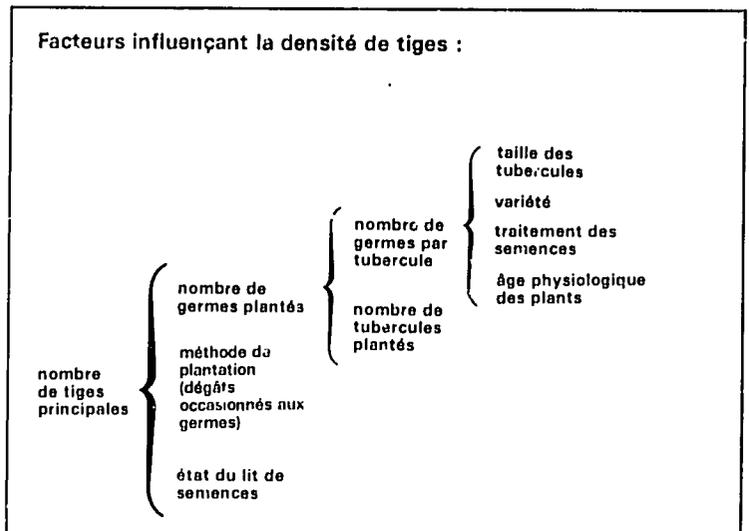
- du **nombre de germes plantés** (voir le paragraphe suivant).
- de la **méthode de plantation** : des dégâts peu importants occasionnés aux germes pendant la plantation réduisent le nombre de tiges en croissance. Des dégâts importants peuvent provoquer la formation de germes nouveaux et plus nombreux, surtout si le tubercule-mère est vigoureux. Ce phénomène entraîne souvent une levée non uni-forme.
- de l'**état du lit de semences** : pour obtenir une bonne levée, le sol doit être humide et dépourvu de mottes de terre. Un lit de semences sec et mottuleux diminue la densité de tiges

Le nombre de germes plantés dépend :

- du **nombre de germes par tubercule-mère** (voir le paragraphe suivant).
- du **nombre de tubercules plantés**.

Le nombre de germes par tubercule dépend :

- de la **taille des tubercules** : de gros tubercules ont plus de germes.
- de la **variété** : certaines variétés développent de façon caractéristique plus de germes que d'autres.
- du **traitement de la semence** : l'histoire du tubercule avant la plantation (c'est-à-dire le stockage, l'égermage, le fractionnement et la prégermination) influence le nombre de germes. Les conditions de stockage qui ont pour conséquence la dominance apicale limitent le nombre de germes par tubercule. L'égermage et le fractionnement de tubercules vigoureux augmentent souvent le nombre de germes. La prégermination sous lumière diffuse favorise l'obtention de germes bien développés et fermes, limitant ainsi les dégâts occasionnés aux germes pendant la plantation.
- de l'**âge physiologique du plant** : des plants physiologiquement plus âgés développent plus de germes que des plants physiologiquement jeunes. Lorsque le plant est trop âgé, les germes deviennent trop faibles pour obtenir une levée correcte.



5 DENSITÉ OPTIMALE DE TIGES

La meilleure densité de tiges dépend :

- du milieu,
- du but de la culture,
- de la variété utilisée.

Le milieu. On ne peut pas obtenir autant de tiges en cas de conditions de production faible (dues à des facteurs tels qu'une intensité lumineuse faible, une fertilité du sol faible, une humidité du sol défavorable et une mauvaise structure du sol) qu'en cas de conditions de production élevée. Pour obtenir des tubercules de la même taille, la densité de tiges en cas de mauvaises conditions de production doit être plus faible qu'en cas de conditions de production favorables. Une densité de tiges élevée en cas de mauvaises conditions de production ne peut que diminuer le poids des tubercules plutôt qu'augmenter le rendement.

Le but de la culture. A l'opposé de la production de pommes de terre de consommation, la production de plants de pommes de terre demande un calibre de tubercules plus faible. C'est pourquoi on emploie une densité de tiges plus élevée dans la production de plants que dans la production de pommes de terre de consommation. En Hollande par exemple, on recommande une densité d'au moins 30 tiges principales par mètre carré pour la production de plants et seulement 20 à 25 tiges par mètre carré pour les pommes de terre de consommation.

Il y a deux catégories principales de plants. Un groupe de grande qualité appelé "plants de base" est multiplié ensuite au cours de périodes de croissance successives pour obtenir des "plants certifiés". Les plants certifiés peuvent ensuite être plantés par l'agriculteur pour la production de pommes de terre de consommation. Chaque multiplication successive de plants augmente le taux des maladies transmises par le tubercule. Dans la production de plants de base, l'état sanitaire est plus important qu'un calibre déterminé du tubercule. C'est pourquoi, afin de réduire le nombre de multiplications successives, la production de plants de base vise un taux de multiplication élevé qui est favorisé par une faible densité de tiges.

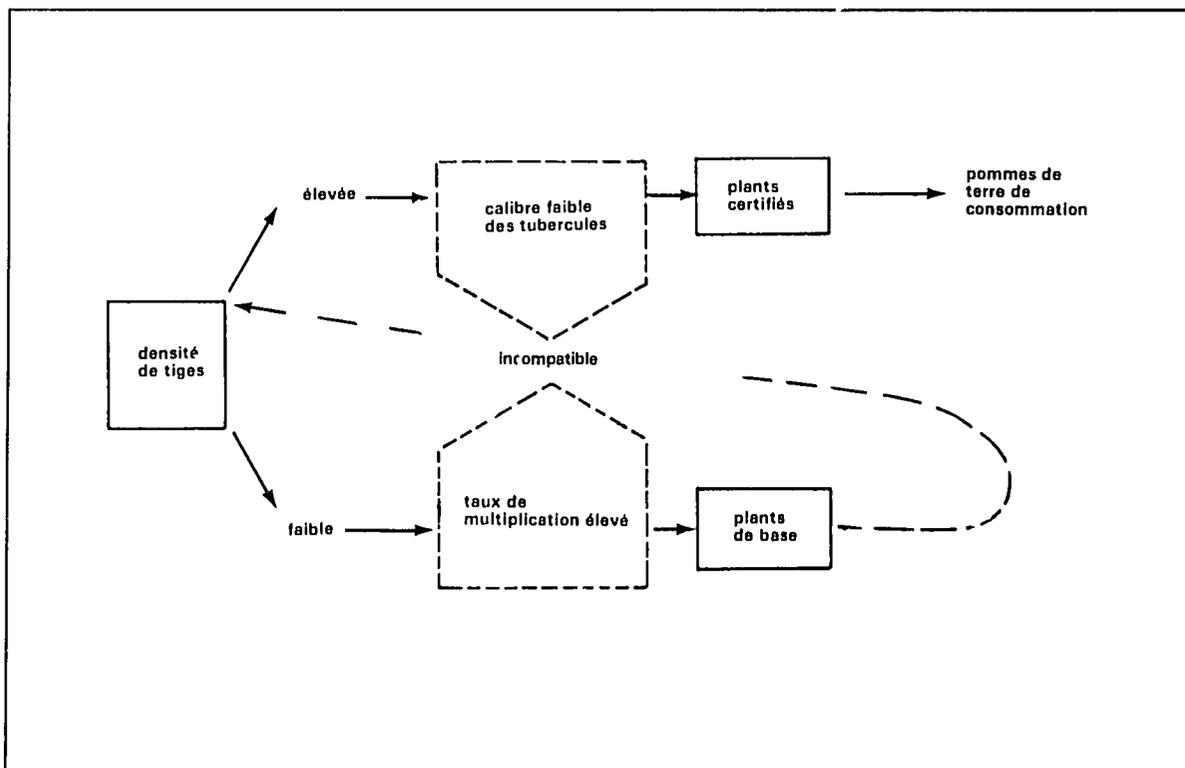
Bien que l'état sanitaire soit important dans la production de plants certifiés, la priorité va aux plants de faible calibre étant donné que les marchés de plants exigent de petits tubercules. Donc la densité de tiges doit être plus élevée pour la production de plants certifiés.

Note : Un taux de multiplication élevé n'est pas compatible avec un faible calibre des tubercules. Un taux de multiplication élevé est favorisé par une densité de tiges faible; un calibre faible des tubercules est favorisé par une densité de tiges élevée. Ceci implique que :

- la densité de tiges doit être faible quand la priorité est un taux de multiplication élevé, et,
- la densité de tiges doit être élevée quand la priorité vise un calibre faible des tubercules.

Variété. Les variétés à fort développement végétatif (telles que certaines variétés andigènes ou tardives) peuvent avoir une densité optimale de tiges plus faible que les variétés à développement végétatif modéré.

La meilleure façon de déterminer la densité optimale de tiges pour une zone spécifique est de faire des essais avec différents écartements et différents calibres de plants en utilisant les variétés habituellement plantées dans cette zone.



NOTES

TRANSMISSION DES VIRUS DE LA POMME DE TERRE PAR LES INSECTES

K.V. Raman



Myzus persicae - Sublet - Ann. av. al., 21

Myzus persicae (x 21)

TRANSMISSION DES VIRUS DE LA POMME DE TERRE PAR LES INSECTES

Objectifs : L'étude de ce bulletin devrait vous permettre :

- de décrire les principes de transmission de virus,
- de nommer les principaux insectes vecteurs,
- de nommer les pucerons vecteurs les plus importants,
- d'expliquer brièvement la biologie des pucerons,
- de dresser la liste des conditions favorables à une infestation de pucerons et, par conséquent, à une dissémination des virus dans les champs,
- de mener à bien des méthodes d'observation des populations de pucerons,
- de lutter contre les vecteurs dans les champs de plants de pommes de terre.

Matériel didactique :

- Pomme de terre virosée et infestée de pucerons.
- Ensemble de diapositives.
- Piège jaune à pucerons.
- Questionnaire.

Travaux pratiques :

- Identifier des plantes contaminées par virus au champ.
- Installer un piège jaune à pucerons et compter quelques jours plus tard le nombre de pucerons capturés.
- Compter le nombre de pucerons sur les feuilles et plantes.

QUESTIONNAIRE

- 1 Pourquoi la lutte contre les insectes vecteurs est-elle importante dans la production de plants de pommes de terre ?
- 2 Décrivez la transmission de virus persistants et non-persistants.
- 3 Quel est le virus non-persistant le plus important transmissible à la pomme de terre ?
- 4 Quel virus de la pomme de terre est transmissible de manière persistante ?
- 5 Quels sont les plus importants insectes vecteurs de virus ?
- 6 Quelle est la plus importante espèce de pucerons vectrice de virus ?
- 7 Expliquez brièvement la biologie des pucerons.
- 8 Dressez la liste des facteurs favorisant une infestation de pucerons.
- 9 Décrivez la méthode de capture des pucerons.
- 10 Pourquoi doit-on utiliser la couleur jaune pour les pièges à pucerons ?
- 11 Pourquoi est-il utile d'ajouter du détergent dans l'eau du piège ?
- 12 En cas de pluie et d'irrigation par aspersion comment peut-on éviter la perte des pucerons hors du piège à eau ?
- 13 Décrivez les méthodes d'observation des pucerons par comptage sur des feuilles et par comptage sur des plantes et discutez leurs avantages et désavantages.
- 14 Comment peuvent être utilisées les données des observations ?
- 15 Comment peut-on déterminer les seuils critiques d'une population de pucerons ?
- 16 Quelles sont les zones les plus appropriées pour la production de plants en tenant compte de la lutte contre les pucerons ?
- 17 Comment peut-on lutter contre la transmission de virus par les pucerons sur tubercules germés en stockage ?
- 18 Nommez d'autres sources d'infection.
- 19 Pourquoi l'épuration des plantes malades est-elle essentielle pour empêcher l'extension des virus ?
- 20 Discutez les différences de mécanismes agissant lors de la lutte chimique contre la transmission des virus selon qu'ils sont persistants ou non-persistants.
- 21 Discutez de l'efficacité de la lutte chimique contre la contamination des virus d'origine extérieure au champ.

TRANSMISSION DES VIRUS DE LA POMME DE TERRE PAR LES INSECTES

- 1 Principes de la transmission des virus
- 2 Principaux insectes vecteurs
- 3 Transmission des virus par les pucerons
- 4 Biologie des pucerons
- 5 Facteurs favorisant l'infestation de pucerons
- 6 Observation des populations de pucerons
- 7 Lutte contre la dissémination des virus
- 8 Bibliographie

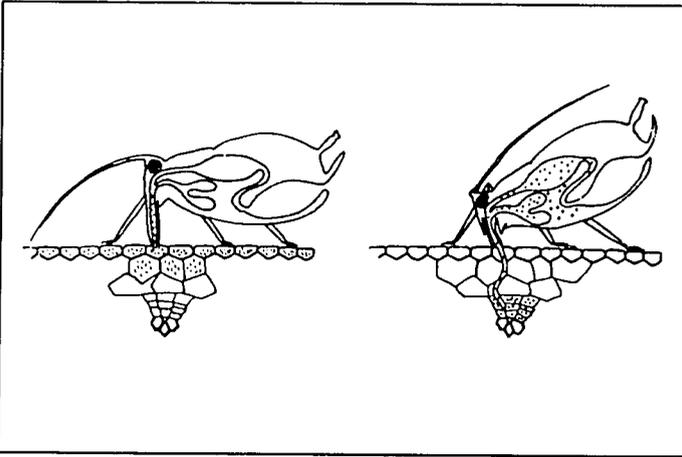
Les rendements de pommes de terre sont réduits par différentes viroses. Sans compter les autres modes de transmission, plusieurs virus importants de la pomme de terre sont transmis par les insectes. Il est important de connaître les principes de transmission et de lutte efficace contre les insectes vecteurs, surtout pour la production de plants de pommes de terre.

1 PRINCIPES DE LA TRANSMISSION DES VIRUS

En dehors de la transmission mécanique par contact (et par d'autres moyens tels que les champignons et les nématodes) beaucoup de virus sont disséminés par des insectes vecteurs selon deux manières :

- la transmission de virus non-persistants,
- la transmission de virus persistants.

La transmission d'un virus **non-persistant** intervient lorsque l'insecte vecteur acquiert puis inocule des particules virales au moyen de ses pièces buccales (stylets) durant de courtes périodes pendant lesquelles l'insecte pique la plante et s'y alimente. La transmission peut ne prendre que quelques secondes ou quelques minutes. Le virus ne nécessite pas une période d'incubation dans l'insecte vecteur. Les pucerons restent infectieux pendant un maximum de deux heures. Les virus transmis de cette manière sont les virus Y, A, M (PVY, PVA, PVM); de la pomme de terre et certaines souches du virus S de la pomme de terre (PVS); le plus important étant le PVY.



Par contre, la transmission d'un virus **persistant** peut prendre de 20 à 30 minutes, temps nécessaire à l'insecte pour s'alimenter et acquérir le virus. Avant qu'il ne soit inoculé à une autre plante, il faut plusieurs heures pour que le virus circule à l'intérieur du corps de l'insecte. L'insecte vecteur reste infectieux pendant une longue période, en général toute sa vie. Les virus persistants peuvent être disséminés sur des distances beaucoup plus grandes et pendant des périodes beaucoup plus longues que les virus non-persistants. Le virus le plus important des virus de la pomme de terre transmis de cette façon est le virus de l'enroulement (PLRV).

Transmission d'un virus non-persistant (à gauche). Un vecteur acquiert puis inocule des particules virales avec son organe buccal (stylet) pendant un temps limité. Transmission d'un virus persistant (à droite). Le virus circule à l'intérieur du corps du vecteur avant de devenir infectieux.

2 PRINCIPAUX INSECTES VECTEURS

En général les virus peuvent être transmis par les insectes suivants :

Parmi ces insectes, les pucerons sont les vecteurs de la pomme de terre les plus importants. C'est pourquoi nous concentrerons notre propos sur cet insecte. Cependant, les principes décrits s'appliquent aussi aux autres insectes vecteurs.

NOM COMMUN	FAMILLE	ORDRE
Pucerons	Aphididae	Homoptera
Cicadelles	Cicadellidae	Homoptera
Aleurodes	Aleyrodidae	Homoptera
Cochenilles farineuses	Coccidae	Homoptera
Thrips	Thripidae	Thysanoptera
Mouches mineuses	Agromizidae	Diptera
Altises	Chrysomelidae	Coleoptera

3 TRANSMISSION DES VIRUS PAR LES PUCERONS

Plusieurs espèces de pucerons de la pomme de terre attaquent le feuillage et transmettent des virus :

Myzus persicae

Macrosiphum euphorbiae

Aphis gossypii

Aulacorthum solani

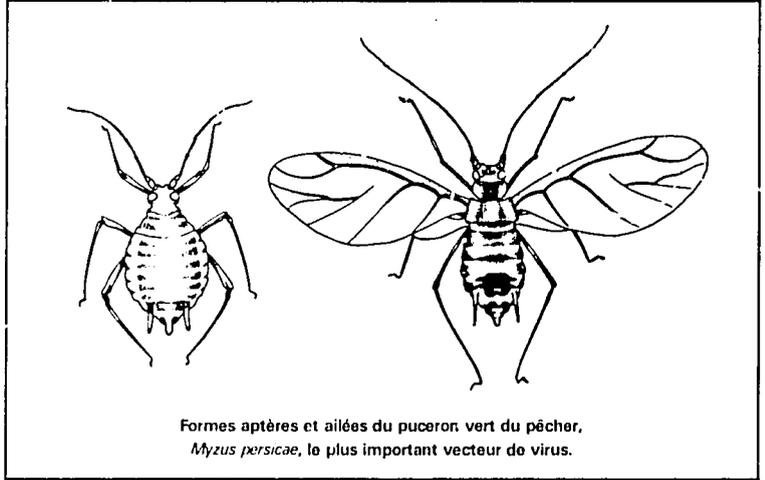
- puceron vert du pêcher
- puceron rose et vert de la pomme de terre
- puceron du coton
- puceron strié de la digitale

Myzus persicae attaque en général les feuilles inférieures des plantes de pommes de terre. Sa taille est de 2 à 2,5 mm. La couleur des formes ailées et des formes aptères varie du vert clair au brun. Durant la majeure partie de leur vie, les aptères varient du vert clair au vert foncé.

Macrosiphum euphorbiae contamine en général les feuilles de la partie supérieure de la plante. Il est plus long que le puceron vert du pêcher et mesure de 4 à 4,5 mm. Sa couleur varie du vert clair au rose avec des taches ou bandes vertes.

Les autres espèces s'alimentent sur différentes parties de la plante et ne sont pas aussi largement répandues dans le monde que le puceron vert du pêcher et que le puceron vert et rose de la pomme de terre.

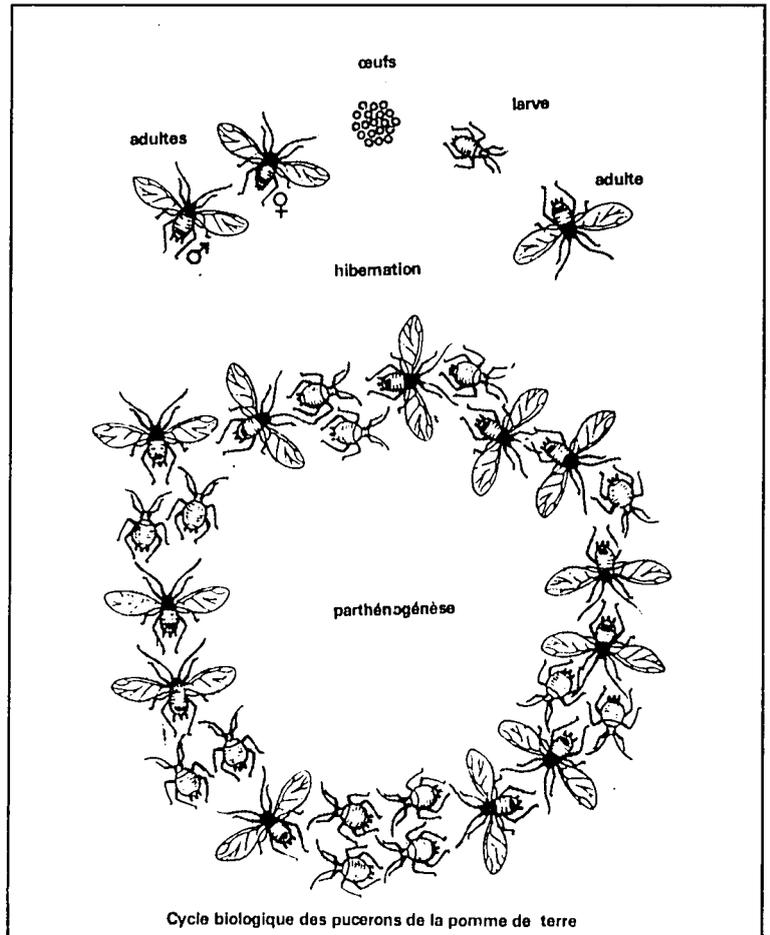
Parmi ces quatre espèces de pucerons, *M. persicae* est le vecteur de virus le plus important. Cette espèce est cosmopolite et transmet une centaine de virus différents à beaucoup de cultures. Les plus importants virus de la pomme de terre transmis par *M. persicae* sont le PLRV et le PVY.



4 BIOLOGIE DES PUCERONS

Dans les zones tempérées, beaucoup d'espèces de pucerons passent l'hiver sous la forme d'œuf, de forme larvaire ou d'adulte sur une plante-hôte d'espèce différente de celle qu'ils colonisent habituellement. A partir de cette plante-hôte, les adultes ailés colonisent leur hôte d'été, la pomme de terre, dès qu'elle est disponible. Durant la saison de culture, les champs sont rapidement envahis par plusieurs générations reproduites à partir de pucerons asexués (parthénogénèse).

Dans les régions chaudes, les pucerons peuvent produire en permanence plusieurs générations ailées et aptères. Grâce à leur mobilité, les formes ailées se disséminent sur d'autres cultures.



5 FACTEURS FAVORISANT L'INFESTATION DE PUCERONS

Une infestation de pucerons dans une culture de pommes de terre dépend des conditions du milieu et de la croissance de la plante.

Le milieu. Des précipitations réduites et des températures élevées sont des facteurs idéaux pour la multiplication des pucerons. Les pucerons ne volent pas à des températures inférieures à 13°C. Leur développement et la transmission des virus sont plus élevés à des températures supérieures à 25°C. Leur activité augmente jusqu'à environ 30°C. Les vents faibles (moins de 1 km à l'heure) sont favorables à leur alimentation et leur développement et les vents plus forts les déplacent sur de longues distances. Une culture à haute densité favorise le déplacement de plante en plante.

Etat hydrique de la plante. La sécheresse augmente la concentration des solutés dans la sève de la plante, ce qui est favorable au développement du puceron vecteur.

Nutrition de la plante. Des changements dans la composition de la sève de la plante dus à une carence ou à un excès en azote ou en potassium peuvent favoriser une infestation accrue de pucerons.

Age des tissus de la plante. La composition des feuilles de la plante change au cours de la croissance. *M. persicae* préfère les feuilles inférieures qui sont déjà arrivées à maturité. D'autres pucerons, tels que *M. euphorbiae*, préfèrent les jeunes feuilles.

Couleur des tissus de la plante. Les insectes sont généralement attirés par les couleurs jaunes. Les plantes de pommes de terre présentant un aspect jaune dû à des maladies ou à des carences peuvent être plus fortement colonisées par les pucerons. Les pucerons sont aussi attirés par la floraison jaune des mauvaises herbes ou d'autres plantes-hôtes à l'intérieur ou autour du champ de pommes de terre.

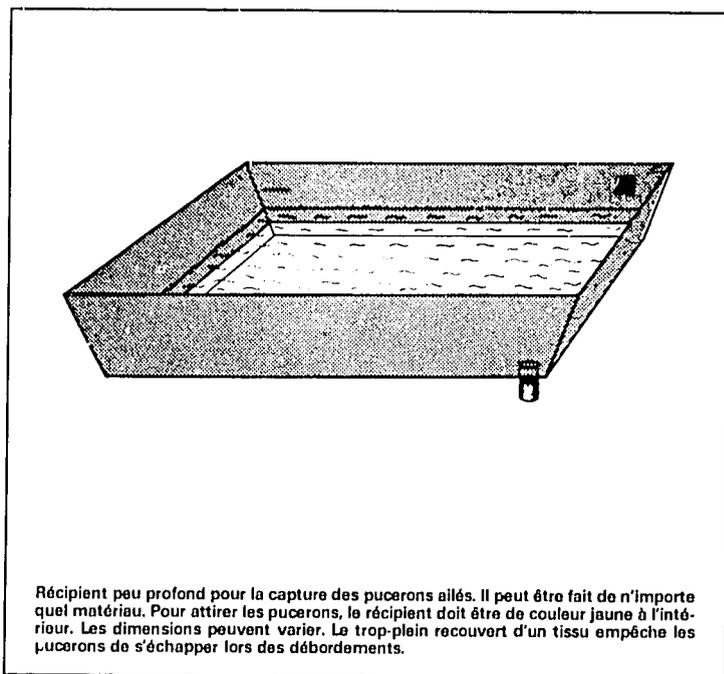
6 OBSERVATION DES POPULATIONS DE PUCERONS

Il est important de connaître la dynamique des populations de pucerons pour décider de l'opportunité, de l'époque et de la manière de cultiver et de protéger les cultures de plants de pommes de terre. Les méthodes les plus employées sont les suivantes :

- la capture par piège
- le comptage sur feuilles
- le comptage sur plantes

Capture par piège. Les pièges sont des récipients peu profonds et de couleur jaune à l'intérieur. Ils sont placés en plusieurs endroits en bordure du champ sur un fond sombre (nu). Il faut surélever les pièges de 20 à 25 cm, de telle façon qu'ils dépassent les mauvaises herbes. Il est préférable de mettre les pièges en place de 10 à 15 jours avant la plantation et de les remplir d'eau propre jusqu'à 2 cm du bord. Quelques gouttes de détergent peuvent favoriser l'humidification des ailes des insectes et par conséquent les empêchent de s'envoler. En cas d'irrigation par aspersion et lors de pluies, il faut empêcher le débordement du piège en aménageant un petit trop-plein à 2 cm du bord. Il faut recouvrir le trou d'un tissu de mousseline ou d'une matière similaire pour empêcher la perte des pucerons, puis il faut examiner et nettoyer les pièges deux fois par semaine.

Les pièges attirent tous les insectes qui ont une prédilection pour la couleur jaune et pour l'eau, y compris les pucerons qui transmettent des virus. La capture signale une migration de pucerons ailés bien avant qu'ils ne puissent être détectés visuellement dans le champ. Souvent la seule information désirée est le début de la migration.



Récipient peu profond pour la capture des pucerons ailés. Il peut être fait de n'importe quel matériau. Pour attirer les pucerons, le récipient doit être de couleur jaune à l'intérieur. Les dimensions peuvent varier. Le trop-plein recouvert d'un tissu empêche les pucerons de s'échapper lors des débordements.

Comptage sur feuilles. Prélever quatre feuilles complètement développées sur chacune des 25 plantes choisies au hasard, à raison de deux feuilles de la moitié inférieure et de deux feuilles de la moitié supérieure de chaque plante. Il faut noter le nombre de pucerons à la surface inférieure de la totalité des 100 feuilles. Les comptages sur feuilles révèlent le début du développement de la population de pucerons (au stade aptère) dans un champ. Ils ne donnent aucune indication sur la population totale par plante.

Comptage sur plantes. Prendre au hasard des plantes entières, les secouer au-dessus d'un plateau et compter ou estimer le nombre de pucerons par plante. Par cette méthode, la plus grande partie de la population peut être dénombrée. Les chiffres font référence à des densités de population au stade aptère. On ne peut guère se fier à ce système pour l'estimation des pucerons ailés, vu que la plupart d'entre eux se seront échappés dès que la plante aura été déplacée.

7 LUTTE CONTRE LA DISSÉMINATION DES VIRUS

La lutte contre la transmission par les vecteurs est importante, étant donné qu'il n'est pas possible de lutter de manière directe contre les virus.

Surveillance. La surveillance des pucerons vecteurs comme indiqué dans la section 6 exige une identification attentive des pucerons. Les données des observations peuvent être employées pour :

- décider si la production de plants de pommes de terre est possible ou non,
- choisir les zones de production les plus appropriées,
- choisir les périodes de culture de la pomme de terre,
- diriger adroitement la lutte contre les vecteurs.

Les expériences locales devraient être destinées à déterminer la corrélation existant entre les comptages réels de pucerons et la dissémination des virus. Dans la plupart des cas, le seuil critique de population de pucerons est atteint lorsque :

- plus de 5 pucerons ailés sont capturés par piège au cours d'une semaine,
- plus de 20 pucerons sont dénombrés sur 100 feuilles.

Le nombre critique dans la méthode de comptage sur plante n'a pas été étudié.

Sélection des champs. Les populations de pucerons se limitent aux zones où les températures sont basses et où l'humidité relative est importante et l'exposition au vent favorable.

Ces zones sont les plus appropriées pour la production de plants. Pour éviter l'introduction de pucerons par le vent, les champs de plants doivent être isolés et situés au vent par rapport aux champs de pommes de terre commerciales et aux autres cultures-hôtes.

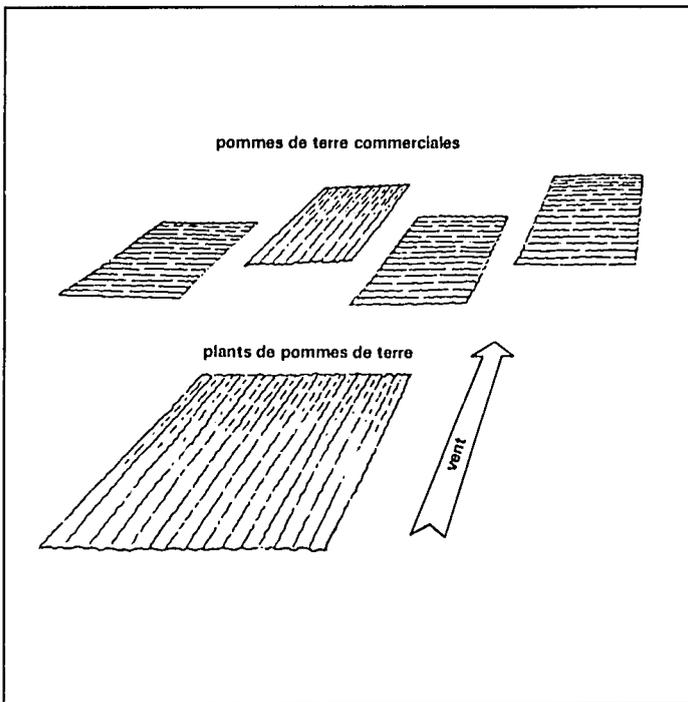
Stockage des tubercules. On lutte contre la multiplication des pucerons et la transmission de virus sur les tubercules germés par un stockage approprié et l'emploi d'insecticides.

Soins culturaux. La résistance des plants est augmentée par une irrigation et une fertilisation correctes.

Lutte contre les autres sources d'infection. Il faut essayer d'éliminer dans la mesure du possible les hôtes primaires permettant l'hivernation des pucerons. Il faut éviter les zones qui favorisent les populations de pucerons (serres, jardins privés). Il faut éliminer les mauvaises herbes à floraison jaune et les autres plantes-hôtes à l'intérieur et autour des champs de plants.

Epuration. Il est primordial d'éliminer les plantes de pommes de terre contaminées pour empêcher l'extension des virus. Ceci inclut l'élimination des repousses.

Lutte chimique. Dans tous les champs pulvérisés, les insecticides limitent le développement des populations de pucerons et la dissémination des virus. Ils sont surtout efficaces contre les virus persistants (PLRV) vu leur mode de transmission qui est plus lent. La lutte contre la contamination de virus provenant de l'extérieur du champ est plus difficile; elle dépend de la rapidité de l'effet de choc d'un insecticide. Les insecticides systémiques sont véhiculés par la sève dans toute la plante. C'est pourquoi il est préférable d'appliquer des insecticides systémiques par aspersion et par épandage de granulés dans le sol. Des recommandations sur l'emploi des insecticides devront être apportées par les experts locaux.



Pour minimiser la migration des pucerons, les champs de plants doivent être plantés au vent par rapport aux autres champs ou cultures-hôtes.

BIBLIOGRAPHIE

Bokx, J.A. de (ed). 1972 Viruses of potato and seed-potato production. Centre for Agricultural Publishing and Documentation, Wageningen, The Netherlands. pp.36-56 and pp.167-173

Byrne, D.N. and G.W. Bishop. 1979. Comparison of water trap pans and leaf counts as sampling techniques for green peach aphids on potatoes. American Potato Journal 56: 237-241

Byrne, D.N. and G.W. Bishop. 1979. Relationship of green peach aphid numbers to spread of potato leafroll virus in southern Idaho. J. Econ. Entomol. 72: 805-811

Cortbaoui, R. 1987. L'épuration des pommes de terre. Bulletin d'Information Technique 5. Centre International de la Pomme de terre, Lima, Pérou.

Washington State University. Cooperative Extension Service. 1970. The use of aphid traps in potatoes. 4 pp.

Wolf, J.P.M. van der. 1964. Virus transmission and vector control in seed potatoes. Höfchenbr. Bayer Pflanzenschutz-Nachrichten. 17: 113-184.

LA TEIGNE DE LA POMME DE TERRE

K.V. Raman



Teigne adulte sur la surface du sol (x 7)

LA TEIGNE DE LA POMME DE TERRE

Objectifs : L'étude de ce bulletin devrait vous permettre :

- de nommer les espèces de teignes de la pomme de terre avec leur distribution géographique,
- de décrire les dégâts causés par les teignes et le type de pertes qu'elles provoquent,
- d'expliquer brièvement la biologie des espèces trouvées à l'échelon mondial,
- de surveiller le développement d'une population de teignes,
- de lutter contre l'infestation de la teigne au niveau des champs et des lieux de stockage.

Matériel didactique :

- Plantes et tubercules infestés.
- Piège à la phéromone.
- Ensemble de diapositives.
- Questionnaire.

Travaux pratiques :

- Décrire les symptômes et l'étendue des dégâts dans le champ.
- Juger les conditions du champ et du milieu en relation avec les dangers d'attaques possibles par la teigne et discuter les mesures de prévention.
- Visiter un lieu de stockage de pommes de terre. Evaluer l'étendue des dégâts et discuter les possibilités de prévention.
- Monter un piège à la phéromone dans un champ ou dans un entrepôt et le contrôler quelques jours plus tard.

QUESTIONNAIRE (PTM = potato tuber moth = la teigne de la pomme de terre)

- 1 Pourquoi est-il nécessaire de connaître et de lutter contre la teigne de la pomme de terre ?
- 2 Quelle est l'importance de la teigne de la pomme de terre dans votre pays ?
- 3 Quelle est l'espèce la plus importante ? En général ? Dans votre pays ?
- 4 Pouvez-vous faire la distinction entre les différentes espèces de PTM ?
- 5 Dans quelles zones de température trouve-t-on les PTM ?
- 6 Décrivez deux modes d'attaque de la PTM sur la pomme de terre ?
- 7 Comment pouvez-vous faire la distinction entre l'activité des larves de PTM sur les tubercules et celle d'autres insectes ?
- 8 Quelle est la conséquence du stockage de tubercules infestés sans précautions adéquates ?
- 9 Donnez les quatre étapes de développement du cycle biologique des PTM.
- 10 Combien de jours dure le cycle biologique des PTM ?
- 11 Combien de générations peuvent se développer annuellement ?
- 12 Quel est le seul stade pendant lequel les PTM peuvent provoquer des dégâts ?
- 13 Dressez la liste des endroits où les PTM se réfugient.
- 14 Décrivez le corps de l'adulte de la PTM.
- 15 Où vivent les adultes de PTM ?
- 16 Quel est le principe de l'emploi des phéromones sexuelles ?
- 17 Pour quelles espèces de PTM les phéromones sexuelles ont-elles été développées ?
- 18 Décrivez un piège amorcé à la phéromone.
- 19 En quoi est-il avantageux d'ajouter du détergent dans le piège à eau ?
- 20 Qu'est-ce qu'un "seuil économique" ?
- 21 Discutez le nombre critique de teignes capturées en relation avec le seuil économique.
- 22 Décrivez une méthode rapide pour estimer de fortes populations de teignes capturées.
- 23 Les phéromones sont uniquement utilisables pour *P. operculella*. Comment les autres espèces peuvent-elles être piégées ?
- 24 Qu'est-ce qu'un "programme de lutte intégrée" ?
- 25 Comment établiriez-vous un programme de lutte intégrée ? Décrivez les possibilités de lutte spécifiques en fonction des conditions de votre pays.

LA TEIGNE DE LA POMME DE TERRE

- 1 Espèces, distribution géographique
- 2 Dégâts, pertes
- 3 Biologie
- 4 Surveillance des populations de teignes
- 5 Prévention et lutte
- 6 Bibliographie

Les teignes de la pomme de terre (PTM) représentent dans les régions chaudes de graves problèmes à l'échelon mondial. Elles font des dégâts tant sur le feuillage que sur les tubercules. Une lutte directe a souvent un effet limité. Par contre, la mise en pratique de méthodes préventives de type cultural est ce qu'il y a de plus rentable. Pour éviter des dommages excessifs, il est nécessaire de connaître et de lutter contre l'insecte.

1 ESPÈCES, DISTRIBUTION GÉOGRAPHIQUE

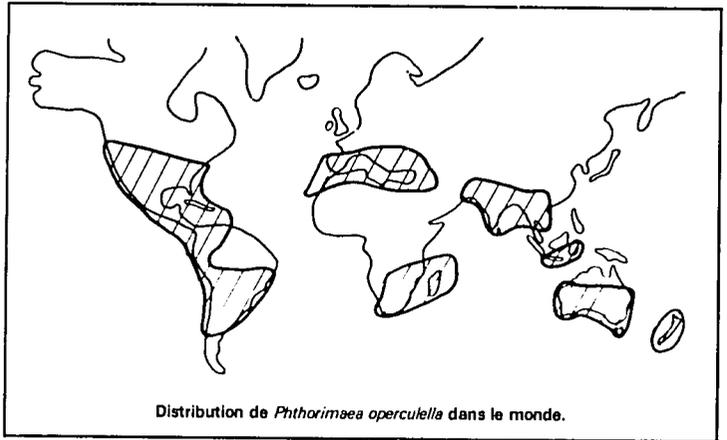
Trois espèces de répartitions géographiques différentes s'attaquent au feuillage, aux tubercules ou aux deux à la fois :

- | | |
|----------------------------------|------------------------|
| <i>Phthorimaea operculella</i> | - dans le monde entier |
| <i>Scrobipalpula absoluta</i> | - en Amérique du Sud |
| <i>Scrobipalopsis solanivora</i> | - en Amérique centrale |

P. operculella est adaptée aux régions chaudes du monde entier. Apparemment, elle ne s'accommode pas à des climats plus froids (en dessous d'une moyenne de température annuelle de 10°C). Elle provoque des dégâts aux tubercules et au feuillage. Des trois espèces, c'est *P. operculella* qui est connue depuis le plus longtemps et qui a fait l'objet des recherches les plus importantes.

S. absoluta est adaptée aux milieux plus tempérés d'Amérique du Sud. Elle s'attaque principalement au feuillage. *S. solanivora* préfère les endroits plus chauds; elle apparaît en Amérique centrale et attaque principalement les tubercules.

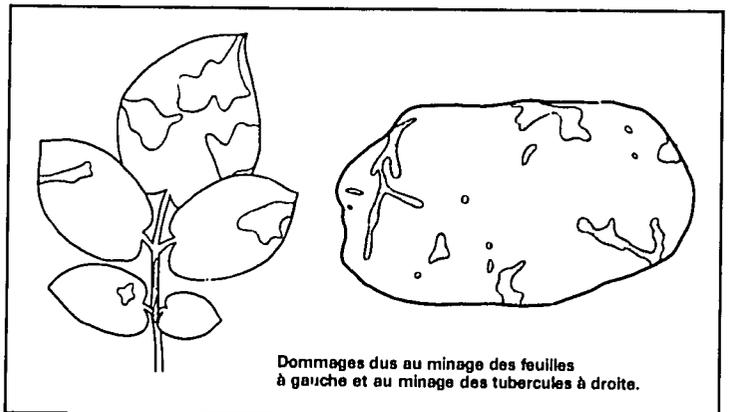
Les teignes peuvent aussi infester d'autres plantes-hôtes telles que la tomate, le tabac, l'aubergine et la betterave.



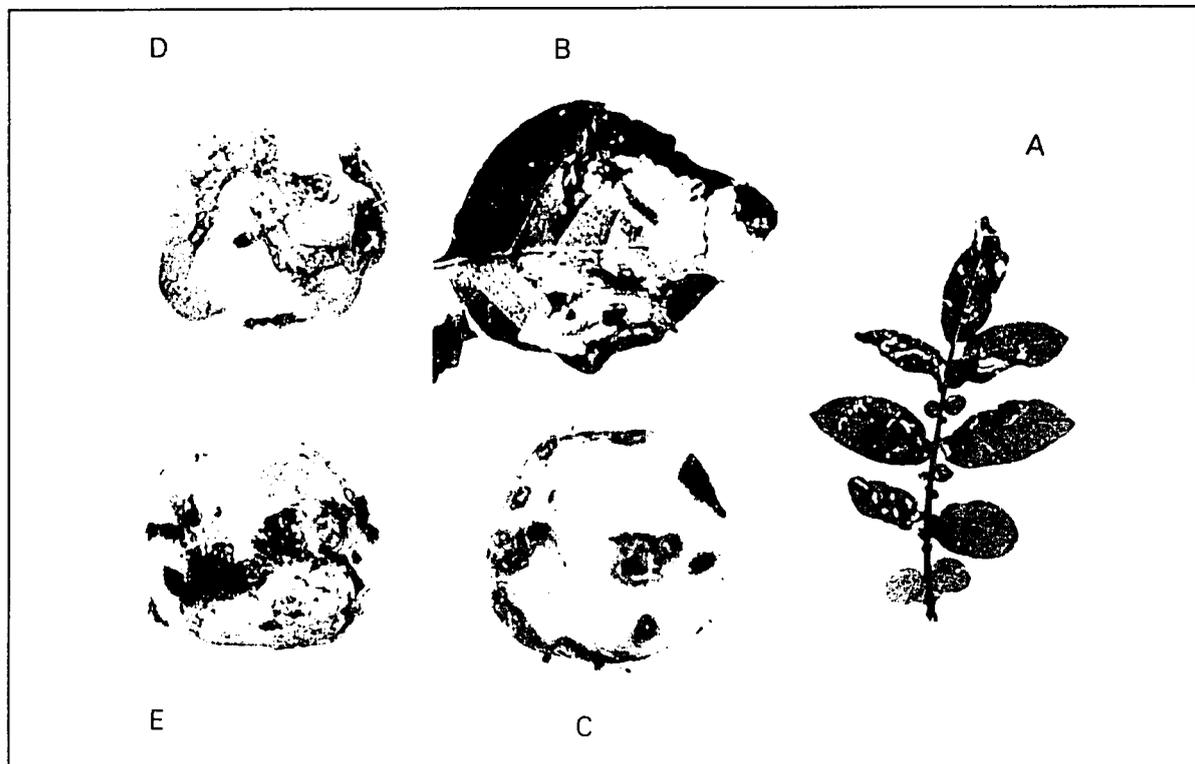
2 DÉGÂTS, PERTES

La teigne de la pomme de terre attaque les plantes de pommes de terre de deux manières différentes : par minage des feuilles et par minage des tubercules. Les dommages sont causés uniquement par les larves.

Le minage des feuilles. C'est un dégât caractéristique aussi bien de *P. operculella* que de *S. absoluta*. Les larves pénètrent dans les feuilles et s'y nourrissent. Elles creusent aussi des galeries dans les nervures des feuilles et dans les tiges de la plante. Sur les feuilles et les tiges, les dégâts des larves entraînent des pertes de tissu foliaire, la mort des zones de croissance et l'affaiblissement ou la cassure des tiges par pénétration des larves.



L'infestation des tubercules. *P. operculella* et *S. solanivora* infestent les tubercules en déposant leurs œufs près des yeux des tubercules. Les larves forent des galeries et des tunnels irréguliers en profondeur ou juste sous la peau du tubercule. On distingue souvent l'activité des larves de la teigne de celle d'autres insectes par les excréments caractéristiques déposés près des yeux ou des germes de la pomme de terre. Les dégâts des larves provoquent une perte de poids et de qualité des tubercules. Les blessures dues aux larves produisent des crevasses à la suite d'une transpiration accrue et d'infections secondaires dues à des microorganismes. Si les tubercules infestés sont stockés sans précautions adéquates, le stock entier risque d'être détruit. Les tubercules infestés ont peu de valeur comme aliment pour l'homme ou comme plants. Par contre, ils peuvent être employés comme aliment pour le bétail ou pour la préparation de la fécula de pomme de terre.



La teigne de la pomme de terre entraîne deux types de dégâts sur la pomme de terre : dégât dû au minage des feuilles sur la feuille entière d'une pomme de terre (Fig. A) et sur une foliole détachée (Fig. B). Les larves pénètrent dans les feuilles et s'y nourrissent. Infestation des tubercules. Les larves forent des galeries et des tunnels irréguliers en profondeur (Fig. C) ou juste sous la peau du tubercule (Fig. D). On distingue l'activité des larves de la teigne de la pomme de terre de celle d'autres insectes par les excréments caractéristiques (Fig. E).

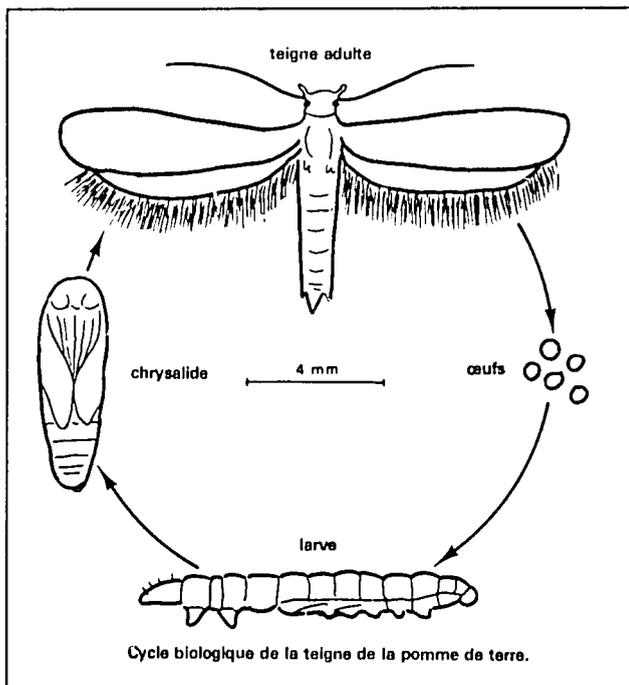
3 BIOLOGIE

On en est encore au stade des recherches quant à la différenciation taxonomique des espèces en cause. Vu leurs similarités morphologiques et biologiques, il est difficile de faire une distinction entre les espèces. *P. operculella* est l'espèce la plus connue. La description se rapporte à cet insecte dont le cycle biologique comporte quatre étapes successives : œuf, larve, chrysalide, adulte.

Chaque cycle, ou génération, peut s'accomplir en 20 à 30 jours (à 28 C). Deux à douze générations peuvent se développer par an.

Les œufs sont petits (0,5 mm) et de couleur variant du blanc au jaune. Ils sont déposés individuellement à différents endroits :

- sur la face inférieure des feuilles,
- sur les tiges,
- sur les tubercules, près des yeux (au champ et dans les lieux de stockage),
- sur les sacs et les bacs employés pour le stockage,
- sur les poussières et débris qui se sont maintenus sur ou entre les tubercules.



Les larves peuvent éclore en 5 jours. Elles représentent le seul stade ravageur. Elles atteignent 10 mm à leur développement maximal. Leur couleur varie du blanc au jaune; elles ont une tête brun foncé. Leur face dorsale présente des zones ombrées vert clair ou rose pâle. En conditions favorables, le cycle larvaire peut s'accomplir en 14 jours.

Les chrysalides sont brunâtres, atteignent 6 mm de long et sont enfermées dans une sorte de cocon de soie blanche. Elles peuvent se trouver à divers endroits tels que :

- vieilles feuilles sèches sur la plante,
- litière de sol,
- yeux des tubercules,
- murs des entrepôts,
- tubercules, sacs, bacs,
- détritrus sur le sol de l'entrepôt,
- tubercules vieux et endommagés.

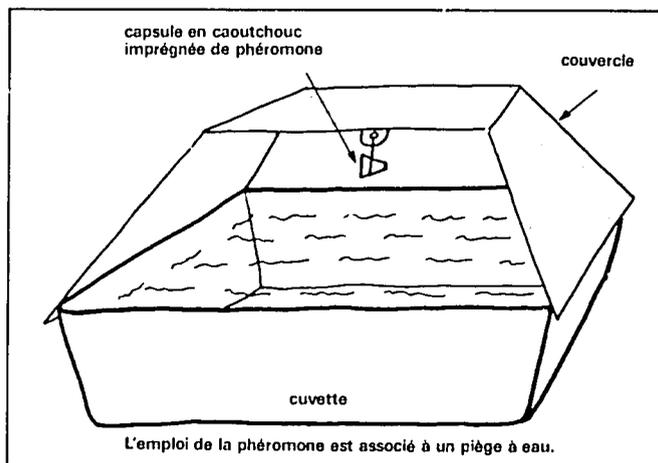
Par temps chaud, les chrysalides donnent des adultes en 8 jours.

Les teignes adultes ont un corps argenté et une envergure d'une quinzaine de mm. Les ailes antérieures sont gris brun avec de minuscules taches sombres et une frange étroite de poils. Les ailes postérieures sont de couleur blanc sale. Les teignes adultes ont une durée de vie de 10 à 15 jours. Les teignes volent surtout la nuit. Le jour, elles se cachent sous les détritrus, sous les mottes de terre ou sous les feuilles des plantes et il est difficile de les découvrir. On peut les trouver tout au long de l'année dans les champs et dans les lieux de stockage.

4 SURVEILLANCE DES POPULATIONS DE TEIGNES

Il est important de suivre le développement des populations de teignes pour pouvoir réaliser une prévention et une lutte efficaces. La découverte récente puis la synthèse des phéromones sexuelles, émises par les femelles chez *P. operculella* pour attirer les mâles, ont conduit à une méthode d'observation des populations de cet insecte au champ et dans les lieux de stockage.

L'emploi de la phéromone est associé à un piège à eau. On place directement dans le champ ou l'entrepôt une cuvette ou un récipient que l'on remplit d'eau jusqu'à 2 cm du bord. On peut y ajouter un détergent ordinaire. L'emploi du détergent facilite la pénétration de l'eau dans les ailes de l'insecte, ce qui a pour effet d'empêcher la teigne de s'envoler à nouveau. Il faut couvrir la cuvette d'un couvercle (en métal, en plastique ou en carton) auquel on suspend une capsule en caoutchouc imprégnée de phéromone. L'expérience démontre que le fait de recouvrir le couvercle d'un tissu brun foncé augmente l'efficacité du piégeage.



Il faut nettoyer et contrôler les pièges au moins une fois par semaine. Le nombre critique de teignes dépend du niveau à partir duquel les dégâts atteignent une signification économique - le "seuil économique" du ravageur - Le seuil économique dépend de facteurs du milieu qui favorisent ou limitent les dégâts (cfr section 5).

Des recherches effectuées au CIP ont montré que l'on peut effectuer une estimation rapide de l'importance des teignes capturées au champ, en versant le contenu du piège dans un récipient gradué transparent et en estimant les quantités par une méthode volumétrique. Chaque millilitre (ml) d'insectes déposés dans le récipient correspond approximativement à 15 teignes.

Etant donné que les phéromones ne sont disponibles que pour *P. operculella* et pour aucune autre espèce, il peut être plus pratique, dans certains cas, d'utiliser des pièges lumineux avec des lampes jaunes de 50 à 75 watts.

5 PRÉVENTION ET LUTTE

Les caractéristiques biologiques de l'insecte offrent une grande variété de possibilités dans la prévention des dégâts, par l'intermédiaire de techniques culturales. Avant de penser à une lutte chimique, il faudrait d'abord étudier ces techniques culturales. Le mieux est d'associer les techniques culturales à l'emploi adéquat d'insecticides dans un "programme de lutte intégrée".

Surveillance. Grâce à un programme de surveillance et de piégeage, on peut détecter les champs où les populations de teignes sont faibles. Dans ce cas-là, pour opérer une protection efficace contre l'infestation, on peut n'avoir recours qu'à des pratiques culturales plutôt qu'aux insecticides.

Tubercules sains. Etant donné que les tubercules contaminés entraînent la dissémination des ravageurs tant dans les champs que dans les entrepôts, la meilleure méthode préventive est d'employer des plants sains et de détruire les tubercules infestés avant le stockage.

Rotation des cultures. La culture permanente de plantes-hôtes augmente les niveaux d'infestation. Le choix des rotations culturales doit donc tenir compte à la fois de la pomme de terre hôte et d'autres plantes sensibles.

Plantation et couverture. Une plantation profonde et une bonne couverture du sol au buttage constituent une protection contre les dégâts causés par les adultes et les larves qui pénètrent dans le sol.

Travail du sol. Des sols qui ont tendance à se craqueler, une mauvaise préparation du sol et un buttage insuffisant permettent à la teigne adulte d'accéder facilement aux tubercules pour y déposer ses œufs. C'est pourquoi un travail du sol correct est une mesure préventive.

Irrigation. On peut réduire les craquelures et les espaces libres du sol grâce à un sol humide; ceci empêche la pénétration des teignes et des larves qui sont aussi repoussées par les conditions d'humidité. Par temps sec, la mesure préventive la plus efficace contre la teigne reste l'irrigation.

Saison de culture. Des températures allant de 25 à 30°C favorisent le plus le développement de la teigne de la pomme de terre. Si la pression d'infestation est élevée, il faut, dans la mesure du possible, éviter les périodes chaudes pour la culture des plantes.

Lutte contre les mauvaises herbes. Il faut éliminer à l'intérieur et autour des champs les mauvaises herbes et les repousses jouant le rôle d'hôtes alternatifs.

Propreté du champ. Les restes de plantes et de tubercules sont le lieu idéal pour la conservation des populations de teignes au champ pendant la période sans culture. Ainsi la propreté du champ est une autre mesure préventive qui demande du soin, spécialement au moment de la récolte.

Récolte. Une récolte tardive et étalée dans le temps augmente le danger d'infestation des tubercules. Il faut récolter rapidement dès que la culture est arrivée à maturité. Tous les tubercules infestés doivent être enlevés et détruits le plus rapidement possible.

Conservation. Le développement des insectes augmente dans les entrepôts mal nettoyés et lors de mauvaises conditions de stockage. Seuls les tubercules sains devraient être stockés. Les tubercules ne doivent pas être abîmés et doivent avoir été nettoyés de toute trace de terre ou autres résidus. Les entrepôts doivent être nettoyés et éventuellement désinfectés. La réfrigération réduit la propagation de la contamination. Le cycle biologique de la teigne est interrompu lorsque la température descend en dessous de 10°C. Les températures les plus favorables pour le développement de la teigne se situent au-dessus de 25°C.

Résistance de l'hôte. Des différences significatives dans le développement de la teigne ont été observées sur différentes variétés de plantes croissant au champ tout comme sur les tubercules en stockage. Les chercheurs essaient de découvrir comment ce facteur de résistance pourrait être exploité. Les variétés dont les tubercules peuvent être plantés profondément sont également utiles.

Insecticides. Les recherches du CIP ont montré que les insecticides pyréthroïdes limitent d'une manière efficace la teigne de la pomme de terre dans les lieux de stockage. Pour plus d'informations, il est recommandé de consulter les experts locaux.

Lutte biologique. Des études concernant plusieurs insectes qui parasitent *P. operculella* sont actuellement en cours. La lutte biologique n'a été praticable que dans quelques cas.

Les plantes qui repoussent la teigne peuvent être efficaces dans les entrepôts. Dans les Andes par exemple, *Mintostachys* sp., connue localement sous le nom de "muña", est employée dans ce but.

6 BIBLIOGRAPHIE

Haines, C.P. 1977. The potato tuber moth, *Phthorimaea operculella* (Zeller) : A bibliography and a review of its biology and control on potatoes in the field and in store. London, Tropical Products Institute. 15 pp.

LE MILDIOU DE LA POMME DE TERRE

Phytophthora infestans

Jan W. Henfling



Attaque de mildiou au champ

LE MILDIU DE LA POMME DE TERRE

Phytophthora infestans

Objectifs : L'étude de ce bulletin devrait vous permettre :

- de décrire les symptômes du mildiou,
- de décrire la biologie de l'organisme responsable,
- d'expliquer le développement de la maladie,
- d'expliquer les objectifs de la lutte intégrée,
- de décrire l'importance de la résistance au champ,
- d'évaluer l'importance des dégâts du mildiou au champ.

Matériel pratique :

- Plantes et tubercules infectés,
- Ensemble de diapositives et/ou diagrammes,
- Tableau d'évaluation du mildiou.

Travaux pratiques :

- Décrire les symptômes au champ et sur tubercules stockés.
- Prélever au champ une tige avec feuilles infectées. Placer la base de la tige dans un gobelet d'eau. Recouvrir d'un sac plastique. Maintenir toute une nuit à une température ambiante de 15 à 20°C. Le lendemain matin, observer la sporulation.
- Observer et discuter la résistance au champ sur le terrain.
- Evaluer l'importance des dégâts du mildiou.

QUESTIONNAIRE

- 1 Quelle est l'importance du mildiou dans votre pays ?
- 2 Que connaissent les agriculteurs de votre pays au sujet de la maladie ? Comment l'appellent-ils ?
- 3 Décrivez les symptômes sur les feuilles, les tiges et les tubercules. En quoi ces symptômes diffèrent-ils de ceux de l'alternariose ?
- 4 Décrivez l'agent responsable du mildiou.
- 5 Quelles sont les espèces de plantes infectées par le mildiou ?
- 6 Pourquoi la sporulation est-elle plus abondante sur la face inférieure des feuilles que sur la face supérieure ?
- 7 Comment les spores sont-elles répandues ?
- 8 Décrivez la germination directe et indirecte. Quelle est la plus courante ?
- 9 Est-ce que le champignon se reproduit de façon sexuée dans votre pays ?
- 10 Quelles sont les sources d'infection primaire ?
- 11 Expliquez l'influence de la température et de l'humidité sur le développement de la maladie.
- 12 Quel est le temps nécessaire pour la production de zoosporanges et pour la formation, la germination et la pénétration des zoospores ?
- 13 Quel est, en conditions optimales, le temps nécessaire pour que s'accomplisse le cycle de la maladie ?
- 14 Décrivez les conditions climatiques lors de l'apparition du mildiou dans votre pays ?
- 15 Décrivez les principes de prévision du mildiou.
- 16 Comment et quand l'infection du tubercule se produit-elle ?
- 17 Quelles sont les conséquences des infections du tubercule ?
- 18 Citez une règle générale qui favorise l'endiguement du développement de la maladie.
- 19 Faites une liste des mesures les plus importantes qui peuvent favoriser la réduction des pertes occasionnées par le mildiou.
- 20 Quel est l'objectif de la lutte intégrée contre le mildiou ?
- 21 Quel type de résistance préférez-vous dans vos cultures ? Pourquoi ?

LE MILDIOU DE LA POMME DE TERRE

Phytophthora infestans

- 1 Symptômes
- 2 Biologie
- 3 Développement de la maladie
- 4 Lutte
- 5 Mécanismes de résistance
- 6 Evaluation du mildiou au champ
- 7 Bibliographie

Le mildiou est une des maladies fongiques les plus graves de la pomme de terre. Il est très répandu dans la majorité des zones de culture de la pomme de terre. Peu après que la pomme de terre soit devenue une culture vivrière importante en Europe, la maladie a atteint des proportions désastreuses. Elle provoqua la famine de 1845 en Irlande qui entraîna la mort d'un million de personnes sur un total de 3 millions d'habitants et le départ de 1,5 millions de personnes. Dans beaucoup d'endroits la maladie est restée un facteur limitant important pour la production de la pomme de terre. Ce fascicule donne une information sur la nature, la prévention et la lutte contre la maladie.

1 SYMPTÔMES

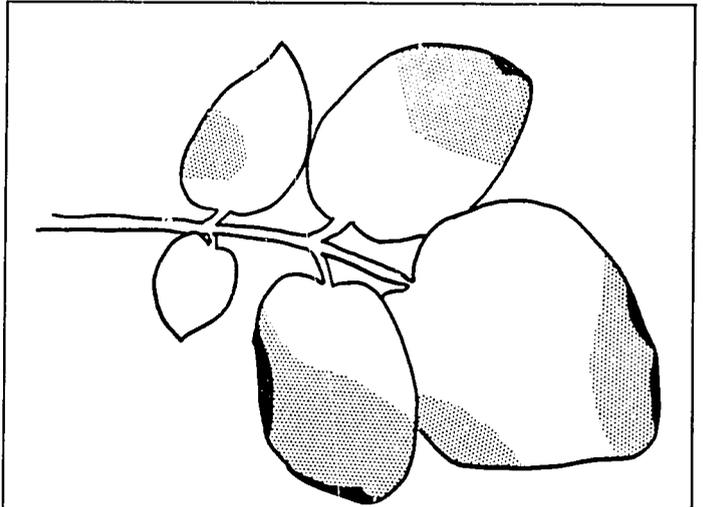
La maladie atteint les feuilles, les tiges et les tubercules.

Les feuilles. Les tout premiers symptômes de la maladie au champ sont habituellement visibles sur les feuilles. Ces symptômes sont des taches variant du vert pâle au vert foncé qui se transforment plus tard en lésions brunes ou noires. Les lésions commencent fréquemment aux pointes des feuilles ou sur les bords. Une bande vert pâle ou jaune de quelques millimètres de large sépare souvent les tissus morts et des tissus sains. En conditions de forte humidité et de basses températures, les lésions se répandent rapidement. La sporulation, ressemblant à un duvet blanchâtre entourant les lésions, peut être visible sur la surface des feuilles les plus basses. Ce symptôme peut ne pas être évident de jour. La maladie peut se répandre à partir des premières folioles infectées de quelques plantes à la plupart des plantes d'un champ en moins d'une semaine.

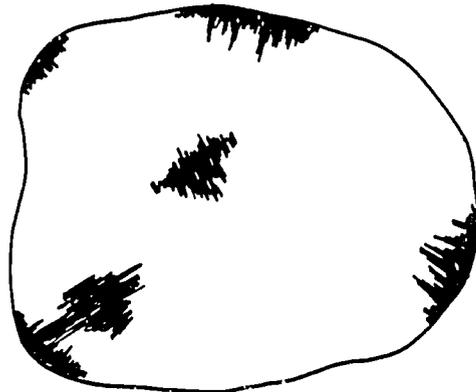
Les tiges. Les lésions peuvent se développer en surface ou à l'intérieur des pétioles et des tiges à partir des feuilles. Les lésions se répandent longitudinalement sur la tige. Les tiges infectées sont affaiblies et peuvent entraîner l'affaissement de plantes entières.

Les tubercules. Les tubercules infectés présentent une décoloration superficielle, sombre et irrégulière. Les lésions nécrotiques sèches et brunes se répandent de la peau vers le tissu interne du tubercule. En raison de la présence de pathogènes secondaires, la pourriture sèche caractéristique de *P. infestans* peut devenir une pourriture molle.

Note. Il ne faut pas confondre les symptômes du mildiou avec ceux de l'alternariose (causés par *Alternaria solani*). Les lésions du feuillage provoquées par l'alternariose sont brunes et cassantes, et elles présentent généralement des cercles concentriques. La sporulation n'apparaît pas sous la forme d'un duvet blanchâtre. Par ailleurs, l'alternariose se manifeste en conditions qui sont trop sèches et chaudes pour le mildiou.



Sur les feuilles, des taches variant du vert pâle au vert foncé se transforment en lésions brunes ou noires.



Les lésions nécrotiques sèches et brunes se répandent de la peau vers le tissu interne du tubercule.

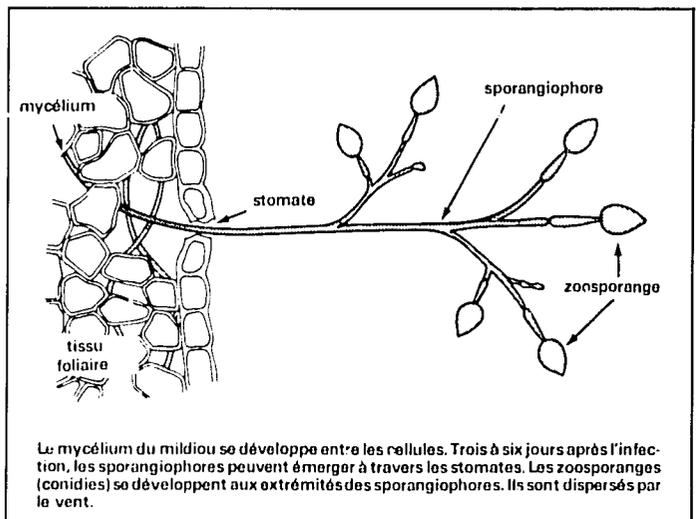


Symptômes du mildiou provoqués par *Phytophthora infestans* sur les feuilles, la tige et les tubercules de pomme de terre.

2 BIOLOGIE

Le mildiou est provoqué par le champignon *Phytophthora infestans* (Mont.) de Bary. C'est un microorganisme de la classe des Phycomycètes. Il peut provoquer des maladies chez la pomme de terre, la tomate et quelques autres plantes de la même famille (*Solanaceae*).

La plupart des caractères de la biologie de *P. infestans* peuvent être uniquement observés au microscope. Les filaments fongiques (mycélium) de cette classe de champignons sont caractérisés par une absence presque totale de cloisons transversales (septa). Le mycélium se développe entre les cellules (intercellulaire) du tissu de l'hôte infecté. Des extensions du mycélium (haustoria) pénètrent les cellules individuelles. La reproduction peut être soit asexuée (végétative) soit sexuée (générative).



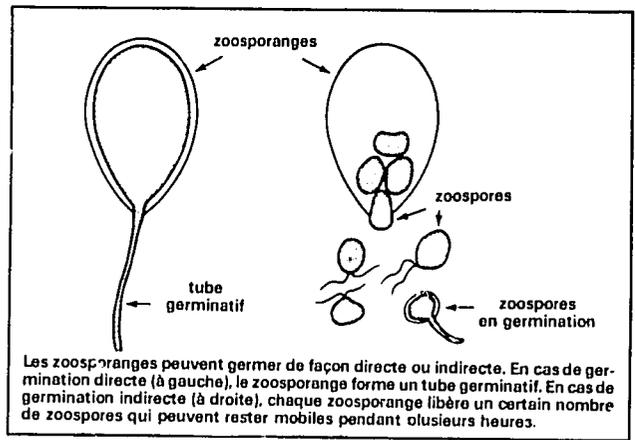
Le mycélium du mildiou se développe entre les cellules. Trois à six jours après l'infection, les sporangiophores peuvent émerger à travers les stomates. Les zoosporanges (conidies) se développent aux extrémités des sporangiophores. Ils sont dispersés par le vent.

Reproduction asexuée. Trois à six jours après l'infection, dans des conditions de milieu favorables, les sporangiophores (organes portant les spores) émergent à travers les stomates (ouvertures) de la surface foliaire. Les stomates sont plus fréquents sur la face inférieure que sur la face supérieure des feuilles. Cela explique pourquoi la sporulation sur la face inférieure des feuilles est plus abondante que sur la face supérieure. Les zoosporanges (appelés aussi sporanges ou conidies) se développent à l'extrémité de ces sporangiophores. Ils sont facilement libérés et dispersés par le vent.

La taille des zoosporanges se situe juste sous la limite de visibilité à l'œil nu. Leur forme en citron peut être observée au microscope. Les zoosporanges peuvent germer de façon directe ou indirecte.

La germination directe se produit surtout à des températures supérieures à 20°C (optimum situé à 24°C). Un zoosporange se comporte comme une spore isolée. Il forme un tube germinatif qui peut pénétrer dans les tissus de la plante. La germination directe est peu fréquente.

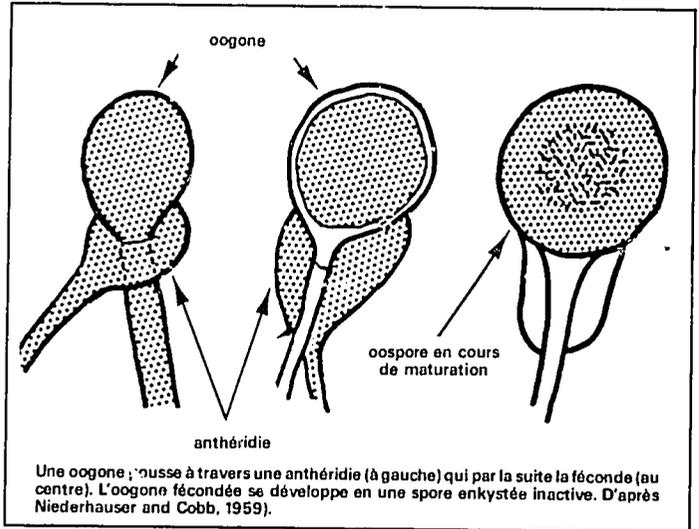
La germination indirecte se produit généralement à des températures plus basses (optimum situé à 12°C). Chaque sporange libère un groupe de 10 à 12 spores (zoospores). Ces zoospores peuvent rester mobiles pendant plusieurs heures ou même jusqu'à leur arrivée dans un site d'infection approprié où ils formeront aussi un tube germinatif. Les deux formes de germination peuvent se produire simultanément si les températures fluctuent.



Sur les feuilles et les tiges, les tubes germinatifs peuvent pénétrer directement l'épiderme de la plante (aucun stomate n'est requis). La pénétration a lieu à travers les lenticelles ou les blessures sur les tubercules. Si aucun tissu-hôte adéquat n'est disponible, les zoosporanges ou les zoospores meurent. Chez les plantes sensibles, le cycle de reproduction asexuée se répète de lui-même.

Reproduction sexuée. Bien que *P. infestans* soit prédominant dans presque toutes les zones de culture de la pomme de terre dans le monde, son développement sexué n'a été observé qu'au Mexique. Lorsque des mycéliums d'origine différente du champignon (appelés types d'accouplement A1 et A2) se développent ensemble, l'un d'entre eux peut former de petites cellules mâles (anthéridies) et l'autre de plus grandes cellules femelles (oogones).

Une oogone pousse à travers une anthéridie, permettant l'association de leur noyau (fécondation). L'oogone fécondée se développe en une spore enkystée inactive (oospore). Les oospores, à l'inverse des zoosporanges et des zoospores, peuvent résister à des conditions défavorables telles que la sécheresse et les basses températures. Les oospores peuvent germer par la formation d'un sporange, comme décrit ci-dessus. Les zoospores formés de ce sporange peuvent engendrer un nouveau cycle de développement du champignon.



3 DÉVELOPPEMENT DE LA MALADIE

Dans la nature, le pathogène ne persiste que sur du matériel végétal vivant (à l'exception des oospores qui peuvent survivre dans le sol). D'où les sources d'infection primaire :

- tubercules infectés,
- champs de pommes de terre avoisinants,
- et autres plantes-hôtes.

Tubercules infectés. Dans les zones où les pommes de terre ne sont pas cultivées de manière continue, les tubercules infectés représentent généralement la source la plus importante de la maladie. Les tubercules infectés peuvent se trouver parmi les plants, dans les tas de déchets ou avoir été laissés dans le champ lors d'une précédente récolte. Les plantes se développent à partir de tels tubercules sont rapidement infectées par les spores produites en surface du tubercule. Les spores peuvent être transportées par le vent et ainsi infecter les champs de pommes de terre.

Champs de pommes de terre avoisinants. Les champs de pommes de terre avoisinants peuvent être une source d'infection surtout dans les zones où les pommes de terre sont cultivées tout au long de l'année.

Autres plantes-hôtes. Les tomates et autres solanacées peuvent être atteintes par *P. infestans*. Le pathogène peut se maintenir sur les espèces sauvages de pommes de terre qui sont largement réparties en Amérique centrale et du Sud (les Andes). La maladie peut se répandre de ces plantes vers les pommes de terre cultivées.

A partir des sources d'infection primaire, des champs entiers peuvent être infectés en quelques jours si les conditions du milieu sont favorables au développement de la maladie. La température et l'humidité jouent un rôle très important dans le développement du milieu sur un hôte sensible.

La température la plus favorable au développement du champignon se situe aux environs de 21°C., mais le champignon peut rester en vie dans les tissus-hôtes entre 0°C et au moins 28°C. Les zoosporanges se développent à des températures variant entre 9°C et 22°C.

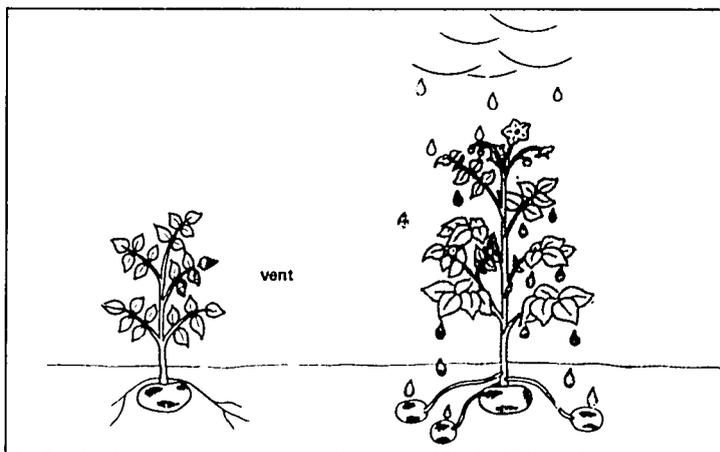
Le développement du champignon à l'intérieur de la feuille est peu influencé par l'humidité relative de l'air. Cependant les spores ne se forment qu'à une humidité relative supérieure à 95%. A des températures favorables, il faut moins de 8 heures d'humidité élevée pour produire des zoosporanges. La pellicule d'eau (rosée, pluie) doit se maintenir au moins deux heures sur la surface de la feuille pour permettre la formation, la germination et la pénétration de la zoospore.

En résumé, la maladie se développe et se répand plus rapidement par températures fraîches et en cas d'atmosphère humide. Dans de telles conditions, un cycle de maladie peut être achevé en 4 jours. Des conditions défavorables à la maladie interrompent temporairement le développement du pathogène.

Plusieurs méthodes pour la prévision du mildiou ont été mises au point. Ces méthodes sont basées sur une combinaison appropriée de la température et de l'humidité. On peut s'attendre à une épidémie de mildiou si la "période d'humidité des feuilles" — provoquée par de la rosée, de la brume ou de la pluie — dépasse 8 à 10 heures plusieurs jours de suite, et si la température se situe entre 10° et 20°C. Un "temps de mildiou" typique se caractérise par un temps froid et couvert accompagné de pluies fréquentes et de peu de soleil.

Infection des tubercules. L'infection se propage aux tubercules par les lenticelles et les blessures. Cela se produit lorsque les zoosporanges ou les zoospores sont lessivés dans le sol par la pluie s'écoulant des feuilles infectées. La présence de feuillage infecté à la récolte est aussi une autre source fréquente de contamination des tubercules.

Normalement les tubercules infectés pourrissent lors de leur plantation au champ. Cependant, quelques germes se développant à partir de tubercules infectés peuvent former les sources d'infection primaire.



Les tubercules infectés sont souvent une source importante de la maladie (à gauche). Les spores sont disséminés par le vent. Les tubercules sont infectés par les spores lessivés dans le sol par la pluie (à droite). Quelques germes se développant de tubercules infectés peuvent former les sources d'infection primaire de la saison suivante.

4 LUTTE

L'infection et le développement du mildiou sont favorisés quand la variété de pommes de terre est sensible et quand les conditions du milieu sont favorables. En se basant sur cette considération, les mesures culturales préventives ont pour but de réduire l'infection et la dissémination. Lorsque les fongicides ne sont pas disponibles, les mesures culturales restent le seul moyen de prévention contre des pertes considérables de récolte.

En général, toute technique qui favorise un assèchement rapide du feuillage et réduit l'humidité dans la culture tend à réduire le développement de la maladie. Ces techniques comprennent les distances de plantation, les méthodes d'irrigation appropriées et l'orientation des rangs. De plus, les pratiques suivantes doivent être prises en considération :

Etat sanitaire des plants. Une exigence fondamentale dans la production d'une bonne culture est l'emploi de plants non-infectés. De plus, les repousses (plantes se développant à partir des tubercules d'une culture précédente) et les tas de déchets doivent être éliminés.

Résistance. Si elles sont commercialement acceptables, il faut utiliser les variétés à très haute résistance au mildiou. Deux types de résistance sont détaillés dans la section 5 : la résistance spécifique à la race et la résistance au champ.

Période de croissance. Dans les régions où les saisons des pluies sont bien marquées, un changement de la période de plantation peut favoriser une réduction de la gravité de la maladie.

Buttage. Les tubercules exposés et ceux qui sont faiblement recouverts par la terre sont beaucoup plus vite infectés par les spores fongiques transportés par l'eau dégoulinant du feuillage. Un buttage correct (sommet de butte arrondi) permet l'assèchement rapide de la butte.

Récolte. Il est conseillé de détruire le feuillage avant la récolte et de le laisser complètement se dessécher. Cette pratique réduit les possibilités d'infection des tubercules à la récolte.

À la récolte, les tubercules doivent être à maturité et le sol doit être suffisamment sec pour réduire les possibilités d'infection par le biais des peaux blessées ou des lenticelles. Tous les tubercules doivent être retirés du champ, même ceux qui sont malades. Il faut ensuite trier la récolte pour ne conserver que les tubercules sains. Ceux qui sont infectés seront soit utilisés immédiatement soit détruits.

Application de fongicides. La plupart des fongicides empêchent seulement la sporulation et la germination des spores sur la feuille. Une fois que le pathogène a infecté les feuilles, la plupart des fongicides restent sans effet. Un programme d'application préventive de fongicides doit démarrer immédiatement après l'apparition des premiers symptômes du mildiou dans un champ. Il s'agit de maintenir une bonne protection du feuillage par fongicide aussi longtemps que subsistent les conditions favorables à la présence du mildiou. Les observations des données météorologiques peuvent aider à déterminer les conditions favorables au développement du champignon et la période de l'application du fongicide.

Des fongicides systémiques récemment élaborés subissent un transport dans toute la plante, même dans les pousses récentes. Une couverture permanente et uniforme est moins indispensable et la fréquence des pulvérisations peut alors être réduite. L'épandage de formes granulées dans le sol ne demande aucun équipement spécial de pulvérisation.

Il est impossible de généraliser les recommandations pour l'emploi des fongicides vu que l'efficacité, les conditions et les règlements sont spécifiques à chaque région. Il faudra faire appel aux experts locaux pour connaître les types de fongicides et leur application.

Lutte intégrée. La meilleure lutte contre le mildiou est une association de mesures préventives. Ainsi la fréquence d'applications de fongicides coûteux peut être réduite. L'objectif poursuivi n'est pas une éradication complète de la maladie mais bien une production de pommes de terre la plus économique possible.

5 MÉCANISMES DE RÉSISTANCE

Il existe deux mécanismes différents de résistance contre le mildiou de la pomme de terre :

- la résistance spécifique aux races (résistance verticale),
- la résistance au champ (résistance horizontale).

Comme son nom l'indique, la **résistance spécifique aux races** est efficace contre les races bien définies de l'agent pathogène. D'autres races cependant infectent ces plantes tout aussi facilement que d'autres plantes sans résistance spécifique aux races. L'introduction de variétés de pommes de terre avec des gènes de résistance à des races bien définies (R-gènes) entraîne souvent une rupture manifeste et brusque de la résistance de ces variétés. A cause de sa variabilité, l'agent pathogène est capable de s'adapter rapidement aux variétés de pommes de terre pour la formation de nouvelles races qui peuvent apparaître à n'importe quel moment et n'importe où. On a cru un moment que la résistance spécifique aux races était prometteuse, néanmoins les sélectionneurs recherchent actuellement d'autres types de résistance.

La **résistance au champ** est un complexe de nombreux facteurs génétiques. Leurs effets combinés déterminent le niveau de résistance réelle dans les conditions du champ. Une variété déterminée peut avoir une résistance élevée, intermédiaire ou faible. Le niveau de résistance au champ semble dépendre de facteurs locaux dont les conditions de croissance. Toutefois elle est efficace contre toutes les races de champignons et ne s'altère pas rapidement ou même pas du tout.

La résistance au champ peut entrer en jeu à tous les stades de développement de l'agent pathogène : pendant la germination des spores, pendant leur pénétration dans les feuilles et leur développement à l'intérieur des feuilles et pendant la sporulation. Les conditions du milieu influencent chacune de ces trois étapes. Les sélectionneurs ont récemment tourné leurs efforts vers la résistance au champ.

6 ÉVALUATION DU MILDIOU AU CHAMP

L'évaluation au champ est pratiquement le seul moyen de comparer la réaction des variétés au mildiou.

En vous basant sur le tableau suivant, notez le feuillage atteint par *P. infestans*, en utilisant des notes et pourcentages. Cette opération doit être effectuée à intervalles réguliers (chaque semaine) à partir des premières manifestations du mildiou. Jugez le pourcentage moyen des lésions pour le rang entier. Si le résultat est intermédiaire entre 2 notes, prenez la note la plus élevée. Par exemple, si vous obtenez un pourcentage entre 10% et 25%, enregistrez la note 4.

Notes	Pourcentage de feuillage atteint	Description
1	0	aucune ou très peu de lésions sur l'ensemble du rang.
2	3	plus de 0% et moins de 10%.
3	10	
4	25	
5	50	
6	75	la moitié du feuillage est détruite.
7	90	seules quelques rares zones vertes sont épargnées (beaucoup moins de 10%).
8	97	
9	100	

7 BIBLIOGRAPHIE

- International Potato Center. 1973. Late blight strategy. International Potato Center, Lima, Peru. 43 pp.
- Centre International de la Pomme de terre. 1979. La pomme de terre; maladies et nématodes. Centre International de la Pomme de terre, Lima, Pérou. 69 pp.
- Niederhauser, J.S. and Cobb, W.C. 1959. The late blight of potatoes. Scientific American 200 : 100-112.
- Hooker, W. (ed.). 1981. Compendium of potato diseases. Am. Phytopathol. Soc. St. Paul, Minnesota, USA pp. 40-42.
- Walker, J.C. 1969. Plant Pathology. McGraw-Hill, New York. pp. 229-242.

NOTES

L'ÉPURATION DES POMMES DE TERRE

Roger Cortbaoui



Epuration du virus de l'enroulement de la pomme de terre

L'ÉPURATION DES POMMES DE TERRE

Objectifs : L'étude de ce bulletin devrait vous permettre :

- d'expliquer pourquoi l'épuration est une méthode simple pour améliorer la qualité des plants;
- d'indiquer quelles plantes sont à éliminer;
- de déterminer les conditions les plus favorables pour l'épuration;
- de suivre les mesures de précaution à prendre pendant l'épuration;
- de décrire le technique d'épuration.

Matériel didactique :

- Plusieurs plantes de pommes de terre malades et une plante saine.
- Un sac d'épuration imperméable aux pucerons.
- Un ensemble de diapositives.

Travaux pratiques :

- Pratiquer l'épuration au champ.

1 QUESTIONNAIRE

- 1 Comment la qualité des plants peut-elle être améliorée par épuration ?
- 2 Pourquoi les infections systémiques d'une plante de pommes de terre se répandent-elles facilement dans un tubercule et de là dans la plante qui en émergera ?
- 3 Pourquoi l'épuration est-elle inefficace contre les pathogènes à l'état latent et peu utile contre les souches de virus faibles ?
- 4 Pourquoi l'épuration n'est-elle pas réalisable lorsque la plupart des plantes du champ sont infectées ?
- 5 Quels sont les deux facteurs principaux à prendre en considération lors de l'épuration ?
- 6 Quels sont les principaux symptômes des viroses ?
- 7 Quelles plantes devez-vous éliminer lors de l'épuration ?
- 8 Qu'est-ce qu'une repousse ?
- 9 Pourquoi est-il fondamental d'avoir une culture à croissance homogène ?
- 10 Expliquez quelles sont les autres conditions importantes dans un champ pour pratiquer l'épuration ?
- 11 Expliquez deux voies de transmission des virus.
- 12 Pourquoi ne devez-vous absolument pas toucher une plante de pommes de terre dans un champ sauf en cas d'épuration ?
- 13 Pourquoi est-il important de lutter contre les insectes dans un champ de production de plants ?
- 14 Pourquoi les plantes épurées doivent-elles être enlevées du champ dans un sac imperméable aux pucerons ?
- 15 Quelles sont les parties de la plante qui doivent être enlevées lors de l'épuration ?
- 16 Pourquoi est-il nécessaire de déplacer les parties infectées des plantes loin du champ ?
- 17 Quelles sont les trois démarches successives en technique d'épuration ?
- 18 Quand l'épuration doit-elle commencer ?
- 19 A quelle fréquence doit-elle continuer ?
- 20 Quand doit-elle se terminer ?
- 21 Pourquoi l'épuration doit-elle être pratiquée en permanence ?

L'ÉPURATION DE LA POMME DE TERRE

- 1 Pourquoi épurer ?
- 2 Que faut-il épurer ?
- 3 Conditions pour l'épuration
- 4 Précautions
- 5 Technique d'épuration
- 6 Bibliographie

Un manque de plants sains est un facteur limitant important dans la croissance des pommes de terre. Par une simple méthode de sélection au champ, qui consiste à éliminer les plantes malades ou indésirables, il est possible d'améliorer considérablement la qualité des plants. Cette méthode d'arrachage automatique des plantes indésirables est appelée *épuration*.

1 POURQUOI ÉPURER ?

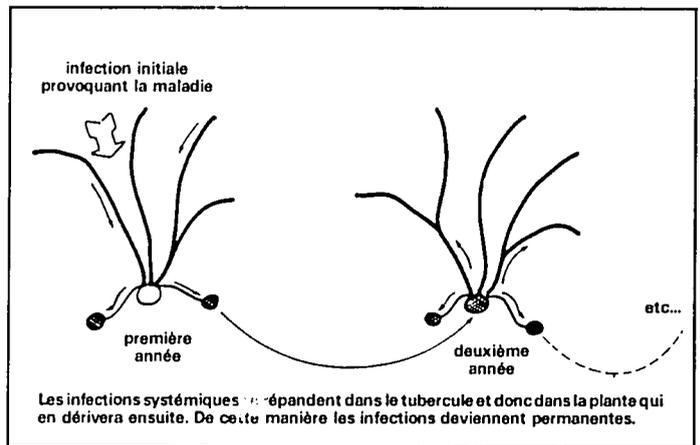
Le tubercule de pomme de terre est une partie souterraine de la tige produite d'une manière végétative. C'est pourquoi les infections provoquant des maladies à l'intérieur de la plante (infections systémiques) se répandent facilement dans le tubercule et donc dans la plante qui en dérivera ensuite. De cette manière les infections virales en particulier deviennent permanentes. Les plantes se développant à partir de tels tubercules infectés peuvent aussi contaminer d'autres plantes. En quelques années une culture de pommes de terre initialement saine peut être complètement infectée. On appelle parfois ce processus "dégénérescence".

L'épuration se base sur des symptômes visibles. Elle est inefficace contre les pathogènes latents et peu utile contre les souches de virus faibles qui ne se manifestent pas par des symptômes évidents.

L'épuration est impraticable lorsque la plupart des plantes d'un champ sont infectées. Dans un tel cas, les meilleures plantes du champ peuvent être sélectionnées et leurs tubercules replantés la saison suivante pour développer un stock de plants plus sains.

La perfection de l'épuration dépend des exigences sanitaires déterminées suivant la destination des plants. La production de plants de base exige une épuration plus soignée que la production de plants commerciaux.

Bien souvent les agriculteurs refusent d'éliminer toute plante malade. Or les expériences ont démontré que les plantes avoisinantes utilisent les espaces libérés par l'épuration de telle sorte que la récolte perdue est compensée au moins en partie.



2 QUE FAUT-IL ÉPURER ?

En ce qui concerne l'épuration, deux facteurs importants doivent être pris en considération : l'état sanitaire des plants et la pureté de la variété.

Etat sanitaire des plants. Il peut être difficile de reconnaître les symptômes d'une maladie surtout lorsqu'ils sont faibles. Il faut surtout faire attention aux symptômes de viroses tels que :

- changements du port des plantes,
- décolorations et enroulements des feuilles.

Pureté de la variété. L'identification de la variété est relativement simple lorsque les plantes sont en fleurs. Cependant, aux autres stades de croissance les caractéristiques variétales ne peuvent être déterminées que par des observations courantes au champ.

L'épuration consiste en une comparaison des caractéristiques des plantes, telles que la taille, la forme et la couleur. Dans un champ de plants homogènes il est relativement aisé pour un épurateur expérimenté d'éliminer les plantes de types différents ou hors-type, tels que :

- les plantes infectées par des virus,
- les plantes provenant d'autres variétés,
- les repousses (plantes se développant à partir de tubercules restés sur le sol la saison précédente).

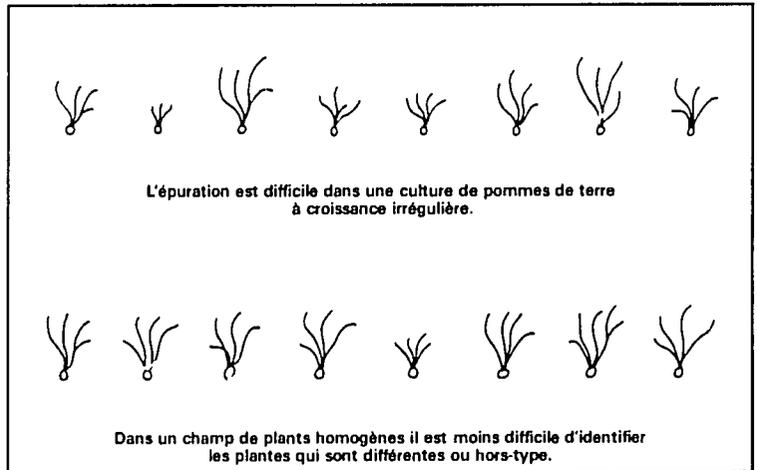
3 CONDITIONS POUR L'ÉPURATION

L'identification des plantes hors-type dans un champ est facilitée par la connaissance des conditions du milieu et des conditions culturelles suivantes :

Uniformité de la culture. Par le fait même que les caractéristiques des plantes sont comparées lors de l'épuration, une culture à croissance homogène est une exigence fondamentale.

Humidité du sol. Avant l'épuration, les plantes doivent être irriguées correctement parce que les symptômes de maladie sont difficiles à reconnaître sur des plantes fanées. Si cela est possible, la surface du sol doit être suffisamment sèche durant l'épuration de sorte que l'épurgateur puisse marcher sans difficulté entre les rangs.

Lumière. On décèle mieux les symptômes de la mosaïque sous une lumière homogène. Sous une lumière directe du soleil accompagnée d'ombres sur les feuilles il est plus difficile de distinguer les symptômes de la mosaïque. Il vaut mieux épurer sous un ciel uniformément couvert. S'il est impossible d'éviter les jours ensoleillés, il faut alors couvrir la plante de sa propre ombre en épurant avec le soleil derrière soi.



Humidité des feuilles. Il ne faut pas épurer lorsque les feuilles sont humides car dans un tel cas les symptômes de la mosaïque sont moins nets.

Vent. L'air ambiant doit être suffisamment calme car le vent augmente la difficulté de détection des virus en remuant les feuilles.

Poussière. Le feuillage doit être dépourvu de résidus de pulvérisation ou de poussière qui rendent difficile l'identification des plantes malades.

Dégâts du feuillage. Les symptômes de la maladie sont également difficiles à déceler sur un feuillage abîmé mécaniquement ou par les insectes. D'autres maladies, surtout les taches foliaires et le flétrissement empêchent une épuration précise.

Herbicides. Il faut appliquer soigneusement les herbicides qui peuvent avoir un effet sur les pommes de terre. Les effets phytotoxiques peuvent être confondus avec les viroses.

4 PRÉCAUTIONS

Le but principal de l'épuration est l'élimination des plantes infectées par des virus. Les virus sont transmis d'une plante à une autre selon deux manières différents : par contact ou par vecteurs.

La transmission par contact se produit par contact direct entre plantes malades. Etant donné que les mains d'une personne se contaminent en pratiquant l'épuration, il est recommandé de ne toucher que les plantes à épurer, sinon l'infection pourrait être transmise aux plantes saines. Ainsi, des ouvriers ou des contrôleurs sanitaires inconscients sont la plupart du temps les meilleurs agents de propagations des virus. Pour réduire la transmission du virus - tels que PVX - par contact, il faut avoir terminé l'épuration avant que le feuillage ne commence à refermer les rangs.

La transmission par vecteurs se produit surtout par les insectes. L'épuration devient inefficace lorsque les insectes et surtout les pucerons envahissent le champ. Les vecteurs dérangés par l'épuration se déplacent et ainsi transmettent la maladie à d'autres plantes. L'épuration doit donc être associée à une lutte chimique efficace contre les vecteurs. (Il faut utiliser des insecticides qui ne laissent pas de résidus sur le feuillage).

Pour éviter que les pucerons ne s'éparpillent, il faut immédiatement ranger le matériel d'épuration dans des sacs imperméables aux pucerons et les enlever du champ.

Précautions supplémentaires. Dès qu'une plante est contaminée, la maladie gagne toutes ses parties végétatives. C'est pourquoi toutes les parties de la plante, y compris les tubercules les plus petits, ainsi que les tubercules-mère et les stolons, doivent être enlevés au moment de l'épuration. Dans le cas contraire, un redéveloppement à partir de ces parties de la plante pourrait provoquer une nouvelle source d'infection.

Les plantes infectées doivent être transportées en un endroit éloigné du champ de pommes de terre et détruites. Cette mesure empêche les insectes vecteurs de réinfester la culture.

5 TECHNIQUE D'ÉPURATION

Les trois étapes successives de la technique d'épuration sont les suivantes :

- (1) identifier les plantes à épurer,
- (2) enlever du sol toutes les parties de la plante, y compris les tubercules et les stolons,
- (3) mettre les plantes éliminées dans des sacs imperméables aux pucerons et les éloigner du champ.

Selon le virus infectant la plante, le stade de croissance de la plante, la classe du plant et les exigences locales, l'épuration peut soit concerner uniquement la plante infectée soit les plantes infectées ainsi que celles qui les touchent.

On commence l'épuration dès que les plantes malades ou indésirables peuvent être identifiées, c'est-à-dire souvent juste après l'émergence des plantes de pommes de terre. Il faut épurer sans interruption en fonction de l'importance des virus et des vecteurs et en fonction des exigences pour la qualité de la classe des plants à produire.

Avant de commencer l'épuration, il faut considérer l'ensemble des caractères de la variété en fonction des conditions particulières du champ afin de se familiariser avec les caractéristiques variétales c'est-à-dire le port, la forme et la couleur des plantes. On emploie comme modèle les plantes les plus robustes et les plus typiques pour les comparer aux plantes d'aspect douteux.

L'épuration sera d'autant plus correcte si la parcelle attribuée à chacun des épurateurs n'est pas trop grande. On confiera la responsabilité de ce travail à des personnes expérimentées. L'efficacité dans ce genre de tâche ne peut s'acquérir que par une expérience obtenue grâce à une pratique constante.

Les réglementations d'inspection locales concernant les méthodes d'épuration doivent être respectées autant que possible.

6 BIBLIOGRAPHIE

- Bokx, J.A. de (ed). 1972. Viruses of potato and seed-potato production. Centre for Agric. Publ. and Doc., Wageningen, The Netherlands. 233 pp.
- Raman, K.V. 1987. Transmission des virus de la pomme de terre par les insectes. Bulletin d'Information Technique 2. Centre International de la Pomme de terre (CIP), Lima, Pérou.

NOTES

BOTANIQUE SYSTÉMATIQUE ET MORPHOLOGIE DE LA POMME DE TERRE

Zósimo Huamán



Morphologie d'une plante de pommes de terre

BOTANIQUE SYSTÉMATIQUE ET MORPHOLOGIE DE LA POMME DE TERRE

Objectifs : L'étude de ce bulletin devrait vous permettre :

- d'expliquer la classification taxonomique et la répartition géographique de la pomme de terre,
- de décrire la morphologie de chaque organe d'une plante de pommes de terre.

Matériel didactique :

- Plantes entières de pommes de terre en fleur (avec leurs racines et leurs tubercules en formation) de différentes variétés.
- Des tubercules mûrs de différentes variétés.
- Un panneau représentant une plante de pommes de terre.

Travaux pratiques :

- Définir les caractéristiques morphologiques de différentes variétés dans un champ au moment de la floraison.
- Définir les caractéristiques des tubercules de différentes variétés au moment de la récolte.

QUESTIONNAIRE

- 1 Définissez les termes "botanique systématique" et "morphologie".
- 2 Dans quelle partie du monde les pommes de terre sauvages poussent-elles naturellement ?
- 3 Dans quelle famille, quel genre et quelle section classe-t-on la pomme de terre ?
- 4 Est-ce que toutes les espèces de pommes de terre sauvages sont tubérifères ?
- 5 Quelle (sous-)espèce de pommes de terre cultive-t-on dans le monde entier ?
- 6 Combien d'espèces de pommes de terre cultivées reconnaît-on généralement ?
- 7 Quel est le nombre chromosomique de base dans les cellules sexuées d'une fleur de pomme de terre ?
- 8 Dans quel degré de ploïdie se situent les espèces de pommes de terre cultivées ?
- 9 Citez les différents ports possibles des plantes de pommes de terre.
- 10 Quelle est la partie de la plante qui développe des racines ?
- 11 De quelles parties de la plante est constitué le système caulinaire de la pomme de terre ?
- 12 Qu'est-ce qu'une tige principale ? Une tige latérale ?
- 13 Morphologiquement, qu'est-ce qu'un stolon ?
- 14 Morphologiquement, qu'est-ce qu'un tubercule ?
- 15 Identifiez les deux extrémités d'un tubercule de pomme de terre.
- 16 Morphologiquement, qu'est-ce qu'un œil de tubercule ?
- 17 Caractérisez les constituants d'un tubercule sur une coupe de tubercule.
- 18 Quel est le principal tissu de réserve d'un tubercule de pomme de terre ?
- 19 A partir de quelles parties de la plante se développent les germes ?
- 20 Comment une feuille de pomme de terre est-elle normalement constituée ?
- 21 Comment une inflorescence de pomme de terre est-elle normalement constituée ?
- 22 Donnez les caractéristiques des constituants d'une fleur de pomme de terre.
- 23 Définissez le terme "graine vraie" par opposition à "plant".

BOTANIQUE SYSTÉMATIQUE ET MORPHOLOGIE DE LA POMME DE TERRE

- 1 Botanique systématique et répartition géographique
- 2 Port de la plante
- 3 Les racines
- 4 Les tiges
- 5 Les stolons
- 6 Les tubercules
- 7 Les germes
- 8 Les feuilles
- 9 L'inflorescence
- 10 Fleur, fruit, graine
- 11 Bibliographie

Il est important de connaître la systématique et la morphologie de la pomme de terre pour en comprendre les aspects botaniques qui sont liés à la production de la pomme de terre et à la recherche.

La botanique systématique procède à l'identification, la classification et la désignation méthodiques des plantes selon un ensemble de règles. Toutes les plantes appartenant à un groupe possèdent un nombre de caractères communs (exemple : la forme et les structures). La morphologie a pour objet l'étude de la forme et de la structure des plantes.

1 BOTANIQUE SYSTÉMATIQUE ET RÉPARTITION GÉOGRAPHIQUE

C'est en fonction de ses caractéristiques florales que la pomme de terre a fait l'objet d'une classification selon le système suivant :

Famille	<i>Solanaceae</i>
Genre	<i>Solanum</i>
Section	<i>Petota</i>

Cette Section est ensuite subdivisée en Séries, Espèces et Sous-espèces. Toutes les espèces de pommes de terre cultivées et sauvages font partie de la Section *Petota*.

Il existe plusieurs systèmes de classification des espèces de pommes de terre se basant surtout sur le nombre de séries et d'espèces reconnues. Il existe ainsi trois systèmes de classification pour les espèces de pommes de terre cultivées. Ceux-ci regroupent 3, 8 ou 18 espèces en fonction du degré de variabilité autour de chaque caractéristique végétale qui est utilisée pour séparer une espèce d'une autre. Le système le plus communément employé est celui qui prend en considération 8 espèces cultivées.

La classification des pommes de terre peut aussi se faire en fonction du degré de ploïdie. On définit la ploïdie par le nombre de jeux de chromosomes (x) présents dans une cellule végétative (somatique). Les cellules végétatives contiennent normalement au moins deux jeux de chromosomes. Le jeu de chromosomes de la pomme de terre se compose de 12 chromosomes; ainsi $x = 12$. Les cellules des espèces de pommes de terre cultivées peuvent contenir de 2 à 5 jeux de chromosomes. Ainsi les espèces de pommes de terre cultivées s'échelonnent du degré diploïde au degré pentaploïde (cf tableau). L'ensemble des jeux de chromosomes et donc le nombre chromosomique total dans les cellules végétatives à n'importe quel degré de ploïdie est noté $2n$.

Voici les 8 espèces cultivées :

Espèces	Nombre chromosomique	Degré de ploïdie
<i>S. x ajanhuiri</i> * <i>S. goniocalyx</i> <i>S. phureja</i> <i>S. stenotomum</i>	$2n = 2x = 24$	diploïde
<i>S. x chaucha</i> <i>S. x juzepczukii</i>	$2n = 3x = 36$	triploïde
<i>S. tuberosum</i> y compris : ssp. <i>tuberosum</i> et ssp. <i>andigena</i> **	$2n = 4x = 48$	tetraploïde
<i>S. x curtii</i>	$2n = 5x = 60$	pentaploïde

* x dans le nom indique que l'espèce est un hybride;

**ssp. = sous-espèce

Parmi les 8 espèces cultivées de la Section *Petota*, seule *Solanum tuberosum* sous-espèce *tuberosum* est cultivée dans le monde entier. Les autres espèces sont circonscrites aux pays andins où on a trouvé des milliers de cultivars primitifs. Récemment, environ 13.000 échantillons ont été rassemblés au cours de plusieurs expéditions de collecte subventionnées par le CIP. Ces échantillons font actuellement partie de la World Potato Collection (Collection mondiale de la pomme de terre).

On reconnaît généralement environ 150 espèces différentes de pommes de terre sauvages. Elles s'étendent de la diploïdie à l'hexaploïdie ($2n = 6x = 72$ chromosomes). Elles sont toutes circonscrites au continent américain. On les trouve selon un axe nord-sud allant du sud des Etats-Unis

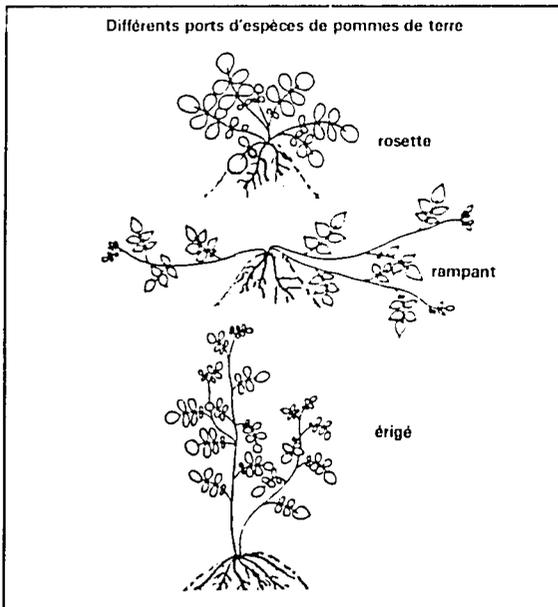
jusqu'au Chili en passant par le Mexique, l'Amérique Centrale et les pays andins. On peut les trouver depuis le niveau de la mer jusqu'à plus de 4.000 m d'altitude. Bien que la plupart des espèces sauvages soient tubérifères, il y en a certaines qui ne le sont pas.

Il y a des différences morphologiques marquées entre les espèces de pommes de terre sauvages et cultivées. La variabilité morphologique est aussi considérable entre et dans les espèces cultivées. De plus, la morphologie de la pomme de terre est influencée par les conditions du milieu telles que la température, la longueur du jour, l'humidité et la fertilité du sol.

La description qui suit se limite aux pommes de terre cultivées.

2 PORT DE LA PLANTE

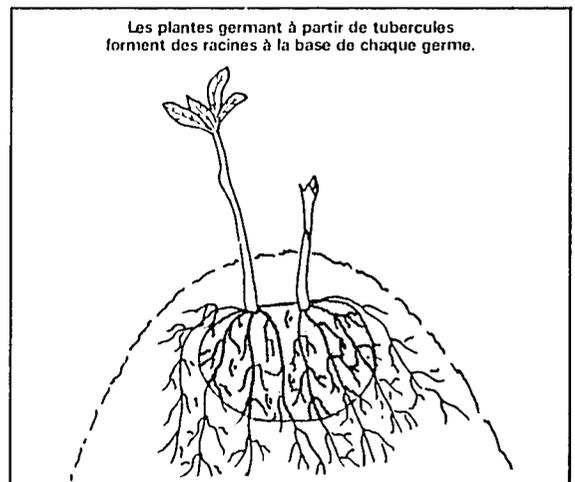
La pomme de terre est une plante herbacée. Son port est variable selon les espèces et même à l'intérieur des espèces. Lorsque toutes les feuilles ou la plupart d'entre elles sont disposées à la base de tiges courtes ou tout près et qu'elles se retrouvent au niveau du sol on parle de plante en rosette ou en semi-rosette. Les espèces *S. x juzepczukii*, *S. x curtlobum* et *S. x ajanhuiri* résistantes au froid sont toutes caractérisées par ce type de port. Parmi les autres espèces, on trouve les ports suivants : le type rampant (tiges rampantes au niveau du sol), le type redressé (tiges rampantes sur le sol mais redressées à l'apex) et les types érigés et semiérigés.



3 LES RACINES

Les plantes de pommes de terre peuvent se développer à partir de graines ou de tubercules. Lorsqu'elles se développent à partir de graines elles forment une racine pivotante mince avec des racines latérales. Les plantes germant à partir de tubercules forment des racines adventives à la base de chaque germe et ensuite au-dessus des noeuds de la partie souterraine de chaque tige. Parfois les racines peuvent aussi apparaître sur les stolons. En comparaison avec d'autres cultures, le système racinaire de la pomme de terre est chétif. C'est pourquoi un bon état du sol est primordial pour la croissance de la pomme de terre. Le type du système racinaire varie de léger et superficiel à fibreux et profond.

Des feuilles isolées, des tiges et autres parties de la plante peuvent former des racines, spécialement par traitements aux hormones. Cette faculté de former des racines est utilisée dans les techniques de multiplication rapide.



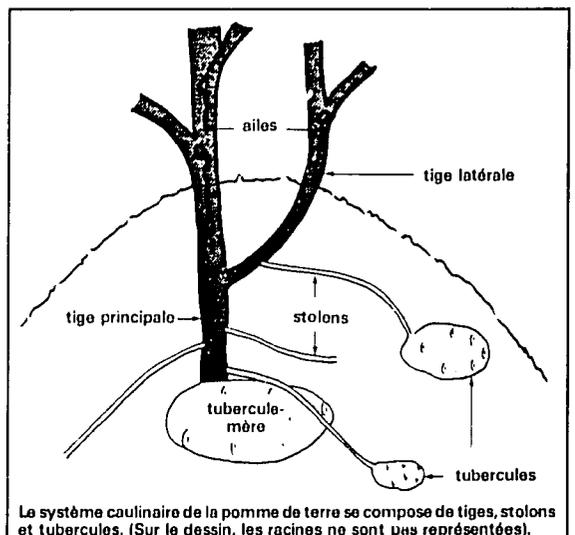
4 LES TIGES

Le système caulinaire de la pomme de terre se compose de tiges, stolons et tubercules. Les plantes germant à partir de graines ont une seule tige principale, tandis que celles germant à partir de tubercules peuvent en produire plusieurs. Les tiges latérales se ramifient sur les tiges principales.

En coupe transversale, les tiges sont rondes à anguleuses. Sur leurs bords anguleux se forment souvent des ailes ou des côtes. Les ailes peuvent être droites, ondulées ou dentées. La couleur de la tige est généralement verte mais il arrive qu'elle soit rouge-brun ou pourpre.

Les tiges peuvent être pleines ou partiellement creuses dans le cas d'une destruction des cellules de la moelle.

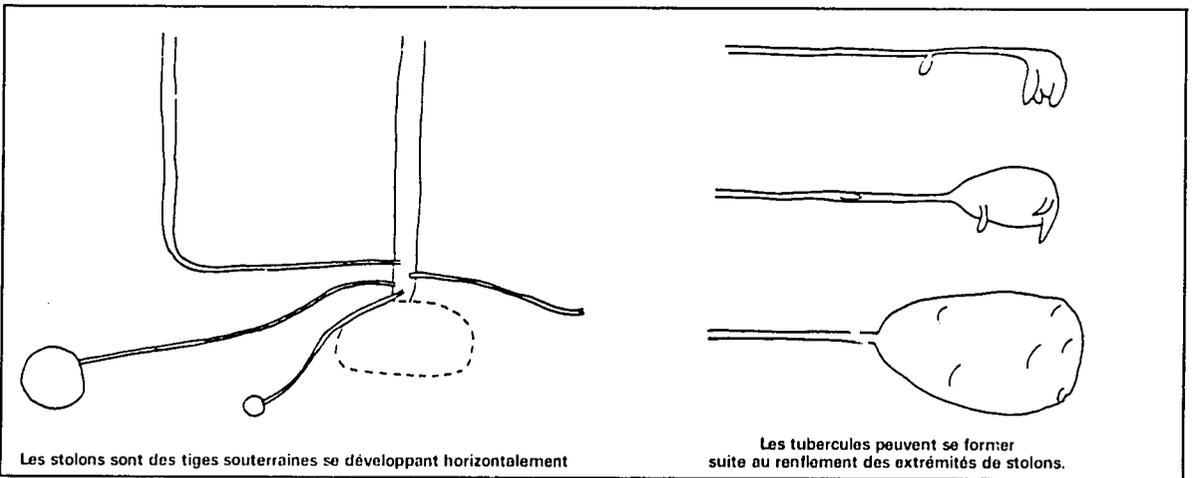
Les tiges portent les feuilles. Les bourgeons axillaires des feuilles peuvent se développer et former des tiges latérales, des stolons, des inflorescences ou même parfois des tubercules aériens.



5 LES STOLONS

Les stolons de la pomme de terre sont des tiges latérales qui se développent horizontalement à partir des bourgeons de la partie souterraine des tiges. La longueur des stolons est un caractère variétal important. La sélection des pommes de terre vise à obtenir plutôt des stolons courts. On trouve couramment des stolons allongés chez les pommes de terre sauvages.

Les stolons peuvent éventuellement produire des tubercules suite au renflement de leurs extrémités. Cependant tous les stolons ne forment pas de tubercules. Si un stolon n'est pas recouvert de terre, il croît verticalement comme une tige normale avec son feuillage.



6 LES TUBERCULES

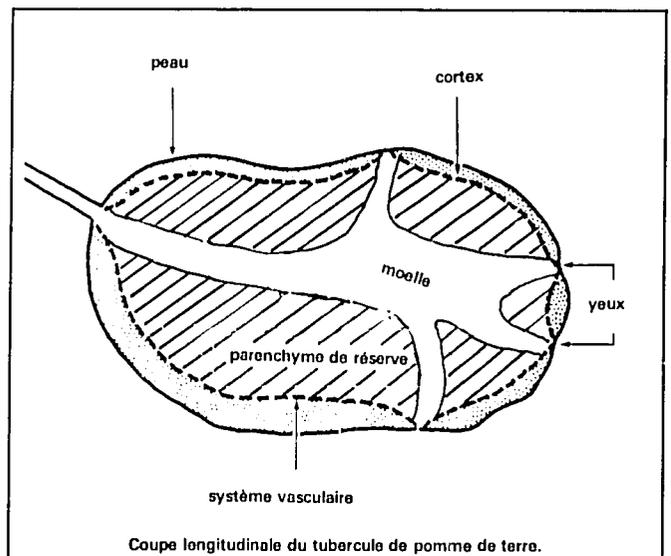
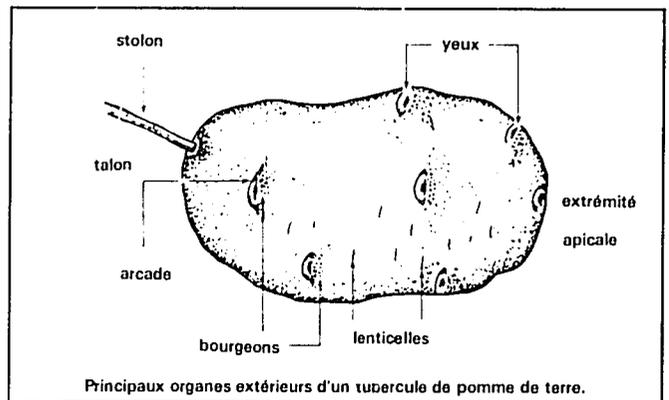
Du point de vue morphologique, les tubercules sont des tiges modifiées et ils représentent l'organe principal de réserve de la plante de pomme de terre. Un tubercule a deux extrémités. Le talon est rattaché au stolon, et à l'opposé se trouve l'extrémité apicale ou distale ou couronne.

Les yeux sont disposés en spirale à la surface du tubercule. Ils sont concentrés vers l'extrémité apicale et se situent aux aisselles de feuilles en forme d'arcades : les arcades. Les arcades peuvent être surélevées, superficielles ou profondes, selon la variété. Chaque œil contient plusieurs bourgeons.

Les yeux d'un tubercule de pomme de terre correspondent morphologiquement aux nœuds des tiges. Les arcades représentent des feuilles en forme d'écaillés et les yeux, des bourgeons axillaires. Les yeux peuvent donner naissance à de nouveaux systèmes caulinaires composés de tiges principales, de tiges latérales et de stolons. En général, à la maturité du tubercule, les yeux sont en dormance, ils sont incapables de se développer. Après un certain temps, en fonction de la variété, l'œil en position la plus apicale rompt le premier la dormance. Cette caractéristique est appelée la dominance apicale. Plus tard, les autres yeux se développent en germes.

Dans la plupart des variétés commerciales les tubercules sont de forme ronde, ovale ou oblongue. A côté de ces formes, certains cultivars primitifs forment des tubercules de formes irrégulières variées.

Une coupe longitudinale du tubercule présente les éléments suivants (de l'extérieur vers l'intérieur) : la peau, le cortex, le système vasculaire, le parenchyme de réserve et la moelle.



La peau (périderme) est une mince couche protectrice en périphérie du tubercule. Sa couleur peut varier entre le blanc-crème, le jaune, l'orange, le rouge ou le pourpre. Certains tubercules ont deux couleurs. Lorsque les tubercules sont exposés quelques jours à la lumière, ils deviennent normalement verdâtres. La peau est généralement lisse et dans certaines variétés rugueuse ou rêche. Elle peut facilement se peler par frottement lorsque le tubercule n'est pas à maturité. C'est pourquoi il arrive fréquemment que la peau subisse des dégâts lorsque les tubercules sont récoltés trop tôt.

Les échanges gazeux dans le tubercule sont assurés par les lenticelles (pores de respiration) répartis à la surface de la peau. Par temps humide, les lenticelles s'agrandissent et apparaissent comme des taches blanches proéminentes.

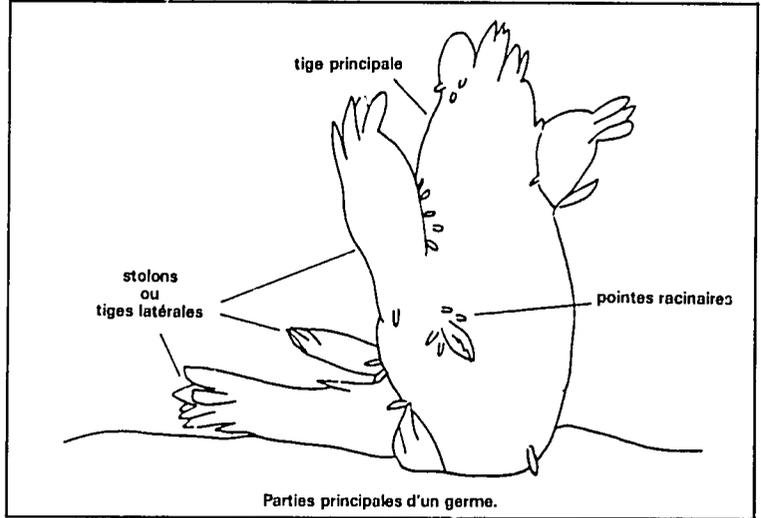
Le cortex se trouve immédiatement sous la peau. C'est une bande étroite de tissu de réserve. Il contient surtout des protéines et de l'amidon. Le système vasculaire relie le tubercule aux autres parties de la plante et aux yeux des tubercules. Le parenchyme de réserve se situe à l'intérieur de l'anneau vasculaire. C'est le tissu de réserve principal et il constitue la plus grande partie du tubercule. La moelle constitue la partie centrale du tubercule.

Tous les éléments depuis le cortex jusqu'à la moelle constituent la chair du tubercule. Celle-ci, dans les variétés commerciales, est généralement blanche, crème ou jaune pâle. Cependant, certaines variétés primitives produisent aussi des tubercules à chair jaune foncé, rouge, pourpre ou à deux couleurs.

7 LES GERMES

Les germes se développent à partir des bourgeons situés au niveau des yeux du tubercule. La couleur du germe est une caractéristique variétale importante. Les germes peuvent être blancs, partiellement colorés à la base ou à l'apex, ou presque totalement colorés. Les germes blancs exposés à la lumière indirecte deviennent verts.

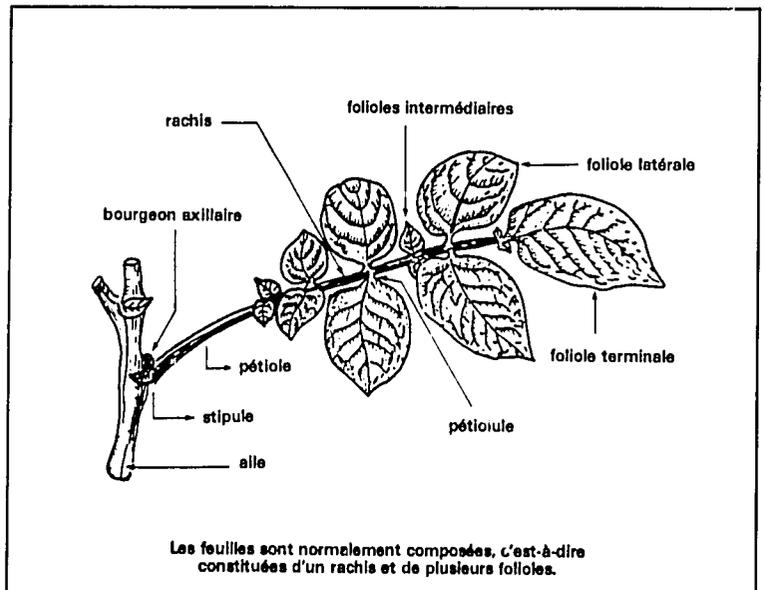
La base du germe forme normalement la partie souterraine de la tige et est caractérisée par la présence de lenticelles. Après la plantation, cette partie produit rapidement des racines et ensuite des stolons ou tiges latérales. L'extrémité du germe est feuillée et représente la zone de croissance de la tige.



8 LES FEUILLES

Les feuilles sont disposées en spirale sur la tige. Les feuilles sont normalement "composées", c'est-à-dire constituées d'une nervure centrale (rachis) et de plusieurs folioles. Chaque rachis peut comporter plusieurs paires de folioles, plus une foliole terminale. Les folioles peuvent être rattachées directement sur le rachis (dans ce cas elles sont sessiles) ou par de petites tiges (pétiolules). La séquence régulière de ces folioles "primaires" peut être interrompue par des folioles "secondaires" intermédiaires.

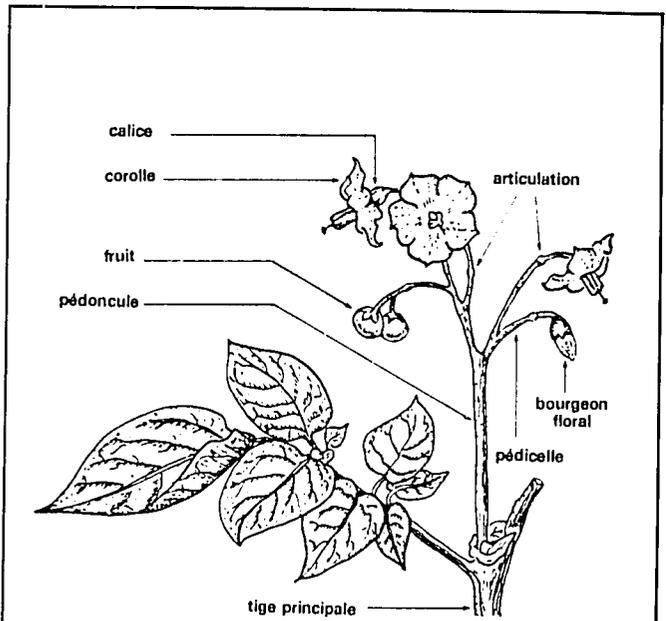
Le pétiole est la partie du rachis située sous la première paire de folioles primaires. A la base du pétiole, la taille et la forme de deux petites feuilles latérales (stipules ou feuilles pseudostipulaires), ainsi que l'angle d'insertion du pétiole sur la tige, sont des caractéristiques variétales facilement reconnaissables. A partir du point d'insertion, les ailes ou côtes peuvent se prolonger vers le bas de la tige.



9 L'INFLORESCENCE

La tige principale (pédoncule) de l'inflorescence est normalement divisée en deux ramifications. Par la suite chaque ramification se divise généralement en deux autres ramifications. Ainsi elles forment une inflorescence en cyme.

Des ramifications de l'inflorescence, se développent les tiges des fleurs (pédicelles) dont les extrémités se fondent dans les calices. Les pédicelles portent une soudure (articulation) indiquant l'endroit où les fleurs et les fruits peuvent se détacher. Chez certains cultivars cette articulation est pigmentée. La position de l'articulation est un caractère taxonomique utile.



10 FLEURS, FRUITS, GRAINES

Les fleurs de pomme de terre sont bisexuées. Elles possèdent les quatre parties essentielles d'une fleur : le calice, la corolle, les organes mâles (androcée = étamines) et les organes femelles (gynécée = pistil).

Le calice, à cinq sépales partiellement soudés à leur base, forme une structure en forme de cloche sous la corolle. La forme et la taille des lobes c'est-à-dire des extrémités libres des sépales varient en fonction du cultivar. Le calice peut être vert ou partiellement ou totalement pigmenté.

La corolle se compose de cinq pétales. Ils sont aussi soudés à leur base et forment un tube court et ensuite une surface plate à cinq lobes. Chaque lobe se termine en une pointe triangulaire (acumen). Le contour de la corolle est généralement rond (rotacé). Certains cultivars primitifs ont des corolles pentagonales ou en forme d'étoile. La corolle peut être blanche, bleu ciel, bleue, rouge ou pourpre avec différents tons et intensités.

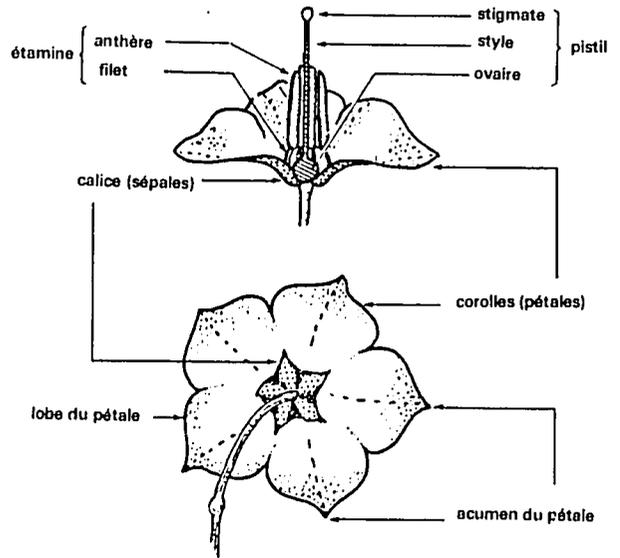
L'androcée (les organes mâles) se compose de 5 étamines qui alternent avec les pétales. Chaque étamine comprend un anthère et un filet qui sont soudés au tube de la corolle. Les anthères sont en général réunis en une colonne conique entourant le pistil. Chez certains cultivars, la maturité des anthères se fait de manière séparée et libre. La couleur des anthères varie du jaune clair à l'orange foncé. Les grains de pollen sont dispersés par les pores aux extrémités des anthères.

Le gynécée (les organes femelles) de la fleur comporte un pistil unique. Le pistil se compose d'un stigmate, d'un style et d'un ovaire. L'ovaire contient de nombreux ovules. Le stigmate est la partie du pistil qui reçoit les grains de pollen; c'est là qu'ils germent en descendant dans le style, partie allongée reliant le stigmate à l'ovaire. Après la fécondation les ovules se transforment en graines (semences botaniques). La longueur du style peut être supérieure, égale ou inférieure à celle des étamines.

Après la fécondation, l'ovaire se développe en un fruit (baie) qui contient de nombreuses graines. Le fruit est généralement de forme sphérique. Certains cultivars produisent aussi des fruits ovoïdes ou coniques. Sa couleur est généralement verte. Chez certains cultivars, les fruits ont des taches blanches ou pigmentées ou des bandes ou zones pigmentées.

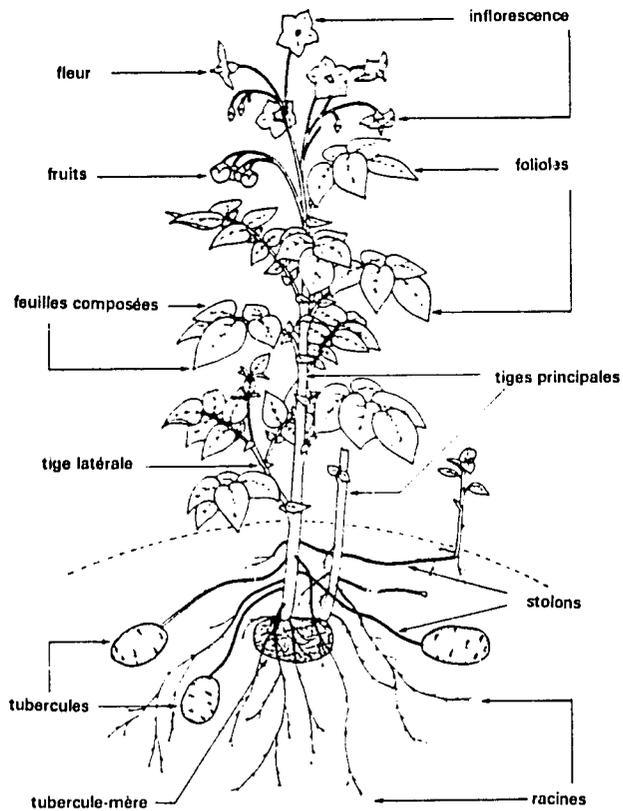
Les graines sont ovales et plates avec un petit hile qui indique leur point d'attache sur l'ovaire. Dans ce cas-ci on parle de semences vraies ou botaniques (par opposition aux tubercules appelés plants, lorsqu'on les utilise pour produire une culture de pommes de terre).

Une inflorescence de pomme de terre est normalement divisée et ensuite subdivisée en formant une cyme.



Fleur en coupe longitudinale (en haut) et vue de dessus (en bas).

Morphologie d'une plante de pomme de terre



11 BIBLIOGRAPHIE

- Bukasov, S.M. (ed.) 1971. Flora of cultivated plants. Vol. IX. The potato. Kolos, Leningrad. 447 pp. (en russe).
- Burton, W.G. 1966. The potato. Veenman & Zonen, Wageningen, The Netherlands. 382 pp.
- Hawkes, J.G. 1978. Biosystematics of the potato. In : Harris, P.M. (ed.). The potato crop; the scientific basis for improvement. Chapman & Hall. London. pp. 15-69.
- Ochoa, C. 1972. El germoplasma de papa en Sud América. In : French, E.R. (ed.). Prospects for the potato in the developing world. International Potato Center, Lima, Peru. pp. 68-84.

AMÉLIORATION DU PLANT CHEZ L'AGRICULTEUR PAR LA TECHNIQUE DES PARCELLES DE PRODUCTION DE PLANTS

James E. Bryan



Marquage dans un champ des meilleures plantes de pommes de terre
au moyen de piquets

AMÉLIORATION DU PLANT CHEZ L'AGRICULTEUR PAR LA TECHNIQUE DES PARCELLES DE PRODUCTION DE PLANTS

Objectifs : L'étude de ce bulletin devrait vous permettre :

- d'expliquer le principe des techniques d'amélioration du plant,
- de faire observer les conditions requises pour les techniques d'amélioration du plant,
- de décrire la marche à suivre de la technique,
- de calculer la taille du champ de production de plants en rapport avec vos exigences,
- d'expliquer les conditions pour la réussite d'un programme employant les techniques d'amélioration du plant.

Matériel didactique :

- Quelques plantes de pommes de terre malades et d'autres saines.

Travaux pratiques :

- Identifier et marquer les plantes souhaitées dans un champ de pommes de terre.
- Signaler les mauvaises plantes et les plantes malades dans un champ.
- Discuter l'emplacement le plus avantageux pour un champ de production de plants en fonction de vos conditions d'exploitation.

QUESTIONNAIRE

- 1 Quel est le principe de la technique des champs de production de plants ?
- 2 Est-ce que l'épuration est obligatoire dans le cas de la technique de l'amélioration du plant ? Quel avantage peut-on retirer de son application ?
- 3 Quelle est la condition principale requise pour l'application de cette technique ?
- 4 Quel champ devez-vous choisir pour commencer le programme de sélection ?
- 5 A quel moment pouvez-vous le mieux reconnaître les plantes les meilleures ?
- 6 Quelles plantes devez-vous repérer au moyen de piquets et quelles plantes ne devez-vous pas repérer ?
- 7 Combien de plantes devez-vous repérer ?
- 8 Donnez plusieurs raisons d'éliminer au moment de la récolte des plantes repérées.
- 9 Comment devez-vous stocker les tubercules de plantes repérées ?
- 10 A quelle utilisation devez-vous destiner les tubercules provenant des plantes sélectionnées ?
- 11 A quelle utilisation devez-vous destiner les tubercules provenant des plantes non repérées à partir du moment où la technique de l'amélioration du plant est en cours ?
- 12 Qu'indique le taux de multiplication ?
- 13 Quels résultats devez-vous attendre et comment pouvez-vous améliorer la technique d'amélioration du plant après quelques années de sélection soignée ?

AMÉLIORATION DU PLANT CHEZ L'AGRICULTEUR PAR LA TECHNIQUE DES PARCELLES DE PRODUCTION DE PLANTS

- 1 Principe
- 2 Marche à suivre
- 3 Calcul de la taille des champs de production de plants
- 4 Résultats escomptés
- 5 Bibliographie

Un producteur de pommes de terre peut produire ses propres plants améliorés et ainsi obtenir une meilleure culture par une méthode de sélection planifiée. La technique de l'amélioration du plant est surtout utile en l'absence d'un programme de production de plants officiel.

1 PRINCIPE

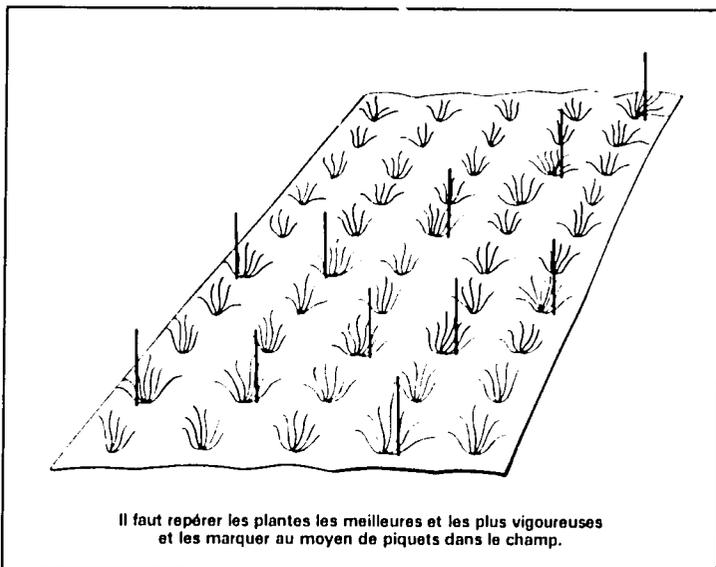
L'objectif est d'améliorer le stock de plants du cultivateur en sélectionnant les meilleures plantes de la culture de pommes de terre en cours, en stockant séparément les tubercules de cette sélection et en les utilisant la saison suivante pour la plantation des champs de production de plants. Ce procédé est répété chaque saison de culture en sélectionnant les meilleures plantes du champ de production de plants de l'année pour le futur champ de production de plants. Le reste des tubercules du champ de production de l'année est employé comme plants pour les cultures normales de pommes de terre de l'agriculteur.

La méthode de sélection ne nécessite pas d'épuration, bien que l'épuration améliore l'efficacité de la méthode. La condition requise la plus importante est la capacité du cultivateur à reconnaître les symptômes des maladies réduisant le rendement. Une telle capacité améliore la sélection des plantes saines.

2 MARCHE À SUIVRE

Le producteur établit un programme de sélection pour obtenir la quantité de plants nécessaires. Ce programme comprend les étapes suivantes :

- a Le meilleur champ de pommes de terre du cultivateur est utilisé pour commencer le programme de sélection.
- b La première année il est préférable, et même plus facile, de faire la sélection au moment de la floraison pour reconnaître la bonne variété et ainsi éviter les mélanges. En ce qui concerne les saisons suivantes, il faut opérer la sélection au stade où les plantes se touchent presque mais peuvent encore être reconnues en tant que plantes individuelles. Les meilleures plantes et les plus vigoureuses sont alors repérées au moyen de piquets dans le champ. Il s'agit de repérer toutes les plantes nécessaires au même moment, et ne marquer que les plantes de la même variété pour éviter les mélanges. Il faut naturellement éviter de sélectionner les plantes présentant des symptômes de virus. Il faut aussi repérer plus de plantes que prévu afin de pouvoir replanter le champ de production de plants la saison suivante.
- c Avant la récolte du champ, il faut récolter à la main les plantes repérées pour garder séparément les pommes de terre sélectionnées. Certaines plantes repérées peuvent être éliminées en cas de faible rendement, de maladies des tubercules ou de malformations.
- d Il faut stocker les tubercules récoltés des plantes repérées, séparément des autres pommes de terre pour éviter les mélanges et la contamination.
- e A la saison suivante, il faut planter les tubercules sélectionnés dans un champ de production de plants nouvellement choisi, sur un terrain qui n'a pas été utilisé pour la culture de pommes de terre la ou les saisons précédentes.
- f De nouveau, comme pour le point (b), les meilleures plantes du champ de production de plants sont repérées; mais cette fois, cette étape est pratiquée plus tôt, c'est-à-dire avant la floraison, tant qu'il est encore aisé de reconnaître les plantes individuelles.



g Les plantes sélectionnées sont récoltées et les tubercules stockés séparément comme indiqué aux points (c) et (d). Ceux-ci sont nécessaires pour replanter le champ de production de plants la saison suivante. Les tubercules provenant des plantes restant non repérées dans le champ de production sont utilisés comme plants pour les cultures de pommes de terre de consommation de l'agriculteur.

h Il faut ensuite continuer avec les étapes (f) et (g), en gardant toujours les meilleures plantes pour le champ de production de plants de la saison suivante et en utilisant les plantes restant pour planter une culture de pommes de terre de consommation.

3 CALCUL DE LA TAILLE DU CHAMP DE PRODUCTION DE PLANTS

La taille du champ de production de plants dépend de l'étendue de la surface de production et du taux de multiplication de la variété utilisée. Le taux de multiplication indique le nombre moyen de tubercules produits par une plante. Les hypothèses suivantes montrent les calculs à effectuer. Des pertes durant le stockage peuvent influencer considérablement le résultat. C'est pourquoi il est indispensable, au départ, de choisir plus de plantes que celles qui seront nécessaires par la suite.

Hypothèses :

Surface de production de pommes de terre	1 ha
Plants nécessaires	2500 kg/ha
Taux de multiplication	10
Poids moyen des tubercules	50 g/tubercule

Calculer la taille du champ de production de plants et le nombre de plants nécessaires à repérer.

Taille du champ de production de plants :

En prenant un taux de multiplication égal à 10, pour 1 ha de culture, la taille nécessaire pour le champ de production serait alors la suivante :

$$\frac{1 \text{ ha}}{10} = 0,1 \text{ ha}$$

Nombre de plantes repérées :

Pour une plantation annuelle d'un champ de production de 0,1 ha, la quantité nécessaire de plants sera :

$$\frac{2.500 \text{ kg}}{\text{ha}} \times 0,1 \text{ ha} = 250 \text{ kg}$$

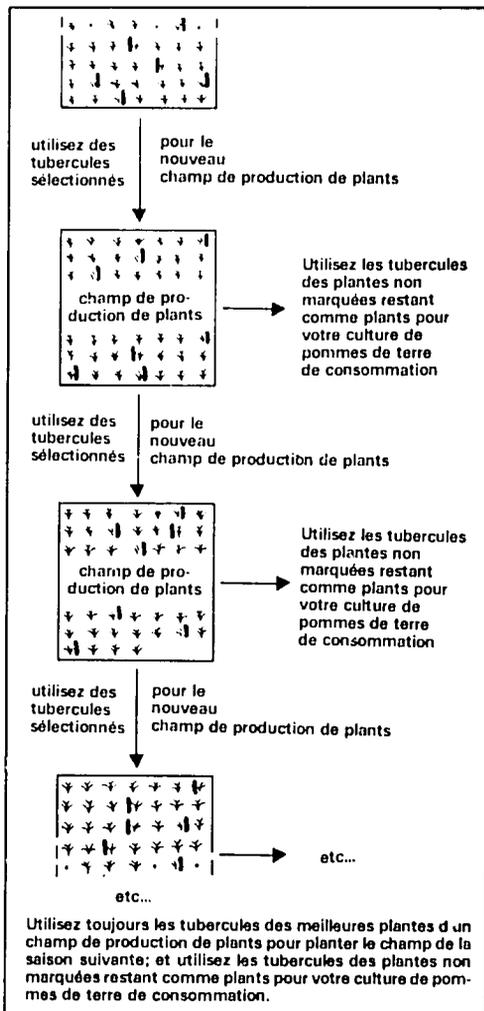
En supposant un poids moyen de 50 g/tubercule, le nombre de tubercules nécessaires sera :

$$\frac{250 \text{ kg}}{0,05 \text{ kg/tuberc.}} = 5000 \text{ tubercules}$$

Comme le taux de multiplication est 10, chaque plante de pommes de terre produit 10 tubercules. Ceci revient à dire que pour produire 5.000 tubercules, le nombre de plantes repérées sera :

$$\frac{5000 \text{ tuberc.}}{10 \text{ tuberc./plante}} = 500 \text{ plantes}$$

Dans la pratique, il vaut mieux prévoir un champ de production de plants légèrement plus grand que celui obtenu par les calculs ci-dessus pour compenser les plantes éliminées à la récolte ou les pertes au stockage.



4 RÉSULTATS ESCOMPTÉS

Après la troisième année d'une sélection soignée, l'aspect des cultures ainsi que les rendements devraient avoir été améliorés. À ce moment-là, on peut commencer l'épuration des plants aux caractéristiques hors-type évidentes (maladies et mélanges).

Dans les pays où plusieurs cultures de pommes de terre sont effectuées chaque année, la technique d'amélioration du plant devrait être organisée de manière à produire des plants physiologiquement prêts pour une plantation au moment désiré.

Plus tard, lorsque le succès de la technique d'amélioration du plant le justifiera, on pourra prendre en considération un programme de sélection de plants d'un niveau plus élevé, tel que la sélection clonale basée sur la sélection et la multiplication des meilleurs clones de pommes de terre.

5 BIBLIOGRAPHIE

- Corbaoui, R. 1987. L'épuration des pommes de terre. Bulletin d'Information Technique 5. Centre International de la Pomme de terre, Lima, Pérou.
 Bokx, J.A. de (ed.). 1972. Viruses of potato and seed-potato production. Pudoc, Wageningen, The Netherlands. 223 pp.
 Raman, K.V. 1987. Transmission des virus de la pomme de terre par les insectes. Bulletin d'Information Technique 2. Centre International de la Pomme de terre, Lima, Pérou.

NÉMATODES PARASITES DE LA POMME DE TERRE

Parviz Jatala



Larves de nématodes (x 50)

NÉMATODES PARASITES DE LA POMME DE TERRE

Objectifs : L'étude de ce bulletin devrait vous permettre :

- de décrire les nématodes en général, et les nématodes de la pomme de terre en particulier,
- de connaître la distribution géographique des principaux nématodes de la pomme de terre,
- de décrire les symptômes et les dégâts provoqués par les nématodes les plus importants de la pomme de terre,
- d'expliquer la morphologie et la biologie d'un nématode typique de la pomme de terre,
- de préciser les facteurs influençant la gravité d'une infestation de nématodes,
- d'expliquer comment observer les infestations de nématodes,
- de discuter des moyens de prévention et de lutte.

Matériel didactique :

- Des plantes, et en particulier des plantes de pommes de terre, endommagées par des nématodes.
- Des illustrations de nématodes contaminant des pommes de terre ainsi que des dégâts.

Travaux pratiques :

- Observer et discuter les dégâts provoqués par les nématodes, leur dissémination et leur distribution dans un champ.

QUESTIONNAIRE

- 1 Qu'est-ce qu'un nématode ?
- 2 Peut-on voir les nématodes à l'œil nu ?
- 3 Où vivent les nématodes ?
- 4 En quoi la majorité des nématodes sont-ils nuisibles ?
- 5 Combien d'espèces de nématodes nuisibles de la pomme de terre ont été recensées ?
- 6 Quels sont les principaux symptômes causés par les nématodes aux pommes de terre ?
- 7 Comment peut-on identifier les nématodes ?
- 8 Quelles sont la forme et la taille des nématodes de la pomme de terre ?
- 9 Donnez une caractéristique importante des nématodes parasites des plantes.
- 10 Décrivez le cycle biologique habituel des nématodes parasites de la pomme de terre.
- 11 En se basant sur les modes alimentaires, comment les nématodes phytoparasites sont-ils généralement regroupés ?
- 12 Quels sont les facteurs les plus importants influençant la gravité des dégâts provoqués par les nématodes ?
- 13 L'humidité influence-t-elle les populations de nématodes ? Comment ?
- 14 Comment l'infestation de nématodes peut-elle être observée ?
- 15 Quel est l'effet de l'infestation d'un champ au niveau de la production des plants de pommes de terre ?
- 16 Quelles sont les principales méthodes de prévention et de lutte ?
- 17 Quelles sont les limites de la rotation des cultures dans la lutte contre les nématodes ?
- 18 Comment la jachère et le labour peuvent-ils affecter les populations de nématodes ?
- 19 Quel est le principe du contrôle sanitaire ?
- 20 Discutez les avantages et les inconvénients de la lutte chimique.
- 21 Décrivez le principe de la lutte intégrée ou de la régulation des nématodes.

NÉMATODES PARASITES DE LA POMME DE TERRE

- 1 Importance des nématodes
- 2 Espèces, distribution géographique
- 3 Symptômes, dégâts
- 4 Morphologie
- 5 Biologie
- 6 Facteurs édaphiques influençant les nématodes
- 7 Observation de l'infestation des nématodes
- 8 Prévention et lutte
- 9 Bibliographie

Les nématodes sont des vers non-segmentés filiformes ou ronds de taille microscopique. On les trouve surtout dans le sol et dans l'eau. Des milliers d'espèces n'ont aucune importance pathologique, cependant quelques-unes provoquent des dégâts aux pommes de terre.

1 IMPORTANCE DES NÉMATODES

Les nématodes représentent l'un des principaux groupes d'organismes vivant dans le sol aux abords des racines des plantes. Ils jouent souvent un rôle vital dans le développement et le rendement des plantes. On parle souvent de "vers filiformes" et de "vers ronds" pour désigner les nématodes parasites des vertébrés, tandis que "anguillules" s'applique aux espèces de nématodes libres et parasites des végétaux.

Les quelques espèces de nématodes qui provoquent des dégâts aux pommes de terre peuvent entraîner une baisse de rendement jusqu'à 20%. En plus de pertes directes de rendement, certains nématodes nuisent à la qualité du tubercule. Les tubercules infectés sont invendables et impropres à la consommation humaine. Lorsqu'on les utilise comme plants, les tubercules infectés peuvent devenir une source d'inoculum et de dissémination des nématodes. Les œufs de certaines espèces ont une durée de vie de plusieurs années dans le sol. Certains nématodes sont vecteurs de virus, d'autres agissent en interaction avec d'autres agents pathogènes pour provoquer des complexes de maladies. Ils peuvent aussi affecter la résistance des plantes aux autres pathogènes.

2 ESPÈCES, DISTRIBUTION GÉOGRAPHIQUE

Plus de 40 espèces de nématodes infectent les pommes de terre, mais il n'y en a que quelques-unes qui ont une importance réelle. La plupart de ces nématodes responsables de dégâts sont répartis dans le monde entier et ont une gamme d'hôtes relativement étendue.

Le tableau présente la répartition à travers le monde des principaux nématodes déprédateurs en culture de pommes de terre.

C = tropical chaud, F = tropical frais, S = subtropical, T = tempéré

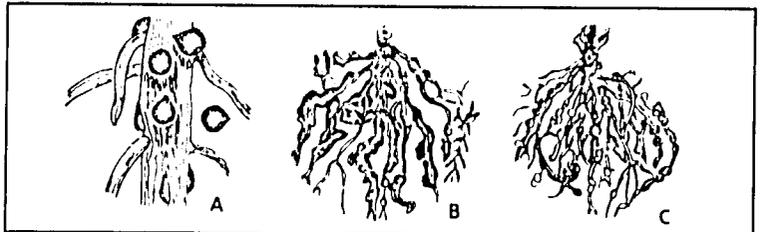
Les caractères majuscules ou minuscules indiquent respectivement un degré d'importance fort ou faible.

Principaux nématodes déprédateurs en culture de pommes de terre (pdt) à travers le monde.

Nom scientifique	Nom commun	Distribution climatologique				
		C	F	S	T	
<i>Globodera pallida</i>	Nématode à kyste de la pdt		F	s	T	
<i>Globodera rostochiensis</i>	Nématode doré ou nématode à kyste de la pdt		F	s	T	
<i>Meloidogyne</i> sp.	Nématodes endoparasites des racines	C	F	S	T	
<i>Nacobbus aberrans</i>	Faux nématode de la nodosité des racines		c	F	T	
<i>Pratylenchus</i> sp.	Nématodes des lésions radiculaires		c	F	s	T
<i>Ditylenchus destructor</i>	Nématode de la pourriture du tubercule				T	
<i>Ditylenchus dipsaci</i>	Nématodes du bulbe et des tiges		f		T	
vecteurs de virus	<i>Longidorus</i> sp.		f		t	
	<i>Paratrichodorus</i>		f		t	
	<i>Trichodorus</i> sp.		f		t	
	<i>Xiphinema</i> sp.	Nématodes stylets	c	f	s	t

3 SYMPTÔMES, DÉGÂTS

Tous les nématodes de la pomme de terre se nourrissent de racines et/ou de tubercules. Les parties aériennes des plantes infestées présentent des symptômes semblables à ceux que peuvent provoquer des dommages sur les racines, une carence en engrais ainsi qu'un manque de vigueur accompagné d'une résistance plus faible à la sécheresse. Les



Des petites boules (moins d'un mm) rondes, blanches ou jaunes, ou des kystes bruns représentent des femelles en développement ou matures de *Globodera pallida* ou *G. Rostochiensis* (Fig. A). Des galles irrégulières sur les racines sont caractéristiques de *Meloidogyne* sp. (Fig. B). Des galles sur les racines, rassemblées en chaîne, sont dues à *Nacobbus aberrans* (Fig. C).

Des lésions nécrotiques peuvent indiquer la présence de *Pratylenchus* sp (A). Une destruction du tissu de tubercule ressemblant à une pourriture sèche et liégeuse, est provoquée par *Ditylenchus destructor* (B).

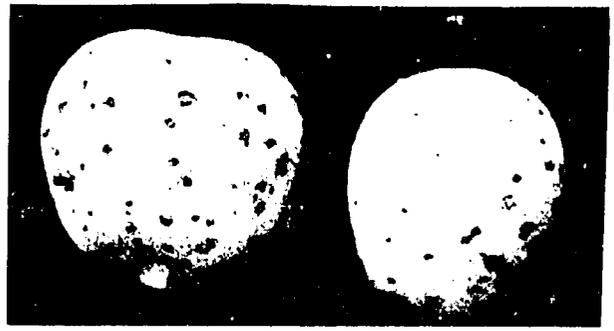
symptômes de dégâts causés par les nématodes apparaissant sur les parties souterraines sont, dans la plupart des cas, typiques chez chaque genre de nématodes et nous aident à identifier les déprédateurs :

- Des petits vers (moins d'un mm) ronds, blancs ou jaunes, ou des kystes bruns représentent des femelles en développement ou mures de *Globodera* sp.
- Des galls irrégulières sur les racines, généralement associées à des déformations des tubercules, sont typiques de *Meloidogyne* sp.
- Des galls sur les racines rassemblées en chaîne sont formées par *Nacobbus aberrans*. Elles peuvent se confondre avec les symptômes provoqués par *Meloidogyne*.
- Des lésions nécrotiques sur les racines et tubercules peuvent indiquer la présence de *Pratylenchus* sp.
- Une destruction du tissu du tubercule que l'on peut mieux qualifier de pourriture sèche comparable au liège, est provoquée par *Ditylenchus destructor*.
- Des racines tronquées sont produites par *Trichodorus* sp. et *Paratrichodorus* sp.

Longidorus sp. et *Xiphinema* sp. ne provoquent pas de symptômes caractéristiques sur les pommes de terre. La présence de ces vecteurs de virus peut être détectée par les symptômes spécifiques des virus.

Les nématodes sont pratiquement invisibles à l'œil nu. Il faut donc un personnel formé utilisant un équipement spécial pour identifier les nématodes. Il est recommandé d'envoyer des racines de plantes infectées ainsi que des échantillons du sol environnant aux laboratoires spécialisés dans l'identification des nématodes.

Pour ce qui est des symptômes visibles sur les parties souterraines, les dégâts causés par les nématodes, dans la plupart des cas, sont typiques d'un genre de nématodes. La connaissance de ces symptômes facilite l'identification des déprédateurs : De petites femelles (moins d'un mm) rondes, blanches ou jaunes, ou des kystes bruns représentent des femelles en développement ou mures de *Globodera pallida* (Fig. A) ou de *G. rostochiensis* (Fig. B). Des galls irrégulières sur les racines sont typiques de *Meloidogyne* sp. (Fig. C). Des galls sur les racines, rassemblées en chaîne sont dues à *Nacobbus aberrans* (Fig. D).



A



B



4 MORPHOLOGIE

Les nématodes, vers filiformes non-segmentés ou ronds, ont un corps cylindrique qui, à maturité, peut devenir fuselé ou en forme de sac. Les nématodes parasites de la pomme de terre ont une longueur variant entre 0,5 et 4 mm. Leur largeur varie entre 0,05 et 0,25 mm. Le corps des nématodes a généralement une symétrie bilatérale.

En général les nématodes ne sont pas colorés et sont plus ou moins transparents. Ils ne possèdent ni système circulatoire, ni système

respiratoire. Les sexes sont habituellement séparés. Chez certaines espèces, on rencontre un dimorphisme sexuel prononcé. Les femelles de ces espèces s'élargissent pour devenir un sac reproductif, tandis que les mâles restent filiformes. C'est le cas des parasites sédentaires (voir plus loin).

Les nématodes parasites des plantes se caractérisent surtout par la présence d'un stylet utilisé pour l'alimentation. Cependant un stylet ne sont pas tous des parasites de plantes.

5 BIOLOGIE

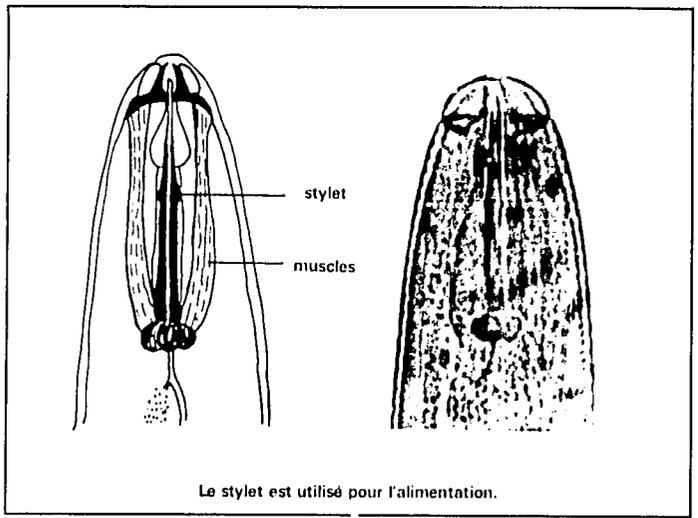
Les nématodes parasites de la pomme de terre passent au moins une partie de leur cycle biologique dans le sol. Comme les nématodes sont fondamentalement des animaux aquatiques, il est absolument nécessaire qu'un film d'humidité les entoure pour que leur survie soit assurée. Le cycle biologique général des nématodes parasites de la pomme de terre est simple. Les femelles pondent des œufs qui éclosent en de jeunes nématodes, appelés larves ou formes juvéniles, lesquelles sont sensiblement identiques aux adultes, quant à la structure et à l'aspect. Durant leur croissance et développement, les larves subissent une série de quatre mues. On appelle stade larvaire la période de croissance entre chaque mue. Certains nématodes subissent les premières mues alors que la larve est encore à l'intérieur de l'enveloppe de l'œuf.

La proportion de mâles et de femelles est variable mais dans la plupart des cas, elle est équilibrée. Cependant, chez quelques espèces, les mâles sont rares ou même inexistants. Dans ces cas-là, les gonades femelles produisent à la fois des ovules et des spermatozoïdes.

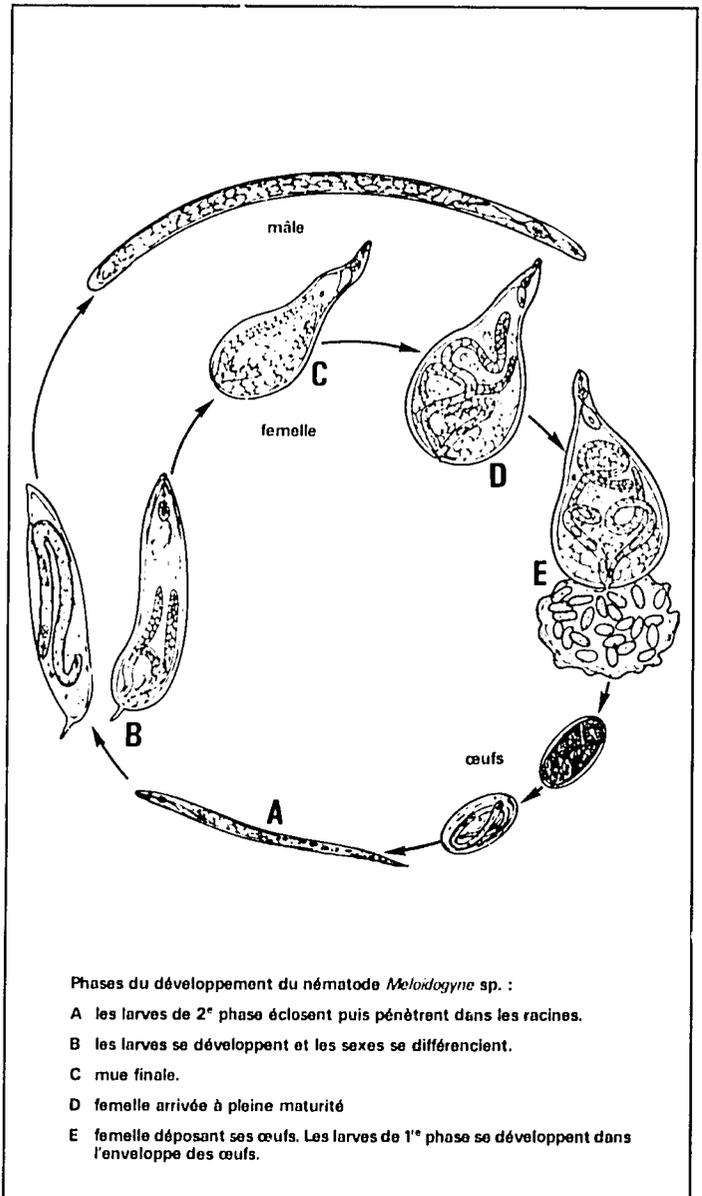
Selon les modes d'alimentation, on groupe généralement les nématodes phytoparasites en trois catégories :

- Les ectoparasites qui ne pénètrent normalement pas dans les tissus (*Londigorus*, *Xiphinema* spp.)
- Les semi-endoparasites qui se nourrissent normalement avec la partie proximale du corps enfoncée dans la racine de la plante.
- Les endoparasites qui pénètrent complètement dans la racine de la plante et s'y nourrissent au moins une partie de leur cycle biologique avec leur corps entièrement enfoncé à l'intérieur du tissu radiculaire de la plante. C'est le mode d'alimentation le plus généralisé chez les nématodes de la pomme de terre tels que *Globodera*, *Meloidogyne*, *Nacobbus*, *Ditylenchus* et *Pratylenchus* spp.

D'autres subdivisions dans chacun de ces trois modes d'alimentation tiennent compte du parasitisme migratoire et sédentaire. Comme son nom l'indique, le parasite migrant circule librement dans les racines, tandis que le parasite sédentaire, après avoir choisi le meilleur endroit pour s'alimenter, pénètre dans les racines et devient sédentaire.



Le stylet est utilisé pour l'alimentation.



6 FACTEURS ÉDAPHIQUES INFLUENÇANT LES NÉMATODES

Comme les nématodes sont des animaux édaphiques, les principaux facteurs influençant les conditions de sol agissent directement ou indirectement sur leur nocivité. Les facteurs les plus importants sont :

- la température,
- l'humidité
- la texture du sol
- l'aération,
- les propriétés chimiques du sol.

La température. Elle influence les activités suivantes des nématodes : éclosion des œufs, reproduction, croissance et survie qui déterminent leur installation et le parasitisme. Les exigences thermiques varient suivant l'espèce du nématode. La température optimale se situe entre 15°C et 30°C pour la plupart des nématodes phytoparasites.

L'humidité. La fluctuation de l'humidité du sol provenant des précipitations ou de l'irrigation est le principal facteur influençant la dynamique des populations de nématodes. Un excès d'humidité entraîne un manque d'oxygène et une augmentation des toxines de microorganismes anaérobies. Un manque d'humidité dans le sol et un dessèchement entraînent l'inactivité et éventuellement la mort, sauf en cas d'adaptation spéciale pour la survie comme dans le cas de *Globodera* et *Nacobbus*.

Les kystes de *Globodera* supportent la dessiccation et les œufs qu'ils contiennent peuvent survivre 20 ans et plus. Les kystes représentent le moyen principal de dissémination chez *Globodera* sp. Les œufs, les larves et les adultes de *Nacobbus* ainsi que d'autres nématodes parasites supportent la dessiccation et survivent de longues périodes jusqu'à ce que des conditions favorables les réactivent.

La texture du sol. L'activité et les mouvements d'un nématode dans le sol pour atteindre son hôte sont fonction de la porosité du sol, de la taille des particules du sol et de l'épaisseur de la pellicule d'eau en présence. La texture du sol influence la structure, une propriété du sol en rapport avec la géométrie des espaces poreux. Par conséquent, un sol argileux à fine texture peut empêcher la croissance et la pénétration des racines par suite de l'étroitesse des pores. Il peut aussi inhiber les nématodes qui exigent pour leur déplacement dans le sol des pores de 0,02 mm de diamètre.

L'aération. Une mauvaise aération du sol diminue la durée de survie des nématodes et la densité de la population. Ceci est particulièrement vrai pour la survie des nématodes dans le cas de sols irrigués parce que l'apport d'oxygène est réduit considérablement pendant les périodes d'irrigation.

Les propriétés chimiques du sol. La salinité, le pH, les matières organiques, les engrais et les pesticides agissent sur l'éclosion et l'activité des nématodes.

Les produits chimiques influencent les parasites soit par l'intermédiaire des plantes ou d'autres organismes, soit directement. Par exemple, les composés azotés ajoutés au sol ou leurs produits de dégradation, ont une influence sur les microorganismes entraînant une diminution des populations de *Pratylenchus penetrans*. De même, l'application de nitrate de sodium (NaNO_3) et de nitrate d'ammoniacque (NH_4NO_3) réduit l'éclosion, la pénétration et le développement des nématodes à kystes.

D'autres facteurs qui influencent la croissance de la plante ont aussi un effet sur les nématodes. De plus, la résistance de la plante et les mauvaises herbes qui entretiennent les populations de nématodes sont en relation directe avec l'augmentation des populations de nématodes et la gravité des dégâts.

7 OBSERVATION DE L'INFESTATION DES NÉMATODES

Des densités élevées de populations de nématodes peuvent réduire sérieusement le rendement en pommes de terre. La production de plants dans les champs infestés est déconseillée, étant donné que les plants ou la terre collée aux tubercules sont un moyen de dissémination des nématodes. Certaines mesures réglementaires peuvent tolérer un certain niveau d'infestation du sol par des nématodes. Cependant, les champs infestés doivent en principe être exclus de la production de plants.

Une observation directe des racines et tubercules sur le terrain pendant la saison culturale aide à estimer la présence de nématodes ou l'importance des dégâts. La meilleure méthode d'observation est de prélever des échantillons de sol et de matériel végétal avant la plantation, pendant la culture et après la récolte. Le sol et le matériel végétal doivent être analysés par des nématologistes ou des laboratoires expérimentés et compétents en vue de l'identification des nématodes.

8 PRÉVENTION ET LUTTE

Plusieurs mesures de prévention et de lutte contre les nématodes de la pomme de terre peuvent être efficaces en fonction des conditions locales.

Prévention et quarantaine. La lutte phytosanitaire contre les nématodes implique l'observation de la quarantaine pour empêcher l'introduction et la dissémination d'un nématode phytoparasite particulier dans des régions connues pour être épargnées par cette espèce. Ceci n'est efficace que lorsque la nature du nématode spécifique est connue et que les règlements sont observés. Malgré quelques erreurs et imperfections, l'action du contrôle phytosanitaire a sans aucun doute réduit la dissémination de certains nématodes parasites de la pomme de terre.

Rotation des cultures. Certains critères doivent être pris en considération pour que la rotation des cultures soit efficace. La densité de population des nématodes doit être suffisamment élevée pour être potentiellement dangereuse ou pour réellement provoquer des dégâts à la culture principale. Il est essentiel de connaître la gamme d'hôtes des nématodes. Les densités de population de nématodes doivent être sensiblement réduites par la rotation des cultures de manière à ce que la culture principale soit rentable et que la culture de rotation puisse s'adapter et être commercialisée. Cette méthode de lutte est donc restreinte aux parasites à gamme d'hôtes limités tels que *Globodera* sp.

Jachère et labour. La lutte contre les nématodes en laissant des champs en jachère ou labourés est en relation avec la rotation des cultures. La dessiccation, la chaleur et l'absence de plantes-hôtes réduisent les populations de nématodes. Les désavantages en sont l'absence de revenus et l'augmentation possible de l'érosion du sol.

Contrôle phytosanitaire. Le contrôle phytosanitaire est particulièrement important pour empêcher l'introduction de matériel végétal infesté par les nématodes dans des régions saines. Il faut éviter la production de plants dans des régions infestées et empêcher la transmission des nématodes par l'intermédiaire du sol, de machines agricoles et d'outils contaminés. Les nématodes peuvent être véhiculés par la terre collant aux tubercules issus de variétés résistantes.

Lutte physique. Le traitement du sol à la chaleur, le traitement des plantes à l'eau chaude, l'électricité, les radiations et les ultrasons sont des méthodes de lutte physique contre les nématodes. Mais ces méthodes ne sont efficaces que lorsqu'elles sont utilisées en espaces restreints tels que les serres et les pépinières.

Résistance. Les variétés résistantes offrent une méthode pleine de promesses pour lutter contre les nématodes. Des programmes de sélection incluent la production de lignées résistantes à un nématode particulier, mais la variété obtenue peut être affectée par d'autres races du même nématode. Cette méthode de lutte offre des possibilités en combinaison avec la rotation des cultures et d'autres moyens de lutte.

Lutte chimique. La lutte chimique contre les nématodes demande la mise en contact des nématodes parasites avec des substances chimiques toxiques, appelées nématicides, en concentration suffisamment élevée pour les tuer. Bien que ce mode de lutte soit efficace et largement utilisé, l'emploi de produits chimiques par un personnel non-qualifié est souvent difficile et hasardeux. Les produits chimiques doivent être appliqués de manière correcte et dans des conditions de milieu favorables.

En se basant sur leur action dans le sol, on classe les nématicides en deux catégories : les fumigants et les non-fumigants. Les fumigants se volatilisent et se transforment en gaz qui se dispersent dans le sol. Ils sont très phytotoxiques et ils doivent être appliqués de 15 jours à un mois avant la plantation. Parmi les fumigants efficaces contre les nématodes de la pomme de terre, on trouve le DD, le Super DD, le Telone et le Vorlex.

Les nématicides non-fumigants sont soit des organo-phosphorés, soit des carbamates. Ces produits existent souvent en granulés. Ils peuvent être appliqués au moment de la plantation des pommes de terre, sur 10 à 15 cm de large dans les sillons directement sur les pommes de terre. La température et l'humidité du sol doivent être favorables à la plantation. Le Mocap et le Nemacur sont des organo-phosphorés ; l'Aldicarbe, le Carbofuran et l'Oxamyl sont des carbamates qui ont été utilisés dans la lutte contre les nématodes de la pomme de terre.

Lutte intégrée ou régulation des nématodes. Bien que toutes les méthodes aient leurs mérites, il est préférable de ne pas appliquer une seule méthode de manière continue. En pratique, l'intégration ou la combinaison de plusieurs moyens de lutte est nécessaire pour maintenir les densités de population de nématodes à des niveaux tels qu'ils ne causent pas de dommages économiques, et pour empêcher leur établissement dans de nouvelles zones. Une intégration de méthodes bien connue pour lutter contre *Globodera* spp. comprend, dans un programme systématique, une rotation de 2 ans associée à une fumigation du sol et à la culture de variétés résistantes et non-résistantes. En voici les caractéristiques clefs :

- étude extensive pour déterminer la présence de nématodes et leur répartition,
- fumigation du sol pour réduire les populations,
- emploi de variétés résistantes pour empêcher l'augmentation de la densité des populations de nématodes,
- rotation des cultures,
- emploi de machines agricoles et outils propres,
- emploi de plants sains,
- interdiction de produire des plants de pommes de terre dans des champs connus pour être infestés ou exposés à l'infestation.

Les mesures de lutte peuvent être associées à l'emploi de cultures pièges (*Crotolaria* sp. pour *Meloidogyne*), d'engrais verts ou organiques, d'irrigation, de plantes antagonistes (*Tagetes* sp. pour *Pratylenchus*) et à l'emploi d'agents de lutte biologique tels que les champignons, les bactéries et les prédateurs.

9 BIBLIOGRAPHIE

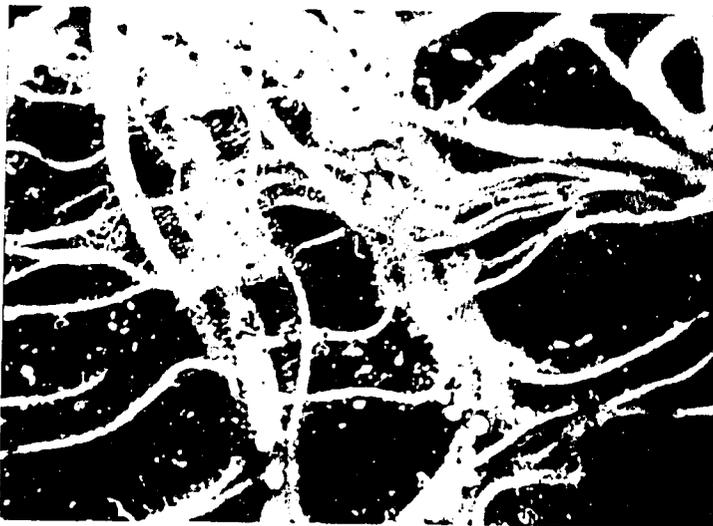
- Franco, J. 1987. Nématodes à kyste de la pomme de terre; *Globodera* spp. Bulletin d'Information Technique 9. Centre International de la Pomme de terre, Lima, Pérou.
- International Potato Center. 1978. Developments in the control of nematode pests of potato. Report of the 2nd nematode planning conference. International Potato Center, Lima, Peru. 193 pp.
- Jenkins, W.R., and D.P. Taylor. 1967. Plant Nematology. Reinhold Publishing Corporation, New York, Amsterdam, London. 270 pp.
- Mai, W.F. et al. 1981. Nématodes. pp.93-101. In : Hooker, W.J. (ed.). Compendium of potato diseases. American Phytopathological Society, St Paul, Minnesota. 125 pp.
- Scurrah, M. 1987. Evaluation de la résistance aux nématodes à kyste de la pomme de terre. Bulletin d'Information Technique 10. Centre International de la Pomme de terre, Lima, Pérou.
- Wallace, H.R. 1973. Nematode ecology and plant disease. Edward Arnold Publishers Limited, 25 Hill Street, London. 228 pp.
- Webster, J.M. (ed.) 1972. Economic Nematology. Academic Press London, New York. 563 pp.

NOTES

NÉMATODES A KYSTE DE LA POMME DE TERRE

Globodera spp.

Javier Franco



Femelles de nématodes à kyste de la pomme de terre se développant sur des racines de pomme de terre (x 4)

NÉMATODES A KYSTE DE LA POMME DE TERRE

Globorera spp.

Objectifs : L'étude de ce bulletin devrait vous permettre :

- de discuter les dégâts causés par les nématodes à kyste de la pomme de terre,
- de décrire les symptômes apparaissant à partir d'une infestation de nématodes à kyste de la pomme de terre,
- de préciser la classification taxonomique des nématodes à kyste de la pomme de terre,
- de décrire leur morphologie,
- d'expliquer leur cycle biologique et leur biologie,
- de discuter les relations plante de pommes de terre-nématode à kyste,
- d'expliquer les méthodes de détermination d'une infestation par les nématodes à kyste,
- de dresser la liste et discuter les méthodes de prévention et de lutte.

Matériel didactique :

- Des plantes infestées par des femelles en croissance et des kystes de nématodes à kyste de la pomme de terre.
- Des illustrations montrant les dégâts et les symptômes.

Travaux pratiques :

- Observez et discutez les dégâts et les symptômes des nématodes à kyste de la pomme de terre en champ.
- Estimez le niveau d'une infestation en champ au moyen des deux méthodes au champ décrites dans le chapitre 7.
- Rassemblez quelques kystes, placez-les sur une plaque de verre, ouvrez-les en les pressant avec une aiguille, observez le contenu (œufs et larves) à l'aide d'un simple microscope ou d'une bonne loupe de poche.

QUESTIONNAIRE

- 1 Quelle est la gamme d'hôtes des nématodes à kyste de la pomme de terre ?
- 2 Comment se fait la répartition des nématodes à kyste de la pomme de terre d'importance mondiale dans votre pays ?
- 3 Pourquoi les dégâts provoqués par les nématodes à kyste de la pomme de terre sont-ils souvent trompeusement peu apparents ?
- 4 Quels genres de dégâts peuvent provoquer les nématodes à kyste de la pomme de terre ?
- 5 Quels sont les symptômes qui révèlent la présence de nématodes à kyste de la pomme de terre ?
- 6 Citez les deux espèces de nématodes à kyste de la pomme de terre.
- 7 Quelle est la différence la plus notable entre ces deux espèces ?
- 8 Décrivez brièvement la morphologie du deuxième stade larvaire et de la femelle en développement.
- 9 A quel stade sont les nématodes à leur éclosion ?
- 10 Comment les racines de pommes de terre stimulent-elles l'éclosion des nématodes ?
- 11 Comment les femelles se développent-elles ?
- 12 Combien de temps les œufs situés à l'intérieur des kystes peuvent-ils rester en vie ?
- 13 Dans quelle proportion une population de nématodes à kystes de la pomme de terre peut-elle augmenter en un an ?
- 14 Décrivez deux principes qui montrent l'adaptation des nématodes à kyste de la pomme de terre à leur hôte.
- 15 Comment détermine-t-on la résistance ?
- 16 Quels sont les deux processus auxquels sont attribués les mécanismes de la résistance ?
- 17 Quel est le principe de la tolérance ?
- 18 Que sont les pathotypes ?
- 19 Décrivez deux méthodes au champ faciles pour estimer une infestation de nématodes.
- 20 Décrivez la méthode biologique pour déterminer l'infestation du sol.
- 21 Quels éléments faut-il inclure dans un programme intégré pour la régulation des nématodes ?
- 22 Discutez chaque élément de cette lutte.

NÉMATODES A KYSTE DE LA POMME DE TERRE

Globodera spp.

- 1 Importance
- 2 Symptômes
- 3 Taxonomie
- 4 Morphologie
- 5 Cycle biologique et biologie
- 6 Relations plante de pommes de terre-nématode à kyste
- 7 Détermination des densités de populations de nématodes
- 8 Prévention et lutte
- 9 Bibliographie

Les nématodes sont des animaux microscopiques (connus aussi sous le nom de vers ronds, vers filiformes ou anguillules) que l'on retrouve dans une très grande variété d'habitats, et surtout dans la terre et l'eau. La plupart sont saprophytes, c'est-à-dire qu'ils assurent leur nutrition à partir de matières organiques en décomposition ou mortes, tandis que certains d'entre eux sont parasites des animaux et des plantes. Dans certaines zones de culture de la pomme de terre, deux espèces de nématodes à kyste de la pomme de terre, *Globodera rostochiensis* et *G. pallida*, endommagent les racines de pommes de terre et provoquent ainsi des baisses de rendement considérables. D'autres régions sont encore indemnes de ce ravageur contre lequel la lutte exige une connaissance particulière de son cycle biologique et une conduite des cultures appropriée.

1 IMPORTANCE

Les principales cultures commerciales atteintes par les nématodes à kyste de la pomme de terre sont la pomme de terre, la tomate et l'aubergine. Quelques autres plantes appartenant aux Solanacées et quelques autres familles incluant certaines adventices peuvent servir d'hôtes. Ainsi, la gamme d'hôtes est relativement restreinte.

Les nématodes à kyste de la pomme de terre sont probablement originaires des Andes d'Amérique du Sud où ils ont évolué avec leur hôte principal, la pomme de terre. C'est pendant la seconde moitié du 19^{ème} siècle qu'ils furent introduits en Europe. De là, ils se sont répandus dans les pays tempérés du nord ainsi que dans les régions d'altitude sous les latitudes tropicales.

Les dégâts causés par les nématodes à kyste de la pomme de terre sont souvent trompeusement peu apparents et souvent les niveaux de population du déprédateur sont masqués. Les populations de nématodes dans le sol peuvent décupler annuellement alors que les dégâts ne deviendront évidents qu'à un certain degré d'infestation lié aux conditions locales telles que la fertilité du sol et l'apport suffisant en eau. En cas de faible fertilité, les dégâts deviennent visibles à partir d'une infestation de 10 à 20 œufs par gramme de sol. Une fertilité élevée avec un contenu en eau suffisant peut masquer une infestation du sol beaucoup plus élevée.

Les deux types de pertes liées à une infestation de nématodes sont :

- directes, dues à la diminution de rendement;
- indirectes, étant donné les dépenses occasionnées pour la lutte et la quarantaine.

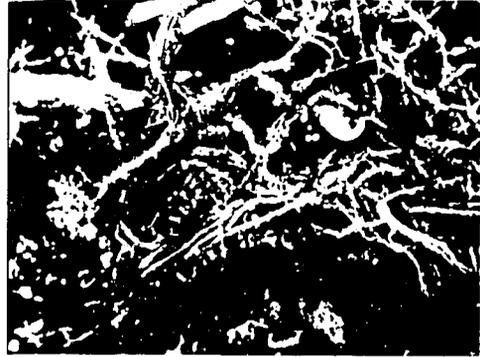
Les pertes directes. Même en l'absence de signes évidents d'une infestation de nématodes à kyste de la pomme de terre, la perte de rendement peut être importante. Des diminutions de production allant jusqu'à 15% peuvent se produire alors qu'aucun symptôme n'est visible en surface dans le champ de pommes de terre. La perte de rendement peut être de 2 tonnes par hectare lorsque l'infestation atteint 20 œufs par gramme de sol. Le rendement risque d'être inférieur à la quantité de tubercules plantés.

Les pertes indirectes. Une fois qu'ils sont établis dans une zone, il est très difficile d'éliminer les nématodes à kyste de la pomme de terre. De longues périodes de rotation de culture destinées à réduire les populations de nématodes signifient que les pommes de terre ne pourront plus être cultivées dans le même champ pendant de nombreuses années. La lutte chimique est chère, dangereuse et pas totalement efficace. Les mesures réglementaires de quarantaine en vigueur dans le pays pour lutter contre l'introduction du déprédateur limitent souvent la production de pommes de terre de consommation et de plants.

2 SYMPTÔMES

Les nématodes à kyste de la pomme de terre ne provoquent pas immédiatement de symptômes visibles en surface. Ils peuvent rester dans le sol pendant des années avant d'être détectés. Le premier symptôme est une croissance faible des plantes en une ou plusieurs zones du champ. Ces zones s'agrandissent à chaque nouvelle plantation de pommes de terre. La croissance racinaire peut en être réduite. Les plantes sont généralement décolorées, rabougries, chétives et se flétrissent rapidement durant la partie chaude et sèche de la journée. Un manque de compétition de ces plantes de pommes de terre infestées entraîne un développement plus rapide des mauvaises herbes. Les tubercules sont plus petits et le rendement est souvent réduit.

Par un examen attentif des racines on aperçoit de minuscules corps ronds d'environ 0,5 à 1 mm de diamètre, de couleur blanche, jaune ou brune. La couleur dépend du degré de maturité des femelles et de l'espèce (*G. pallida* au dessus, *G. rostochiensis* en bas).



Par un examen attentif des racines on aperçoit de minuscules corps ronds d'environ 0,5 à 1 mm de diamètre, de couleur blanche, jaune ou brune. La couleur dépend du degré de maturité des femelles et de l'espèce (*G. pallida* au dessus, *G. rostochiensis* en bas).

3 TAXONOMIE

Les nématodes à kyste de la pomme de terre appartiennent à la classe des *Nematoda*. Récemment ils ont été affectés au genre *Globodera* vu la forme ronde et globuleuse de leurs kystes. (Précédemment ils appartenait au genre *Heterodera*, dont la caractéristique était des kystes en forme de citron). Onze espèces de *Globodera* attaquent les plantes de plusieurs familles. Deux espèces *G. rostochiensis* (Wollenweber, 1923) et *G. pallida* (Stone, 1972) attaquent les pommes de terre. Les noms communs des deux espèces sont : nématode doré, anguillule des racines de pomme de terre ou nématode à kyste de la pomme de terre.

La différence la plus évidente entre les deux espèces est la couleur des femelles immatures. Les femelles immatures de *G. rostochiensis* sont jaunes ou dorées, d'où le nom de nématode doré. Les femelles de *G. pallida* sont blanches ou crèmes. Ensuite les femelles des deux espèces deviennent des kystes bruns, mais les femelles de *G. pallida* ne passent pas par le stade "doré".

Comme autre caractéristique taxonomique, on trouve une pièce buccale en fer de lance (le stylet) avec ses boutons basaux.

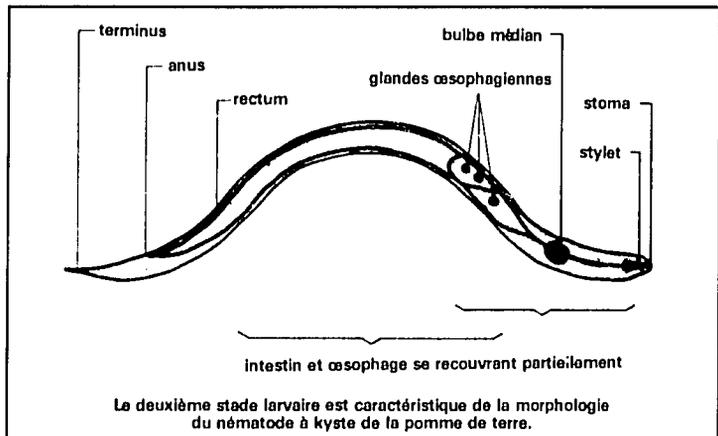
- G. rostochiensis* : stylet de 19-21 μ m de long,
boutons basaux vers l'arrière.
- G. pallida* : stylet de 23-24 μ m de long,
boutons basaux vers l'avant.

On rencontre les deux espèces dans les pays Andins, mais *G. rostochiensis* prédomine en dehors de l'Amérique du Sud.

4 MORPHOLOGIE

Le deuxième stade larvaire du nématode à kyste de la pomme de terre a une morphologie caractéristique. Ce stade, qui ne peut être étudié qu'à l'aide d'un microscope, ressemble typiquement à un ver rond allongé. Le canal alimentaire se compose d'un orifice buccal, d'un œsophage, d'un intestin, d'un rectum et d'un anus.

La caractéristique la plus nette est le stylet situé dans la partie buccale. C'est une pièce buccale en fer de lance, dure, creuse et motile. A son extrémité postérieure, des muscles sont

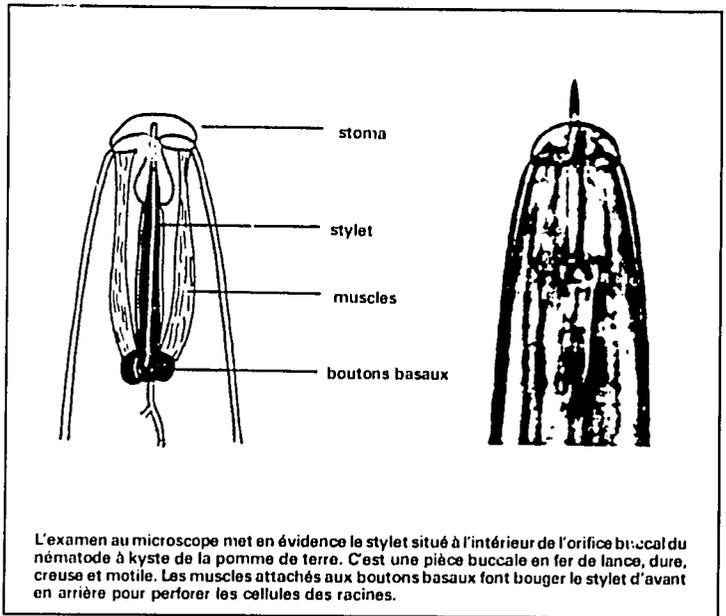


rattachés à 3 boutons basaux caractéristiques. Le stylet sert à percer les cellules de la racine et à absorber la nourriture. Il mène au tube œsophagien qui contient le bulbe médian. À l'aide des muscles et d'une "valve", le bulbe médian fonctionne comme une pompe forçant la nourriture dans les intestins.

Après le bulbe médian, trois glandes œsophagiennes forment le bulbe terminal en continuité avec l'intestin. (L'œsophage et l'intestin se recouvrent partiellement). L'intestin, en temps qu'organe de réserve, est souvent rempli de globules d'une substance apparemment grasseuse. Il se rétrécit en un rectum qui se termine à l'anus.

Les mâles gardent leur forme cylindrique et filiforme. Arrivés à maturité, ils mesurent à peu près 1 mm.

À maturité, le corps de la femelle se gonfle et se transforme, après sa mort, en un kyste dur ressemblant à du cuir. Les kystes sont sphériques (globuleux), d'un diamètre variant entre 0,5 et 1 mm. Une protubérance en forme d'épingle correspond à la tête qui était attachée à la racine de la pomme de terre.



5 CYCLE BIOLOGIQUE

Contrairement aux insectes, les larves de nématodes passent par différents stades de développement sans changements externes. Comme les larves ressemblent aux adultes, on les appelle "juvéniles" en anglais.

Le cycle biologique commence par le deuxième stade larvaire qui sort des œufs situés à l'intérieur des kystes. L'éclosion de ce deuxième stade larvaire est stimulée par une substance exsudée par les racines de pommes de terre en croissance. Certains œufs restent dans les kystes et éclosent les saisons suivantes.

Attirés par les exsudats des racines, le deuxième stade larvaire perfore puis pénètre dans les racines pour se nourrir et se développer par deux mues supplémentaires.

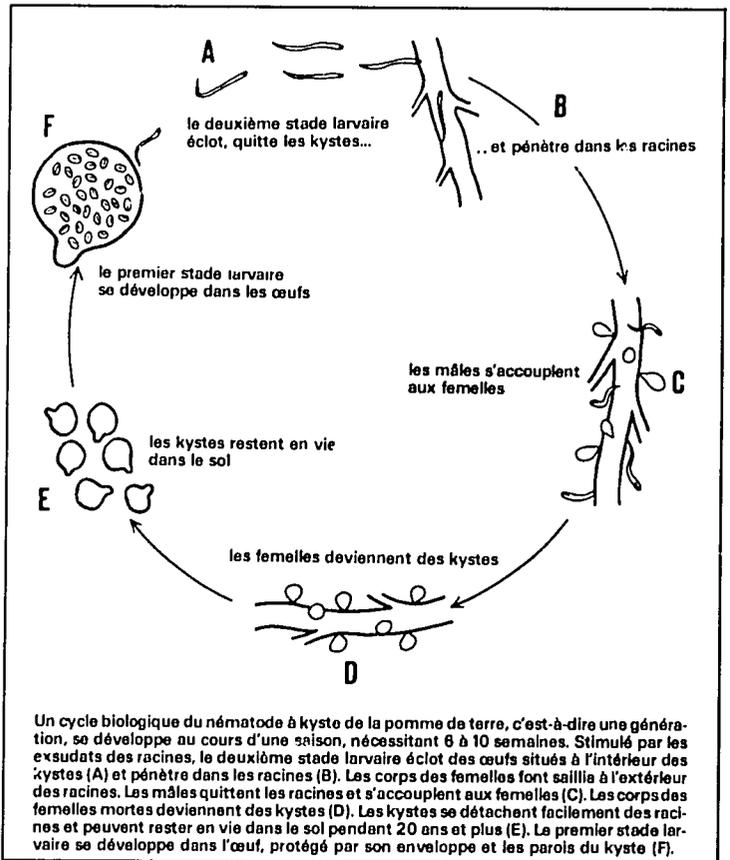
La quantité de nourriture disponible détermine le sexe des larves du troisième stade. Lorsqu'il y a peu de nématodes et beaucoup de nourriture, les femelles dominent. Si la population est élevée et que la nourriture est limitée, ce sont les mâles qui dominent.

Les femelles deviennent sédentaires et s'accrochent dans la couche superficielle des racines de pommes de terre. Leur corps se gonfle, fait éclater les cellules de la racine et devient visible à l'extérieur de la racine. La tête et le cou restent attachés et enfoncés dans la racine.

Les mâles conservent leur forme filiforme et cylindrique originelle. Ils quittent les racines, repèrent les femelles et s'accouplent à elles au moment où elles rompent la surface des racines.

Après la mort de la femelle, le corps sphérique à l'origine blanc ou jaune voit sa cuticule changer chimiquement : elle fonce. La femelle morte devient un kyste brun et dur, résistant aux conditions défavorables du milieu.

Les kystes se détachent facilement des racines. Le nombre d'œufs que peut contenir et protéger chaque kyste peut être minime ou aller jusqu'à 600. De plus, ceux-ci sont protégés par une enveloppe individuelle et peuvent rester en vie 20 ans et plus. Les œufs peuvent reprendre leur activité chaque fois que des pommes de terre sont plantées.



Encore protégé par son enveloppe et les parois du kyste, le premier stade larvaire se développe à l'intérieur de l'œuf. Le deuxième stade larvaire éclot grâce à la stimulation des exsudats des racines.

Un cycle biologique, c'est-à-dire une génération, se développe au cours d'une saison, nécessitant 6 à 10 semaines. Pendant ce cycle, lorsqu'il n'y a pas de compétition pour la nourriture, une population peut augmenter jusqu'à 50 fois.

6 RELATION PLANTE DE POMMES DE TERRE - NÉMATODE A KYSTE

Les nématodes à kyste de la pomme de terre sont des parasites des racines bien adaptés. La stimulation des exsudats racinaires de l'hôte assure l'éclosion des nématodes uniquement dans des conditions favorables : là où ils peuvent trouver des racines de pomme de terre.

Le deuxième stade larvaire se fraye un chemin à travers les parois des cellules en employant son stylet et pénètre dans les racines en laissant une traînée de cellules brisées. La salive sécrétée par les glandes œsophagiennes entraîne la fusion et l'élargissement des cellules situées près de la tête de la femelle. Ces cellules élargies appelées "syncytia" ou "cellules de transfert", fournissent les femelles en nourriture de manière permanente et sont nécessaires au développement des nématodes.

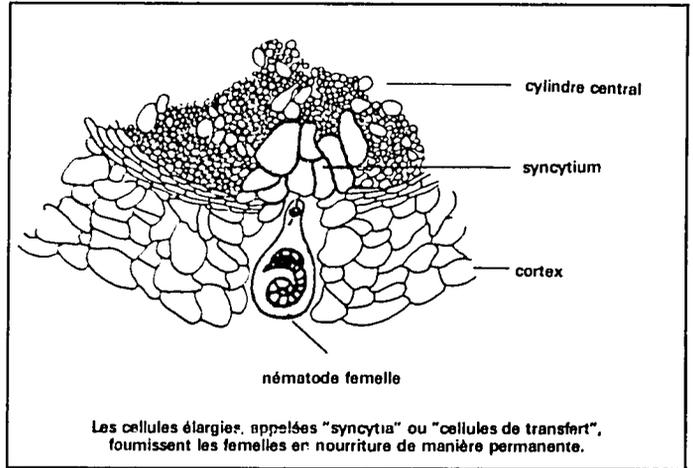
Le développement et le maintien de ces cellules de transfert rivalisent avec la croissance de la plante. De plus, les dégâts occasionnés par les nématodes entraînent une déficience hydrique et un dérèglement du métabolisme nutritionnel.

Les relations entre la pomme de terre-hôte et le nématode à kyste sont contrôlées par :

- la résistance de la variété de pomme de terre,
- la tolérance de la variété de pomme de terre,
- la pathogénicité du nématode.

Les facteurs du milieu, tels que la fertilité du sol et les autres facteurs de croissance peuvent modifier l'interrelation existant entre l'hôte et le nématode.

Résistance. En fonction de son niveau de résistance, une plante de pommes de terre peut entretenir ou non la multiplication des nématodes. La résistance est déterminée par la relation entre la densité initiale de la population de nématodes avant la plantation et la densité finale de la population de nématodes à la fin de la culture. Cette relation permet de calculer le taux de multiplication des nématodes par la formule suivante :



$$\text{Taux de multiplication des nématodes} = \frac{\text{densité finale de la population de nématodes}}{\text{densité initiale de la population de nématodes}}$$

dans laquelle, en général,

- un taux de multiplication des nématodes > 1 indique une absence de résistance,
- un taux de multiplication des nématodes < 1 indique une résistance.

La résistance entraîne une réduction de la population de nématodes. Le niveau de résistance pour chaque cas particulier dépend de la situation locale et du matériel de sélection disponible.

Les mécanismes de résistance sont attribués à deux processus. Il arrive que les racines ne stimulent pas l'apparition du deuxième stade larvaire, ce qui donne lieu à une éclosion réduite; le second processus limite ou inhibe la formation des cellules de transfert qui apportent la nourriture aux femelles.

Un développement restreint des cellules de transfert n'empêche pas l'éclosion et les larves écloses envahissent les racines provoquant ainsi des dégâts. Cependant, un apport limité en nourriture rompt le cycle biologique des nématodes. Soit les larves meurent, soit elles se transforment en mâles. Ceci entraîne une diminution plus rapide de la population de nématodes et est plus efficace que la diminution de l'éclosion.

Il peut se produire une rupture de ces types de résistance. Lorsque des variétés résistantes sont plantées continuellement en conditions de forte densité de population de nématodes, des pathotypes plus virulents peuvent se développer grâce à une sélection naturelle ou à une adaptation génétique.

Tolérance. La tolérance est la capacité pour une variété de pommes de terre de supporter l'infestation de nématodes sans réduction de rendement. On peut la rencontrer chez les variétés résistantes et chez les variétés non-résistantes; elle est donc indépendante de la résistance. Les plantes intolérantes subissent une réduction de rendement. Les variétés tolérantes sont capables de compenser les dégâts des nématodes.

La tolérance est indépendante du pathotype du nématode. Elle apparaît plus fréquemment chez les variétés andigena de la pomme de terre (*Solanum tuberosum* ssp. *andigena*) que chez les variétés tuberosum (*S. tuberosum* ssp. *tuberosum*) et son développement peut être dû au fait que dans les régions andines les pommes de terre andigena et les nématodes ont évolué ensemble. Pour survivre aux nématodes à kyste, les pommes de terre développent cette tolérance. Les variétés tuberosum ont été développées dans d'autres zones où les nématodes à kyste de la pomme de terre n'existaient pas.

Pathogénicité. Dans les deux espèces de *Globodera* (*G. rostochiensis* et *G. pallida*) il existe plusieurs pathotypes. Les pathotypes sont des races physiologiques qui peuvent être distinguées par leur capacité à se multiplier sur les plantes de pommes de terre dites différentielles. Ces plantes possèdent différents gènes de résistance.

Ainsi certaines plantes différentielles peuvent être de plus en plus infestées par certains pathotypes de *Globodera* mais pas par d'autre. Ceci est vrai aussi pour les variétés de pommes de terre. Une variété de pommes de terre supposée résistante ne peut pas être infestée par un nombre croissant de populations de nématodes, grâce à une sélection et à une multiplication d'autres pathotypes de *Globodera*.

Habituellement les pathotypes à l'intérieur de chaque espèce de *Globodera* se croisent librement. Cependant, le croisement entre les espèces est limité. Il existe plusieurs systèmes de différenciation des pathotypes.

7 DÉTERMINATION DES DENSITÉS DE POPULATION DE NÉMATODES

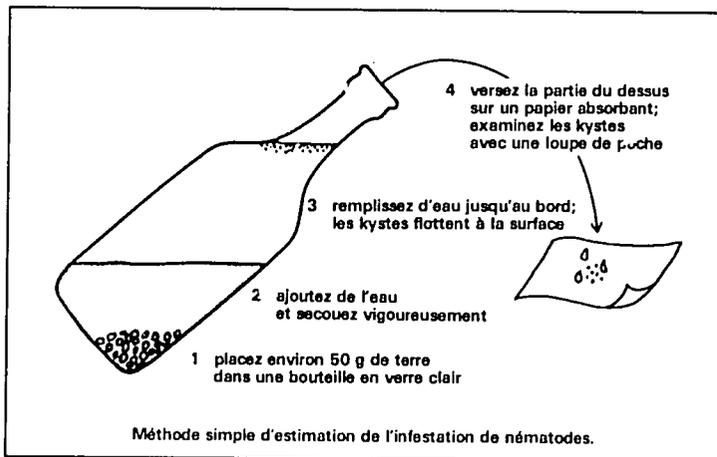
Il est important de connaître la densité de population des nématodes à kyste des pommes de terre dans le sol pour mettre en œuvre des méthodes de lutte efficaces. Les méthodes les plus habituelles pour déterminer la densité de population des nématodes sont l'analyse du sol et l'observation des racines.

L'analyse du sol. Le sol est analysé par un laboratoire de nématologie qui utilise les échantillons de sol que l'agriculteur a prélevé dans ses champs. Le laboratoire analyse les échantillons en mettant en suspension la terre séchée dans un récipient d'eau et en comptant le nombre de kystes flottant à la surface. Un échantillon de kystes est ouvert et le nombre d'œufs et de larves est compté pour déterminer leur viabilité totale.

Une méthode au champ facile, dérivée de l'analyse du sol, donne une estimation approximative de l'infestation de nématodes. Placez une poignée (environ 50 g) de terre bien mélangée de différents endroits du champ dans une bouteille en verre clair. Ajoutez suffisamment d'eau pour humidifier complètement la terre et secouez vigoureusement la bouteille. Remplissez la bouteille d'eau jusque près du bord. Les kystes de l'échantillon vont flotter à la surface de l'eau indiquant la quantité de kystes dans l'échantillon. Versez la partie du dessus sur un papier absorbant afin que les kystes puissent être examinés plus attentivement ou comptés à l'aide d'une loupe de poche.

L'observation des racines. Dans les stations d'expérimentation, on utilise une méthode "biologique" pour déterminer l'infestation du sol. Deux à trois mois avant la plantation, des tubercules en germination sont placés dans des pots contenant des échantillons de terre provenant du champ à contrôler. Si le champ est infesté, les nématodes à kyste de la pomme de terre peuvent être détectés visuellement après 8 semaines par les corps ronds des femelles qui se développent sur les racines à la périphérie de la motte.

Un agriculteur peut estimer de manière approximative l'infestation du champ en examinant les racines des plantes peu avant la floraison. A ce stade de développement de la plante, les femelles ont rompu le cortex de la racine et les corps ronds sont visibles à l'œil nu (cf photo de couverture).



Les niveaux critiques d'infestation dépendent des situations locales. Des essais pratiques, comparant des parcelles non traitées et des parcelles traitées avec des nématicides peuvent aider à déterminer à quel niveau d'infestation le rendement des pommes de terre commence à baisser.

8 PRÉVENTION ET LUTTE

Lorsque les symptômes deviennent visibles, les nématodes sont déjà présents, et en grand nombre. Une fois installés, il est très difficile et même parfois impossible de se débarrasser des nématodes à kyste de la pomme de terre. Il existe des méthodes pour réduire les dégâts. Pour une régulation fructueuse des nématodes, il faut associer prévention et lutte dans un programme intégré. La régulation intégrée des nématodes inclut aussi les éléments d'une production d'une culture adéquate (irrigation et fertilisation par exemple) afin

- d'empêcher la dissémination des nématodes à kyste de la pomme de terre dans de nouvelles zones, et
- de maintenir la densité de population des nématodes en-dessous de leur seuil de nuisibilité.

La lutte intégrée contre les nématodes peut réduire une forte densité de population de nématodes à des niveaux permettant la réussite et la rentabilité d'une culture de pommes de terre.

Mesures de quarantaine. La dissémination des nématodes à kyste de la pomme de terre se produit surtout par l'intermédiaire de tubercules contaminés par des kystes ou par de la terre contenant des kystes. La terre collant à d'autres matériels végétaux et aux outils ou la terre transportée par l'eau et le vent peuvent aussi véhiculer le déprédateur. Beaucoup de pays appliquent des mesures strictes de quarantaine pour empêcher l'introduction de ce déprédateur. Comme moyen supplémentaire pour limiter la dissémination à l'intérieur du pays, la production de plants de pommes de terre dans les zones infestées devrait être interdite.

Principes phytosanitaires. Il faut planter des plants de pommes de terre originaires seulement de zones non-infestées. Il faut empêcher la dissémination d'un champ à un autre en nettoyant et en brossant les bacs, outils et machines ou en traitant aux nématicides. Il faut d'abord cultiver des champs indemnes avant d'aller dans les zones infestées.

Rotation des cultures. La rotation des cultures est la mesure de lutte la plus répandue. C'est une méthode efficace car la gamme d'hôtes des nématodes à kyste de la pomme de terre est restreinte. La densité de population peut diminuer chaque année d'environ 30% lorsqu'il n'y a pas de plantes-hôtes disponibles. Cependant les œufs peuvent survivre pendant plus de 20 ans. La rotation habituelle est de 5 à 6 ans sans pommes de terre ou autres plantes-hôtes.

Des cultures de pommes de terre hôtes peuvent arriver à maturité avant la fin du cycle biologique des nématodes. Ces cultures ne sont pas de bons hôtes pour les nématodes et leur emploi correct peut raccourcir le cycle de rotation.

Lutte physique. Il existe plusieurs méthodes de lutte physique (telles que le traitement à la chaleur) à utiliser dans les conditions des stations expérimentales ou en serres. On peut aussi réduire les populations de nématodes en exposant le champ labouré au soleil pendant les saisons sèches et chaudes.

Emploi de variétés résistantes. Parce qu'elles stimulent l'éclosion sans apporter ensuite suffisamment de nourriture, certaines variétés de pommes de terre résistantes peuvent réduire la densité de nématodes plus rapidement qu'une culture non-hôte. Cependant la résistance est efficace seulement contre certains pathotypes. Ce sont les clones ou les variétés de pommes de terre résistants aux pathotypes de *G. rostochiensis* qui sont les plus nombreux; la résistance contre les pathotypes *G. pallida* est moins fréquente.

L'emploi répété de variétés résistantes peut entraîner une perte d'efficacité due à une multiplication d'autres pathotypes. L'emploi de la résistance dépend de la gamme des pathotypes présents dans une zone de production déterminée. Dans une station d'essai, il est facile d'évaluer la résistance de variétés de pommes de terre ou du matériel de sélection. De même, dans un champ, on peut facilement comparer la résistance de variétés.

Le CIP et d'autres organisations font actuellement des recherches sur des sources de résistances nouvelles et prometteuses, surtout à partir de *Solanum vernei* et *S. tuberosum* ssp. *andigena*.

Lutte chimique. Les produits chimiques de lutte contre les nématodes, appelés nématicides, ne sont pas très efficaces et leur effet est de courte durée. Ils sont chers et toxiques pour l'homme et pour l'environnement.

Les **fumigants** et les **non-fumigants** sont les deux types de nématicides généralement employés. Les **fumigants** comprennent des hydrocarbures aliphatiques halogénés et des produits dégagant du méthyle isothiocyanate. Leur emploi demande des appareillages spéciaux. La plupart d'entre eux sont phytotoxiques. Ils sont efficaces contre beaucoup d'organismes présents dans le sol tels que les champignons et les bactéries ainsi que les nématodes.

Les **non-fumigants** comprennent des organophosphorés et des organocarbamates. L'épandage de formulations sous formes de granulés se fait facilement. La phytotoxicité est rare, mais pour les hommes et les animaux (mammifères) la toxicité est élevée. Les **non-fumigants** sont moins efficaces contre les champignons et les bactéries présents dans le sol mais ils luttent aussi contre les insectes.

Pour plus de détails, consultez les experts locaux.

9 BIBLIOGRAPHIE

Canto, M. and M.M. Scurrah. 1977. Races of the potato cyst nematode in the Andean region and a new system of classification. *Nematologica* 23 : 340-349

Gundy, S.D. van, and M.V. McKenry. 1977. Action of nematocides. In Horsfall, J.G. and E.B. Cowling (eds.), *Plant disease : and advanced treatise*. Vol. I. How disease is managed. Academic Press, New York, San Fransisco, London, pp. 263-283.

International Potato Center. 1978. Developments in the control of nematode pests of potato. Planning Conference Report. International Potato Center, Lima, Peru. 193 pp.

Jatala, P. 1987. Nématodes parasites de la pomme de terre. Bulletin d'Information Technique 8. Centre International de la Pomme de terre, Lima, Pérou.

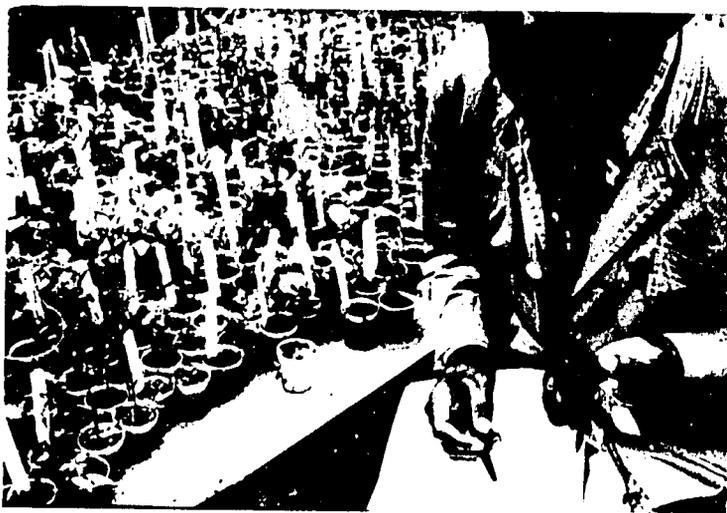
Jones, F.G.W. 1970. The control of the potato cyst nematode. *Journal of the Royal Society of Arts* 118 : 179-197.

Mai, W.F. et al. 1981. Nematodes. pp. 93-101. In : Hooker, W.J. (ed.). *Compendium of potato diseases*. American Phytopathological Society, St. Paul, Minnesota. 125 pp.

Scurrah, M. 1987. Evaluation de la résistance aux nématodes à kyste de la pomme de terre. Bulletin d'Information Technique 10. Centre International de la Pomme de terre, Lima, Pérou.

ÉVALUATION DE LA RÉSISTANCE AUX NÉMATODES A KYSTE DE LA POMME DE TERRE

Maria Mayer de Scurrah



Évaluation de la résistance aux nématodes

ÉVALUATION DE LA RÉSISTANCE AUX NÉMATODES A KYSTE DE LA POMME DE TERRE

Objectifs : L'étude de ce bulletin devrait vous permettre :

- d'expliquer la nature de la résistance,
- de discuter les sources et l'emploi de la résistance,
- de décrire un essai en pot pour l'évaluation de la résistance,
- de décrire un essai au champ pour l'évaluation de la résistance,
- de discuter du maintien et de l'emploi du matériel résistant.

Matériel didactique :

- Des plantes de pommes de terre infestées par des nématodes à kyste.
- Un inoculum, des pots, des tubercules, de la terre.
- Figures de femelles/kystes sur des racines.
- Tableau des systèmes d'évaluation du CIP (essais en pot et au champ).
- Illustration de la disposition d'un essai au champ pour montrer la répartition au hasard des clones tests et témoins.

Travaux pratiques :

- Pratiquer la mise en place des essais en pot selon le chapitre 3.
- Pratiquer l'évaluation des essais en pot.
- Montrer la mise en place d'essais au champ.
- Pratiquer l'évaluation de l'infestation des plantes dans le champ suivant le chapitre 4.
- Montrer l'utilisation la plus correcte du matériel de recherche une fois intégré dans un programme d'essais.

QUESTIONNAIRE

- 1 Comment l'éclosion des larves de nématode à kyste de la pomme de terre (larves infestantes) est-elle stimulée ?
- 2 Quelle est l'importance des "cellules de transfert" ou "syncytia" dans le développement des femelles ?
- 3 Quels sont les deux types de résistance ?
- 4 Quels sont les avantages du type de résistance ayant un effet sur le développement des syncytia ?
- 5 Quelle est l'importance de la spécificité des pathotypes sur la résistance ?
- 6 Quelles sont les sources principales de résistance des nématodes ?
- 7 Quels sont les moyens les plus efficaces pour exploiter les sources courantes de résistance ?
- 8 Quels sont les avantages et désavantages des essais en pot et au champ pour l'identification du matériel résistant ?
- 9 Quel est le principe des essais en pot ?
- 10 Pourquoi est-il nécessaire de vérifier la viabilité des kystes avant l'inoculation ?
- 11 En quoi est-il avantageux d'ajouter du sable à la terre de l'essai en pot ?
- 12 Pourquoi ne devez-vous planter qu'un seul tubercule par pot ?
- 13 Quel est le rôle du témoin non-résistant dans l'essai en pot ?
- 14 Pourquoi un arrosage régulier et un ombrage adéquat sont-ils nécessaires ?
- 15 Pourquoi peut-on moins se fier à un essai utilisant des plants de semis qu'à un essai utilisant des tubercules ?
- 16 Quelle est la meilleure preuve de réussite d'un test ?
- 17 Quel est le principe d'un essai au champ ?
- 18 Comment les variétés témoins non-résistantes doivent-elles être disposées dans l'agencement du champ ?
- 19 Pourquoi du matériel végétal supplémentaire doit-il être retenu et éventuellement multiplié séparément de l'essai de résistance ?
- 20 Quel est l'avantage d'avoir à sa disposition plusieurs variétés résistantes ?

ÉVALUATION DE LA RÉSISTANCE AUX NÉMATODES A KYSTE DE LA POMME DE TERRE

- 1 Nature de la résistance
- 2 Sources de la résistance
- 3 Essai en pot pour évaluer la résistance
- 4 Essai au champ pour évaluer la résistance
- 5 Entretien et emploi du matériel résistant
- 6 Bibliographie

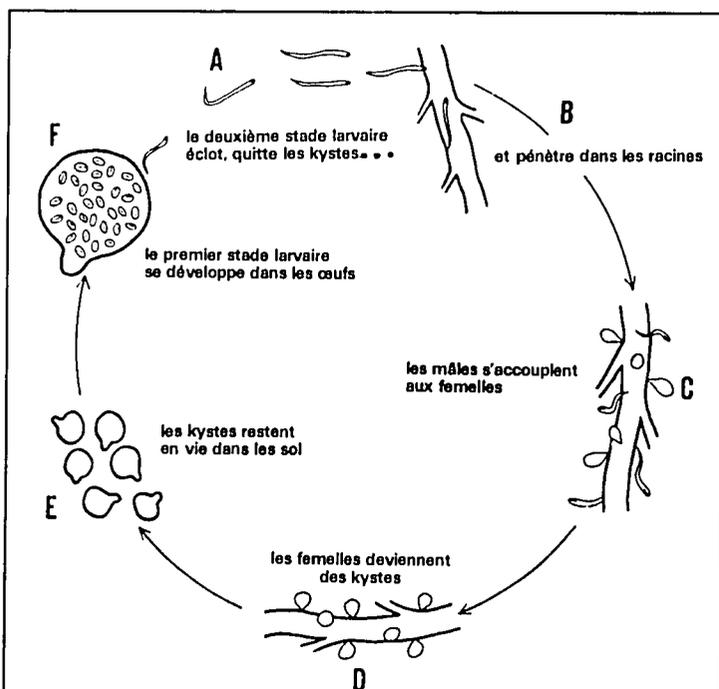
Les nématodes à kyste de la pomme de terre, *Globodera rostochiensis* et *G. pallida*, sont des animaux microscopiques parasites des racines répartis dans le monde entier. Au cours des temps, ils ont évolué avec les pommes de terre, à un tel point qu'il devient presque impossible de les éliminer une fois qu'ils ont infesté un champ. Ils entraînent des pertes directes de rendement en endommageant les racines de pommes de terre, ainsi que des pertes indirectes car de longues rotations de cultures sont nécessaires pour lutter contre eux. Lorsqu'un agriculteur se rend compte que son champ est infesté, plusieurs solutions se présentent à lui : soit "partager" sa culture de pommes de terre avec les nématodes à kyste, soit changer carrément de culture, soit appliquer certaines méthodes de gestion des cultures et des nématodes comprenant l'emploi de variétés résistantes.

1 NATURE DE LA RÉSISTANCE

L'éclosion des larves infestantes (juvéniles) des nématodes à kyste de la pomme de terre est stimulée par les exsudats provenant des racines de pommes de terre en croissance. Durant le développement des nématodes, les femelles deviennent sédentaires dans les racines. Les cellules des racines s'élargissent autour de la tête de chaque femelle et forment les "cellules de transfert" ("syncytia"). Les cellules de transfert apportent aux femelles la nourriture nécessaire; elles sont vitales pour leur développement. Elles sont aussi un facteur-clé dans les mécanismes de résistance des variétés.

À côté de la tolérance d'une plante de pommes de terre qui lui permet de produire de manière satisfaisante malgré une infestation de nématodes, il existe deux autres types de résistance : (1) les racines n'exsudent pas la substance qui stimule l'éclosion, et (2) les cellules de transfert ne se forment pas ou ne fonctionnent pas comme apport en nourriture pour les femelles.

Le second type de résistance est clairement avantageux : les larves infestantes sont stimulées pour leur éclosion mais ne peuvent pas terminer leur cycle biologique. La densité d'une population de nématodes peut diminuer sérieusement grâce à l'interruption du cycle biologique. La réduction du niveau d'infestation peut être même plus forte qu'en plantant une culture alternative non-hôte ou qu'en laissant un terrain en jachère. Planter une variété résistante peut être aussi efficace que de ne pas planter de pommes de terre dans le même champ pendant 5 à 7 ans. De plus, l'emploi de variétés résistantes est moins cher pour le fermier que d'autres moyens de lutte et cela n'entraîne pas d'effets nuisibles à l'environnement. Le danger de la

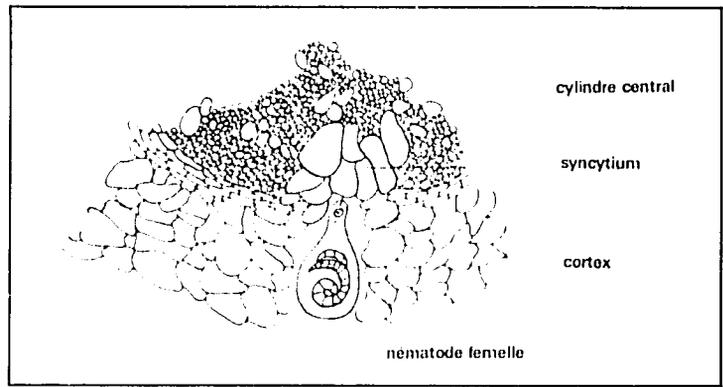


Un cycle biologique du nématode à kyste de la pomme de terre, c'est-à-dire une génération, demande 6 à 10 semaines.

- A Stimulé par les exsudats des racines, le deuxième stade larvaire éclot des œufs situés à l'intérieur des kystes.
- B Les larves infestantes pénètrent dans les racines.
- C Les femelles deviennent sédentaires dans les racines et se nourrissent des "cellules de transfert" ou "syncytia" se développant autour de leur tête. Les corps des femelles dépassent hors des racines. C'est le stade de développement où la résistance influence la formation des syncytia et interrompt le cycle (voir plus loin).
- D Les corps des femelles mortes deviennent des kystes.
- E Les kystes se détachent facilement des racines et peuvent rester viables dans le sol pendant 20 ans et plus.
- F Le premier stade larvaire se développe dans l'œuf, protégé par son enveloppe et les parois du kyste.

dissémination des nématodes est réduit et l'infestation peut rester en-dessous d'un seuil de nuisibilité.

Le fait que les cellules de transfert ne se forment pas est une interaction génétique entre le nématode et la plante de pommes de terre appelée incompatibilité. Ceci est spécifique d'un pathotype (d'une "race"). L'efficacité de la résistance dépend des pathotypes présents dans une région et elle doit être testée par des essais. La culture répétée d'une variété résistante spécifique sous un fort niveau d'infestation peut entraîner une sélection et une multiplication des pathotypes compatibles avec la plante à un point tel que la résistance n'est plus efficace.



Quand les relations entre pomme de terre-hôte et nématode correspondent à une compatibilité génétique, l'activité alimentaire des femelles force la plante à former des groupes de cellules élargies dites "de transfert" ("syncytia", sing. "syncytium"). Chez les variétés résistantes, ces cellules de transfert ne se forment pas ou ne fonctionnent pas comme apport en nourriture pour la femelle.

2 SOURCES DE LA RÉSISTANCE

Il est bien possible que les civilisations pré-incas aient sélectionné des pommes de terre résistantes de manière consciente ou inconsciente et aient ainsi contribué au développement de l'espèce cultivée *Solanum tuberosum* ssp. *andigena*, principale source de résistance aux nématodes. De même, quelques espèces de *Solanum* sauvages offrent des gènes de résistance utiles à la sélection.

Une des tâches des programmes de sélection consiste à transférer et combiner les gènes de résistance. Il n'est pas difficile d'appliquer la technique du croisement pour produire de nouvelles combinaisons. Cependant il faut généralement plus de 10 ans pour sélectionner à partir de milliers de plants de semis ceux qui possèdent une bonne résistance combinée à un rendement élevé et aux caractéristiques de qualité requises. Seuls des programmes de sélection solides et bien établis peuvent s'accorder ce délai et cette procédure onéreuse. De plus, il n'est pas certain que ces nouvelles variétés seront résistantes partout.

Il est peut-être plus efficace d'exploiter les sources de résistance courantes qui peuvent être des variétés résistantes disponibles ou du matériel développé à partir d'autres programmes de sélection comme le CIP. L'évaluation de ces matériels par des programmes nationaux permet l'identification de ceux qui présentent une résistance dans différentes situations. Un programme d'évaluation peut exiger soit des essais en pots (qui nécessitent certaines fournitures et installations pour le travail nématologique) soit, si cela n'est pas possible, des essais au champ (une méthode moins sophistiquée et moins exacte).

3 ESSAI EN POT POUR ÉVALUER LA RÉSISTANCE

Le test en pot expose les plantes (provenant de tubercules ou de graines) à une quantité standard d'inoculum sous certaines conditions. Il est plus fiable que le test au champ, demande moins de plantes et permet de tester un plus grand nombre de variétés. Par contre, certaines connaissances techniques, de même que certaines installations et fournitures telles que inoculum, pots, tubercules (ou plants de semis) et sol sont nécessaires.

Inoculum. L'inoculum consiste en des kystes viables. Les kystes sont récoltés à partir de champs infestés naturellement ou de pots infestés artificiellement qui contiennent des plantes de pommes de terre non-résistantes. Il faut évaluer l'infestation des champs ou des pots en observant les femelles mûres sur les racines de variétés connues comme non-résistantes.

Pour faciliter la séparation des kystes de la terre, asséchez la terre, placez ensuite la terre infestée dans de l'eau et agitez. La terre tombe au fond tandis que les kystes et quelques éléments organiques surnagent. Récupérez les éléments qui surnagent et séchez-les sur un tissu de coton ou un papier filtre avant de les placer sur un papier lisse. Faites rouler les kystes ronds hors du papier lisse et séparez-les ainsi des autres constituants organiques. Entrez les kystes dans des fioles ou boîtes de pétri dans un endroit frais.

Vérifiez ensuite la viabilité des kystes. Ouvrez avec un scalpel un minimum de 25 kystes sélectionnés au hasard afin de voir s'ils contiennent des œufs. Ce "test de viabilité" est plus précis lorsqu'il est effectué avec un broyeur de kystes. Mettez en suspension le contenu (œufs et larves) dans de l'eau et faites un comptage à l'aide d'un microscope. Un kyste viable contient normalement entre 50 et 400 œufs et larves.

On peut aussi vérifier la viabilité en inoculant une variété non-résistante en pot avec 10 kystes sélectionnés au hasard (cf la méthode ci-dessous). S'ils sont viables, de nouvelles femelles observables se développent sur les racines après environ 8 semaines.

Pots. Les pots doivent être petits pour tester le plus de plantes possibles. Dans des pots de 7 à 10 cm de large, les racines se disposent de façon telle qu'environ 90% des racines s'enroulent en périphérie de la motte ce qui facilite l'évaluation d'une infection de nématodes. On peut employer soit des pots en plastique soit des pots en terre.

Tubercules. Pour pratiquer cet essai, les tubercules devront être bien germés pour obtenir une levée rapide de la plante. Autrement l'essai ne marcherait pas. Pour mener à bien un essai, 2 à 5 tubercules par variété ou clone sont nécessaires.

Coupez les gros tubercules avec précaution pour éviter leur pourriture. On peut aussi utiliser simplement les yeux des tubercules. Dans ce cas, enlevez les yeux au moyen d'une "cuillère à melon" 4 jours avant la plantation et laissez-les en place dans le tubercule pour favoriser la subérisation des surfaces coupées avant leur plantation.

Sol. Utilisez n'importe quel sol qui favorise une bonne croissance de la plante en pot. L'addition de 25 à 30% de sable facilite les mouvements des nématodes dans le sol. Le sol ne doit pas contenir d'autres nématodes autrement les résultats seraient faussés.

Marche à suivre pour le test. Les pots doivent être remplis de terre aux 3/4. Répartissez uniformément suffisamment de kystes pour obtenir environ 4000 œufs (25 à 30 kystes) sur la surface de chaque pot. Utilisez des fractions pré-comptées ou une cuillère spéciale pouvant contenir la quantité désirée de kystes.

Au lieu de tubercules entiers, de simples yeux de tubercules peuvent être utilisés. Coupez les yeux (A) au moyen d'une "cuillère à melon" (B) 4 jours avant la plantation, mais laissez-les en place dans le tubercule (C) pour favoriser la subérisation des surfaces coupées jusqu'à la plantation.

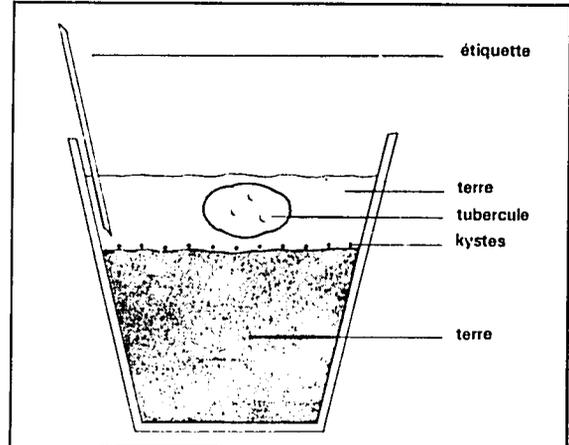
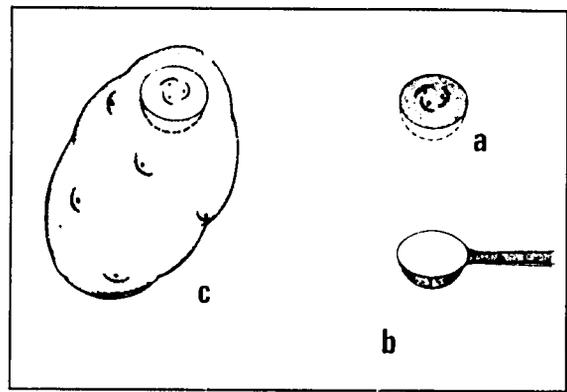
Plantez un tubercule par pot et recouvrez-le de terre. Préparez à l'avance des étiquettes pour chaque pot indiquant la variété de pomme de terre et la date de plantation. Pour évaluer la réussite de l'essai, des pots de 2 plantes non-résistantes doivent être intercalés comme témoin tous les 50 à 100 pots.

Un arrosage régulier et un ombrage adéquat sont nécessaires. La terre sèche rapidement dans des petits pots et les larves peuvent mourir avant d'avoir envahi les racines, ou bien les racines peuvent mal pousser. Les pots peuvent être enfoncés dans de la tourbe, du sable ou de la sciure de bois, afin de réduire l'évaporation et faciliter une humidité constante.

Il faut 8 à 10 semaines à des températures comprises entre 10° et 25° C pour que les femelles fassent éclater le cortex de la racine et deviennent observables pour l'évaluation. Les plantes-témoins non-résistantes indiquent si l'essai est réussi :

- beaucoup de femelles indiquent la réussite,
- peu ou pas de femelles sont signes d'un échec.

Les pots sont remplis aux 3/4 avec de la terre. On répartit les kystes viables sur la surface de la terre. On plante un tubercule par pot et on le recouvre de terre.



Evaluation. Observez le nombre de femelles en périphérie de la motte. Le comptage est facile jusqu'à 15, au-delà on fait une estimation. Le CIP emploie le système suivant :

Femelles comptées ou estimées	Classement
0 à 15	chiffre réel
16 à 50	+
51 à 100	++
plus de 100	+++

Le classement peut être inscrit sur l'étiquette. Les plantes peuvent être jetées ou replacées pour une seconde lecture. Une seule lecture doit normalement suffire.

Le test est réussi lorsque les plantes-témoins non-résistantes ont été fortement infestées (classement +++). Il est raté lorsque les plantes-témoins présentent peu ou pas de femelles. Le niveau de résistance peut être défini de manière arbitraire et selon les besoins locaux, comme par exemple 5 femelles par motte. Ceci signifie que toutes les plantes avec une infestation inférieure ou égale à 5 femelles par motte sont considérées comme résistantes; les plantes avec 6 femelles et plus sont rejetées.

Bien que l'évaluation sur motte soit très fortement en corrélation avec le nombre total de femelles présentes sur le système racinaire entier d'une plante, il peut être intéressant de faire une étude plus précise.



Environ 8 à 10 semaines après la plantation, les femelles deviennent observables sur le système racinaire périphérique.

Test avec des plants de semis. Une méthode similaire à celle du test avec des tubercules peut être appliquée aux plants de semis. Un mois après leur levée, les plants de semis sont transplantés dans des pots contenant de la terre qui a été inoculée avec des kystes. On ne peut pas se fier beaucoup à cet essai vu la faible vigueur des racines des plants de semis. C'est pourquoi seuls les plants présentant le minimum de femelles seront conservés et transplantés dans des pots plus grands afin de produire des tubercules pour un test ultérieur.

4 ESSAI AU CHAMP POUR ÉVALUER LA RÉSISTANCE

Le niveau de résistance peut être évalué au moyen d'un simple essai au champ lorsque les fournitures et les installations pour le test en pot ne sont pas disponibles. Cet essai au champ peut aussi être utilisé pour observer le maintien ou non de la résistance des clones de pommes de terre et la dynamique des populations de nématodes.

Le principe du test est de comparer au champ l'infestation des racines de plusieurs variétés. Aucune installation spéciale n'est nécessaire, si ce n'est l'obligation de disposer d'un champ infesté.

Étant donné que l'infestation d'un champ peut être irrégulière, les variétés à tester seront plantées de préférence de manière dispersée, la meilleure façon étant de distribuer au hasard au moins deux répétitions par variété avec 10 plantes par répétition. Une variété-témoin non-résistante mise en alternance, dans l'agencement du champ, avec les variétés à tester doit servir à déterminer l'uniformité et la gravité de l'infestation du champ. À la floraison (environ 8 à 12 semaines après la plantation) les plantes doivent être soigneusement arrachées. Avec un peu d'expérience, on repère facilement les petites femelles blanches ou jaunes ou les kystes bruns (0,5 à 1 mm de diamètre) sur les racines. Pour effectuer l'évaluation, on peut employer le classement suivant :

- 0 = pas de femelles,
- 1 = peu de femelles difficiles à détecter,
- 2 = peu de femelles faciles à détecter,
- 3 = beaucoup de femelles sur presque toutes les racines.

Si la variété-témoin porte le classement 3, une variété à tester avec le classement 0 ou 1 peut être considérée comme résistante.

On ne peut guère se fier à l'essai au champ car une infestation irrégulière du champ peut ne pas être suffisamment corrigée malgré une distribution des plantes faite au hasard. L'essai peut être avantageux lorsque quelques variétés seulement doivent être comparées et lorsqu'il y a suffisamment de plants et de surface de champ.

Variété témoin	Variété témoin
Variété 7	Variété 1
Variété témoin	Variété témoin
Variété 5	Variété 2
Variété témoin	Variété témoin
Variété 4	Variété 3
Variété témoin	Variété témoin
Variété 2	Variété 4
Variété témoin	etc...
etc...	

!! vaut mieux planter les variétés à tester de manière dispersée en les alternant avec une variété-témoin non-résistante.

5 ENTRETIEN ET EMPLOI DU MATÉRIEL RÉSISTANT

Une plante résistante (variété, clone) a peu de valeur si elle produit mal. Il faut garder suffisamment de tubercules pour évaluer le rendement et la qualité. Si des tubercules supplémentaires sont nécessaires il faut les multiplier dans les conditions recommandées pour la production de semences de pomme de terre afin d'éviter l'infection par virus.

Une fois qu'un nombre suffisant de tubercules d'une variété devient disponible avec résistance, rendement élevé et bonne qualité, l'agriculteur peut commencer à employer cette variété pour sa production. Des vérifications fréquentes dans les champs des agriculteurs doivent évaluer la résistance de cette variété ainsi que la dynamique des populations de nématodes (pathotypes). Pour éviter la sélection de pathotypes agressifs il est nécessaire de mettre en circulation plusieurs variétés résistantes. L'emploi continu de la même source de résistance contre les nématodes peut conduire à une augmentation naturelle de pathotypes qui contournent la résistance. Les agriculteurs devraient avoir le choix de plusieurs variétés présentant différentes sources de résistance.

6 BIBLIOGRAPHIE

- Franco, J. 1987. Nématodes à kyste de la pomme de terre; *Globodera* spp. Bulletin d'Information Technique 9. Centre International de la Pomme de terre, Lima, Pérou.
- International Potato Center. 1978. Development in the control of nematode pests of potato. Report of the 2nd nematode planning conference. International Potato Center, Lima, Peru, 193 pp.
- Jatala, P. 1987. Nématodes parasites de la pomme de terre. Bulletin d'Information Technique 8. Centre International de la Pomme de terre, Lima, Pérou.
- Jones, F.G.W. 1970. The control of potato cyst nematode. Journal of the Royal Society of Arts. 118 : 179-199.
- Huijsman, C.A. 1960. The influence of resistant potato varieties on soil populations of *Heterodera rostochiensis*. Nematologica 6 : 177-180.

LA PLANTATION DE LA POMME DE TERRE

Roger Cortbaoui



Plantation de pommes de terre

LA PLANTATION DE LA POMME DE TERRE

Objectifs : L'étude de ce bulletin devrait vous permettre :

- d'expliquer l'importance d'une plantation correcte,
- de décrire la levée de pommes de terre,
- de décrire les conditions de la levée, et spécialement l'influence de la température et de l'humidité du sol,
- de décrire l'importance de la préparation du lit de semences,
- de discuter la profondeur de plantation,
- de discuter l'écartement des plants,
- de discuter les méthodes de plantation habituelles.

Matériel didactique :

- Des diapositives montrant des cultures d'aspect cultural homogène et hétérogène.
- Des tubercules à différents stades physiologiques.

Travaux pratiques :

- Exercice de plantation au champ en considérant tout spécialement les conditions de sol telles qu'elles sont expliquées dans le chapitre 4.

QUESTIONNAIRE

- 1 Pourquoi une levée rapide est-elle importante ?
- 2 Pourquoi un aspect cultural homogène est-il important ?
- 3 A quel stade physiologique le tubercule est-il susceptible de développer plusieurs germes entraînant une bonne levée et un aspect cultural homogène ?
- 4 Comment pouvez-vous provoquer la formation de plusieurs germes dans le cas où seulement des tubercules avec germes apicaux sont disponibles ?
- 5 Quels sont les avantages et désavantages de l'emploi de gros tubercules lors de la plantation ?
- 6 Quel calibre de tubercule convient le mieux dans la plupart des cas ?
- 7 Quelle est la meilleure structure du sol pour la plantation ?
- 8 Comment la plantation de pommes de terre peut-elle être adaptée en fonction des conditions d'humidité et des températures existantes ?
- 9 Quelle peut être la conséquence d'une culture en sol trop humide ?
- 10 Pourquoi le nombre d'opérations lors de la préparation du lit de semences doit-il être réduit ?
- 11 Quelles caractéristiques du sol déterminent la profondeur de plantation ?
- 12 A quelle profondeur planteriez-vous les pommes de terre si aucune expérience locale n'est disponible ?
- 13 Comment pratiqueriez-vous la plantation en conditions chaudes et humides ?
- 14 A part l'humidité et la température du sol, quels facteurs supplémentaires déterminent la profondeur de plantation ?
- 15 Quelles considérations déterminent la distance de plantation entre les rangs ?
- 16 Décrivez et discutez la méthode de plantation la plus employée dans votre région.
- 17 Quels facteurs déterminent l'efficacité d'une plantation mécanisée ?

LA PLANTATION DE LA POMME DE TERRE

- 1 Importance d'une plantation correcte
- 2 Levée des pommes de terre
- 3 Conditions pour la levée
- 4 Préparation du lit de semences
- 5 Profondeur de plantation
- 6 Méthodes de plantation
- 7 Bibliographie

La qualité de la plantation influence le succès du développement de la pomme de terre de la levée à la récolte et au stockage, en passant par les soins apportés à la culture. Les méthodes de plantation dépendent des conditions locales. Elles peuvent être développées sur la base des considérations générales discutées dans cette publication.

1 IMPORTANCE D'UNE PLANTATION CORRECTE

Une plantation correcte devrait assurer :

- une levée rapide et
- un aspect culturel homogène.

Une levée correcte. Après que le tubercule-mère a été planté, les germes de pomme de terre émergeant vers la surface du sol sont exposés à beaucoup de maladies et de déprédateurs présents dans le sol. Des conditions de croissance favorables facilitent une levée accélérée, ce qui a pour conséquence de raccourcir le temps pendant lequel les germes en croissance sont exposés aux maladies et déprédateurs présents dans le sol. Les dégâts occasionnés à la culture suite à la pourriture de tubercules sectionnés peuvent être minimisés par une levée rapide.

Un aspect culturel homogène. L'homogénéité de l'aspect de la culture est déterminé par l'uniformité de la levée et par la distribution régulière des plantes dans le champ. Un aspect culturel homogène facilite les soins culturaux (buttage, irrigation, pulvérisation et récolte). L'homogénéité du développement des plantes est surtout importante pour la production de plants de pommes de terre. Une identification visuelle des plantes malades est difficile dans un champ où les plantes sont à des stades de développement différents ou lorsqu'elles sont réparties de manière irrégulière dans le champ.

2 LEVÉE DES POMMES DE TERRE

Au cours de son existence, un tubercule de pomme de terre passe par différents stades de développement physiologique. Au moment de la plantation le tubercule peut être :

- **en dormance** : aucun germe n'est formé, la levée sera retardée et ne sera pas homogène.
- **sous dominance apicale** : seul le germe apical se développe. Le résultat en est une culture rarement homogène composée de plantes à tige unique.
- **au stade de germination multiple** : plusieurs germes se développent et conduisent à une bonne levée et un bon aspect culturel.
- **au stade sénile** : les germes sont trop faibles pour qu'il y ait une bonne levée. De petits tubercules peuvent se développer : on parle alors de "boulage".

On observe une croissance rapide des germes dans le cas des tubercules plantés au stade physiologique optimum et cultivés dans des conditions optimales. Les racines se forment et puisent l'eau et les substances nutritives dans le sol. La jeune plante vit de l'énergie fournie par le tubercule jusqu'à ce qu'un feuillage suffisant soit formé pour la photosynthèse.

3 CONDITIONS POUR LA LEVÉE

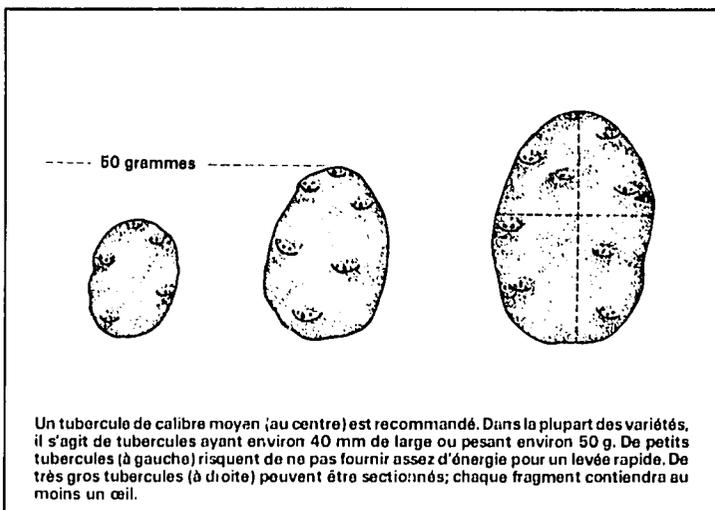
La levée est surtout influencée par :

- les facteurs liés au plant et
- les facteurs liés au sol.

Les facteurs liés au plant. Les facteurs liés au plant sont déterminés par son âge physiologique, son calibre et son état physique.

L'âge physiologique. Le stade de germination multiple est le meilleur pour la plantation du tubercule. Cela donne une forte levée avec plusieurs tiges, pour autant que les autres conditions soient aussi optimales. L'âge physiologique est influencé par les conditions de stockage. Le stockage sous lumière diffuse (pendant une partie ou pendant toute la période de stockage) est souvent une bonne méthode pour obtenir des plants avec plusieurs germes verts et vigoureux qui lèvent rapidement et uniformément.

Dans le cas où seuls des tubercules avec des germes apicaux sont disponibles pour la plantation, il faut casser ces germes apicaux pour provoquer la formation de germes multiples. Ceci permettra d'obtenir une culture homogène avec plusieurs tiges par plante.



Le calibre du tubercule. La jeune plante vit des substances nutritives fournies par le tubercule. C'est pourquoi le tubercule doit être suffisamment gros pour faire face à cette demande initiale. Ceci est surtout important lorsque les autres conditions de la levée ne sont pas suffisantes. Les plants sont vendus au poids; la plantation de gros tubercules est donc généralement préférée.

Un tubercule de calibre moyen convient dans la plupart des cas. Lorsque les conditions de levée ne sont pas optimales ou lorsqu'il existe une grande probabilité de gelée précoce, il est préférable de planter des gros tubercules. Ceux-ci compensent mieux les mauvaises conditions de croissance ou les dommages causés par le gel. Les très gros tubercules peuvent être sectionnés; chaque fragment contiendra au moins un œil. Vu les dangers de transmission de virus et de bactéries, le sectionnement de tubercules n'est pas recommandé dans une production de plants de pommes de terre. Lorsqu'on plante des tubercules sectionnés, un soin tout particulier doit être apporté pour assurer une levée rapide et éviter ainsi la pourriture des tubercules sectionnés.

L'état physique des tubercules. Les tubercules de pomme de terre et les germes sont sensibles aux dommages mécaniques. Durant la manutention, le transport et la plantation, les germes peuvent facilement se casser, ce qui entraîne une levée non-uniforme. Des dommages mécaniques peuvent entraîner la pourriture des tubercules dans le sol.

Les facteurs liés au sol. Les facteurs édaphiques sont déterminés par la structure, l'humidité et la température du sol.

La structure du sol. Le sol doit être raisonnablement léger, meuble et sans couches compactes, lesquelles ne peuvent être pénétrées par le système racinaire en croissance. Les couches compactes provoquent aussi une accumulation en eau. Les mottes de terre et les pierres réduisent le contact des racines avec le sol, affectant ainsi le développement de la plante. Elles entraînent aussi des déformations des tubercules en croissance. Durant la plantation, les soins culturaux et la récolte, les mottes de terre et les pierres provoquent des dommages mécaniques aux tubercules.

L'humidité du sol. Les pommes de terre ont besoin d'eau pour la levée et pour la croissance. Le plant doit avoir un bon contact avec un sol raisonnablement humide. Un excès d'eau réduit l'aération et par conséquent la croissance des racines, des stolons et des tubercules. En adaptant convenablement la profondeur de plantation, la culture de la pomme de terre peut être adaptée aux conditions d'humidité existantes (cf chapitre 5 plus loin).

La température du sol. La température du sol influence la vitesse de croissance des germes et par conséquent la vitesse de la levée. Des sols froids (au-dessous de 15°C) retardent la levée. Des sols chauds stimulent une levée rapide si l'humidité nécessaire est disponible. Un excès de chaleur du sol (température nocturne supérieure à 20°C) peut affecter la formation des tubercules. Comme pour l'humidité du sol, une adaptation convenable de la profondeur de plantation permet à la culture de la pomme de terre de s'adapter aux conditions de températures existantes (cf chapitre 5 plus loin).

4 PRÉPARATION DU LIT DE SEMENCES

La pomme de terre a besoin d'un lit de semences bien structuré, raisonnablement meuble et sans couches compactes. Ceci permet d'obtenir :

- suffisamment d'oxygène pour les parties souterraines de la plante,
- une rétention en eau suffisante,
- un drainage suffisant de l'excès d'eau.

Ces facteurs permettent :

- une bonne croissance des racines, stolons et tubercules,
- le développement de tubercules bien formés.

De plus la structure du sol influence la conduite des cultures, spécialement la plantation et la récolte.

La préparation du lit de semences commence par la sélection d'un champ approprié. Il faut donc éviter les terrains pierreux et mal drainés avec des sols lourds et argileux propices à la formation de mottes de terre. Pour éviter le compactage du sol et la formation des mottes de terre, il ne faut pas travailler la terre lorsqu'elle est humide. Des machines et des outils lourds rendent le sol compact et entraînent souvent la formation de couches imperméables.

Chaque fois que le sol est remué, il perd de l'humidité. C'est pourquoi il faut réduire le nombre d'opérations pour la préparation du lit de semences, surtout par temps sec. Dans des sols à structure très fine, un nombre excessif d'opérations pour la préparation du lit de semences pourrait "fermer" la surface du sol et produire une érosion et un assèchement rapide.

5 PROFONDEUR DE PLANTATION

Ce sont l'humidité et la température du sol qui sont les facteurs les plus importants pour déterminer la profondeur de plantation.

Adaptation à l'humidité du sol. Le sol se dessèche plus rapidement à la surface. Il faut donc planter plus profondément quand l'humidité est limitée. En conditions humides, il est préférable de planter peu profondément.

Adaptation à la température du sol. Pendant la journée la couche superficielle du sol est plus chaude, et la couche sous-jacente est plus fraîche. Ainsi en conditions climatiques fraîches, il faut planter peu profond, tandis que par temps chaud il faut planter profond.

Facteurs supplémentaires. Une plantation profonde contribue à une diminution d'infection des tubercules par les maladies et déprédateurs tels que le mildiou de la pomme de terre et la teigne de la pomme de terre. Une plantation profonde empêche le verdissement des tubercules. Une plantation peu profonde diminue les attaques des maladies transmises par le sol durant la levée et facilite aussi la récolte.

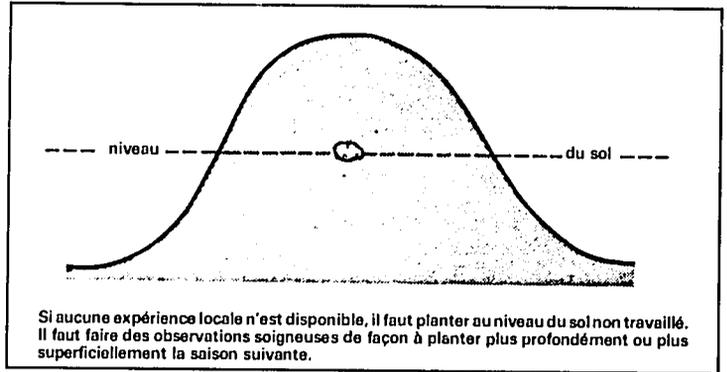
Les gros tubercules s'adaptent mieux que les petits à une plantation profonde. Dans certaines situations, un bon moyen d'ajuster la profondeur de plantation serait de planter peu profond et ensuite de former des buttes élevées.

L'homogénéité de la profondeur de plantation a une incidence sur l'homogénéité de la levée.

Si aucune expérience locale n'est disponible, il faut planter les plants au niveau du sol non travaillé - c'est-à-dire le niveau du sol avant la préparation des sillons ou des buttes. Les saisons suivantes, la plantation se fera suivant l'expérience acquise.

sol	frais	chaud
sec		
humide		

Il faut adapter la profondeur de plantation en fonction du facteur le plus limitant : l'humidité du sol ou la température du sol.

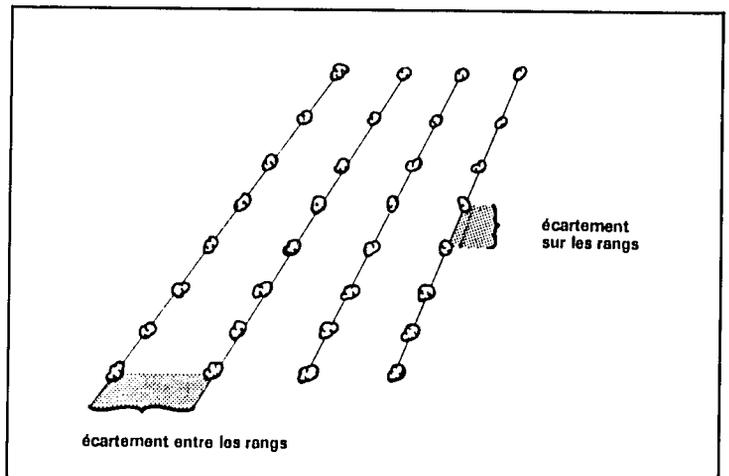


6 DISTANCES DE PLANTATION

La distance de plantation dépend des variétés, des conditions de croissance et du calibre des tubercules choisis. Si la fertilité du sol est faible, s'il y a un manque d'eau ou un autre facteur limitant, le sol permettra la croissance de moins de plantes. Plus la densité de culture est grande, plus le calibre des tubercules récoltés sera petit. En général on recommande une plus grande densité de tiges pour la production de plants de pomme de terre que pour la production de pommes de terre de consommation.

Lors de la plantation en rangs, les deux paramètres des distances de plantation - entre les rangs et sur les rangs - sont déterminés par les considérations suivantes :

Lorsque les pommes de terre sont plantées en rangs, les deux paramètres des distances de plantation sont : entre les rangs (écartement entre les rangs) et entre les plants sur les rangs (écartement sur le rang).



Distance entre les rangs (écartement entre les rangs). La distance entre les rangs dépend des pratiques locales, des outils disponibles et du type de croissance (port) de la variété plantée.

Un large écartement entre les rangs :

- fournit plus de terre pour le buttage;
- empêche les dommages des outils sur les plantes, les racines et les tubercules durant la culture;
- facilite l'épuration.

Un faible écartement entre les rangs :

- permet à l'eau d'irrigation d'atteindre facilement les zones racinaires;
- augmente l'efficacité de l'emploi de la terre, de la lumière, de l'eau et des substances nutritives.

Distances des plants sur le rang (écartement sur le rang). Vu que l'écartement entre les rangs est déterminé par des facteurs en relation avec la conduite des cultures, la densité désirée de la culture est atteinte par l'ajustement de l'écartement des plants sur le rang. Pour une densité de culture donnée, un large écartement des plants entre les rangs doit être compensé par un faible écartement des plants sur les rangs et vice versa.

7 MÉTHODES DE PLANTATION

L'humidité et la température du sol ont un effet direct tant sur une bonne levée de la culture que sur son aspect cultural. Il faut baser les méthodes de plantation, y compris les applications d'engrais et de pesticides, sur l'expérience locale et sur les considérations développées dans les chapitres précédents de cette publication.

Plantation à la main. La plantation manuelle peut être faite en plaçant les plants

- au fond des sillons, ou
- sur le côté ou au centre d'une butte préparée à l'avance.

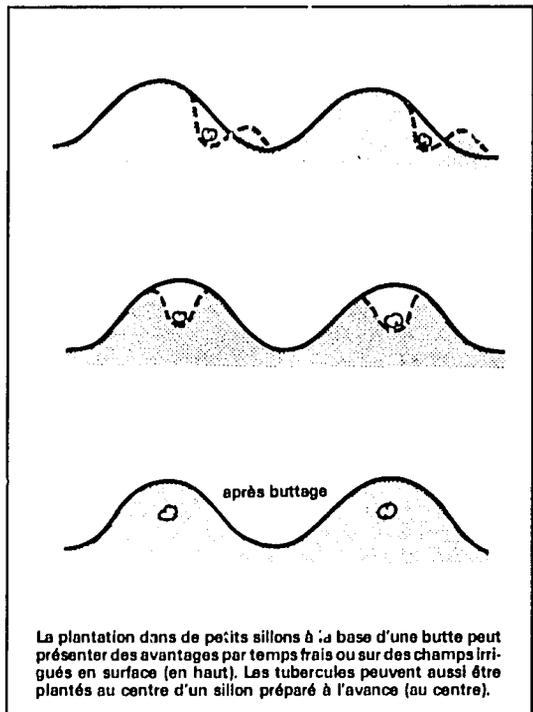
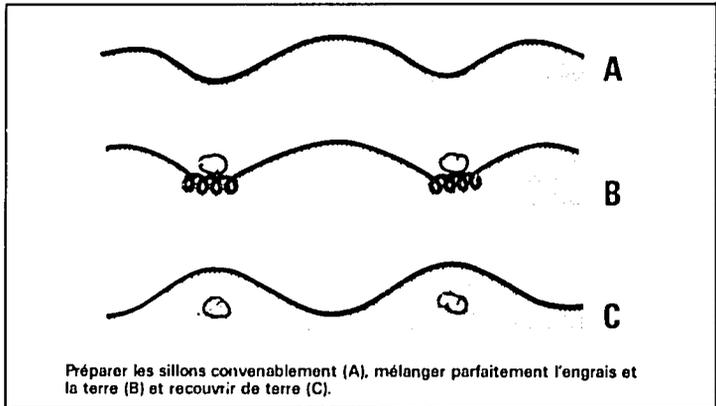
Plantation au fond des sillons. Pour faire les sillons, il faut utiliser pelles, houes, charrues ou butteuses. Il faut mélanger parfaitement l'engrais (qui sera appliqué sur le fond du sillon) avec la terre pour éviter de brûler les germes et les racines. Il faut placer les tubercules sur le fond du sillon et recouvrir de terre.

Plantation dans des buttes préparées à l'avance. Le tubercule peut être placé sur le côté ou au centre d'une butte par l'ouverture de petits sillons ou de trous individuels.

Plantation mécanisée. La plantation mécanisée, qu'elle soit semi-automatique ou automatique, prépare les sillons de plantation, place les tubercules et parfois l'engrais et recouvre le tubercule de terre. Toutes ces opérations se font simultanément. L'efficacité de la plantation mécanisée est déterminée par :

- le type de machine,
- l'habileté du planteur,
- l'étendue de la zone de culture,
- la pente du terrain,
- la qualité de la préparation de la terre,
- l'uniformité du calibre des tubercules.

Les planteuses semi-automatiques sont moins chères et moins compliquées que les planteuses totalement automatiques. Elles peuvent représenter une alternative à la plantation à la main dans les cas où une certaine mécanisation est requise.



8 BIBLIOGRAPHIE

Beukema, H.P. and D.E. van der Zaag. 1979. Potato improvement. Some factors and facts. International Agricultural Center, Wageningen, Netherlands. 224 pp.

Wiersema, S. 1987. Influence de la densité de tiges sur la production de la pomme de terre. Bulletin d'Information Technique 1. Centre International de la Pomme de terre, Lima, Pérou.

LA SÉLECTION CLONALE DANS LA PRODUCTION DE PLANTS DE POMMES DE TERRE

James E. Bryan



Multiplication de clones de pommes de terre

LA SÉLECTION CLONALE DANS LA PRODUCTION DE PLANTS DE POMMES DE TERRE

Objectifs : L'étude de ce bulletin devrait vous permettre :

- d'expliquer la sélection clonale,
- de spécifier son application,
- de montrer la marche à suivre,
- de planifier un programme de sélection clonale.

Matériel didactique :

- Une plante de pomme de terre virosée afin d'expliquer la transmission d'infections systémiques.
- Une plante de pomme de terre saine pour pouvoir faire une comparaison.
- Des diapositives et/ou des tableaux.

Travaux pratiques :

- Identifier des plantes dans un champ pour faire démarrer une sélection clonale.
- Pratiquer la plantation d'un champ de sélection clonale.
- Pratiquer l'élimination des clones non désirés.
- Préparer un programme de sélection clonale en fonction de votre propre situation.

QUESTIONNAIRE

- 1 Pourquoi définit-on un clone comme étant tous les tubercules provenant d'une seule plante de pomme de terre ?
- 2 Que veut dire "infection systémique" ?
- 3 Pourquoi une plante infectée d'une manière systémique produit-elle une descendance malade ?
- 4 Quel est le principe de la sélection clonale ?
- 5 Quelle est parmi les deux étapes principales de production de plants (plants de base et plants certifiés) celle qui peut comprendre la sélection clonale ?
- 6 Pourquoi les plants de base doivent-ils être multipliés pour donner les plants certifiés ?
- 7 Pourquoi la sélection clonale est-elle utile pour lutter contre PVX et PVS et pourquoi est-elle de valeur douteuse contre PLRV et PVY ?
- 8 Quelle est la valeur particulière des tests viraux dans une sélection clonale ?
- 9 Comment l'efficacité d'un programme de sélection clonale peut-elle être augmentée, c'est-à-dire comment peut-on augmenter la quantité de plants de base et réduire le nombre de multiplications ?
- 10 Quels sont les moyens nécessaires pour commencer un programme de sélection clonale ?
- 11 Dans la sélection initiale des meilleures plantes, quelles maladies faut-il prendre en considération ? Pourquoi ?
- 12 Pourquoi faut-il stocker séparément les tubercules de chaque clone choisi ?
- 13 Dans la première multiplication, quels sont les avantages et inconvénients de la méthode de l'unitube comparée à la méthode de l'unitubercule ?
- 14 Pourquoi les meilleurs tubercules de la première multiplication sont-ils les plus utiles pour recommencer un nouveau cycle de multiplication ?
- 15 Pourquoi les tubercules doivent-ils être plantés par ordre de calibres décroissants si on ne peut pas maintenir un calibre uniforme de plants ?
- 16 Quels sont les facteurs qui rendent la sélection clonale coûteuse ?
- 17 Lisez le second exemple du chapitre 4 : Comment une multiplication supplémentaire de plants certifiés changerait-elle la façon de calculer un programme de sélection clonale ?

LA SÉLECTION CLONALE DANS LA PRODUCTION DE PLANTS DE POMMES DE TERRE

- 1 Principes généraux
- 2 Application
- 3 Méthode à suivre
- 4 Calcul d'un programme de sélection clonale (exemples)
- 5 Bibliographie

Des plants de haute qualité représentent un facteur très important pour s'assurer des rendements satisfaisants. C'est pour atteindre une telle qualité que se pratique la sélection clonale : on choisit au départ des tubercules de haute qualité et on multiplie ensuite chaque clone séparément. Toute trace de maladie entraîne immédiatement l'élimination du clone entier. Malgré sa simplicité, cette méthode est coûteuse, et c'est pourquoi elle semble être mieux adaptée à un centre de production de plants qu'à un agriculteur. Cependant, dans certains cas, les agriculteurs peuvent tirer profit de l'application de cette méthode.

1 PRINCIPES GÉNÉRAUX

Il existe beaucoup de variations dans les principes de la sélection clonale. La description qui suit est générale et la méthode à suivre peut être modifiée.

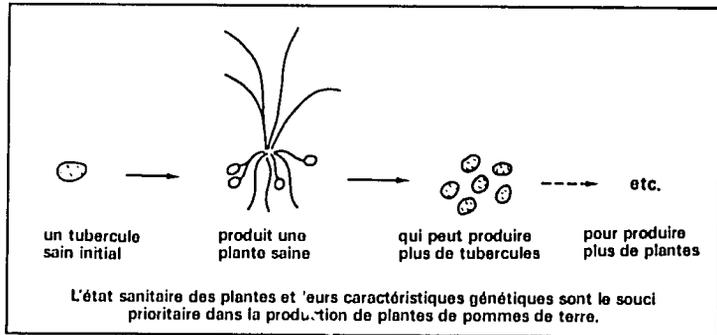
Un clone comprend "...toute la descendance issue de façon asexuée d'un seul individu, à partir de boutures, de bulbes..." (traduit du Webster's New World Dictionary). Ainsi toutes les plantes de pommes de terre obtenues par multiplication asexuée à partir d'un seul tubercule de pomme de terre forment un clone. Un clone est génétiquement homogène.

L'état sanitaire des plants et leurs caractéristiques génétiques sont le souci prioritaire. Dans la production de plants de pommes de terre, la plupart des viroses sont "systémiques" c'est-à-dire qu'elles affectent l'hôte entier. Elles sont transmises d'une multiplication de tubercules à la suivante. Un tubercule malade produit une descendance malade et le clone reste infecté.

La multiplication d'un clone sain est liée à la sélection initiale d'un tubercule sain. Cependant, un clone sain au départ peut devenir infecté si les précautions adéquates n'ont pas été prises.

Il faut choisir un tubercule sain en fonction de ses caractéristiques désirées. Toute la descendance de ce tubercule à travers des multiplications représente un clone lorsque l'identité est maintenue. Un programme de sélection clonale utilise de nombreux tubercules de départ. Ainsi beaucoup de clones sont dénombrés dans chaque variété.

Chaque clone est multiplié séparément. Il faut éliminer les clones présentant des caractéristiques défavorables telles que des maladies, un rendement faible ou un manque de vigueur. Il faut retenir et multiplier uniquement les meilleurs clones.



2 APPLICATION

La sélection clonale est utile à un certain stade de la production de plants de pommes de terre. Dans un programme bien établi, les plants de pommes de terre sont produits en deux étapes principales :

- l'étape des plants de base,
- l'étape des plants certifiés.

L'étape des plants de base. Au début de la multiplication des plants, on constitue un stock initial de matériel végétal sain original par une série de multiplications pour obtenir les plants de base. Cette étape est souvent effectuée dans des stations de production de plants ou par des producteurs privés de plants. La sélection clonale représente une méthode de production de plants de base.

L'étape des plants certifiés. Les plants de base sont trop chers pour les utiliser directement pour la production de pommes de terre de consommation. On les multiplie normalement au moins deux fois pour produire des plants certifiés destinés aux agriculteurs. Ces multiplications sont généralement faites par des producteurs de plants expérimentés.

La sélection clonale appliquée dépend de la situation locale. Une sélection clonale correcte produit des plants relativement indemnes de virus de contact, tels que les virus X et S de la pomme de terre (PVX, PVS). Dans d'autres méthodes de production de plants, ces virus sont difficiles à détecter et ils se répandent facilement de plante en plante.

Si ces maladies sont peu importantes, la méthode de sélection clonale a une valeur limitée. Les virus transmis par les insectes tels que le virus de l'enroulement (PLRV) ou le virus Y de la pomme de terre (PVY) qui provoquent des symptômes relativement faciles à détecter, peuvent être éliminés par épuration.

La sélection clonale est employée pour lutter contre les virus transmis par contact qui provoquent rarement des symptômes faciles à reconnaître. Les tests viraux contre PVX et PVS sont habituellement utiles au cours des deux ou trois premières multiplications de plants de base. Les tests viraux requièrent l'emploi d'antisérum et/ou de plantes indicatrices. Mais vu le prix élevé de ce procédé par rapport aux avantages retirés, il vaut mieux prendre en considération d'autres méthodes de sélection.

Des techniques de multiplication rapide peuvent augmenter l'efficacité d'un programme de sélection clonale. Les tests viraux et les techniques de multiplication rapide demandent des installations plus sophistiquées et un personnel qualifié.

3 MÉTHODE A SUIVRE

Un programme de sélection clonale commence avec des tubercules sains de n'importe quelle provenance. Pour commencer un programme de sélection clonale on utilise le plus souvent un champ de pommes de terre dans un état sanitaire satisfaisant. Des programmes de production de plants plus sophistiqués utilisent parfois de petites quantités de plants importés ou du matériel provenant de techniques de multiplication rapide ou de culture de tissus. Dès qu'un programme de sélection clonale est en cours, un cycle de multiplication peut redémarrer en retirant d'une multiplication antérieure les tubercules les meilleurs et les plus sains.

Sélection initiale. L'étape initiale la plus importante est la sélection minutieuse des meilleures plantes. Ces plantes doivent être exemptes de maladies importantes pour un programme déterminé de production de plants; les maladies de moindre importance peuvent être ignorées. La sélection initiale comprend l'observation du matériel végétal pendant la période de croissance, à la récolte, et après le stockage.

C'est tôt dans la saison pendant la croissance rapide, un peu avant ou juste au moment de la floraison qu'il faut sélectionner et repérer (au moyen de piquets) plus de plantes que celles qui seront nécessaires par la suite. Ensuite il faudra éliminer les mauvaises plantes. Au moment de la récolte, il faut sélectionner les meilleures plantes parmi celles qui ont été marquées. La sélection est basée sur le rendement élevé, la forme et l'homogénéité des tubercules et enfin l'absence de maladies observables.

Chaque ensemble de tubercules provenant d'une plante forme un clone. Il faut stocker séparément chaque clone retenu pour maintenir l'identité clonale. Après le stockage et avant la plantation, il faut éliminer les clones qui ne se sont pas bien conservés et qui ne sont pas de bonne qualité. Les clones retenus commencent un cycle de multiplication.

Première multiplication. Il existe deux méthodes possibles pour commencer ce cycle : la méthode de l'uniplante et la méthode de l'unitubercule.

Dans la **méthode de l'uniplante**, on plante tous les tubercules formant la descendance d'une plante choisie. Chaque descendance est plantée séparément d'une autre afin de maintenir l'identité clonale. On emploie cette méthode quand quelques clones seulement sont nécessaires ou lorsque les surfaces culturales ne sont pas limitées. Tout cas de maladie entraîne l'élimination de la descendance entière, ce qui provoque la perte de beaucoup de plantes. Un échantillon de feuilles composite de toutes les plantes du clone peut être employé pour déceler l'infection par virus de contact en utilisant les méthodes de détection de virus appropriées.

Dans la **méthode de l'unitubercule**, on ne retient et ne plante qu'un seul tubercule d'une plante choisie au départ. Cette méthode est utile quand beaucoup de clones sont nécessaires. Les cas de maladies entraînent exclusivement l'élimination de la seule plante infectée. Un échantillon composite pris sur chaque tige de la plante peut être utilisé pour déceler l'infection par virus de contact.

La méthode de l'unitubercule peut être remplacée par la méthode de l'unibutte lorsque, en se développant, le programme produit des clones plus sains.

Au moment de la plantation, il vaut mieux laisser de larges écartements entre et sur les rangs. Cela facilite le travail d'observation des plantes et réduit la possibilité de transmission de plante à plante. Pour la sélection pendant la période de croissance et la récolte, on suit les mêmes règles que celles indiquées plus haut. Durant la première multiplication, la réduction du nombre de plantes peut être importante vu l'élimination des plantes infestées. Les tubercules de chaque clone sont de nouveau stockés séparément. Seuls les meilleurs clones seront multipliés une deuxième fois.

Deuxième multiplication. A partir des clones retenus lors de la première multiplication, on choisit suffisamment des meilleures plantes ou tubercules pour pouvoir recommencer un nouveau cycle de multiplication. Les tubercules restants sont plantés ensemble, chaque clone séparément. L'écartement des plants peut être inférieur à celui de la première multiplication.

Il n'y a pas encore d'accord pour savoir si tous les tubercules d'un clone ou un nombre égal de tubercules par clone doivent être plantés. La plantation d'un nombre égal donne des rangs et des parcelles de taille égale, ce qui donne un agencement plus net du champ et facilite les comparaisons de rendement. L'excès de tubercules laissés de côté dans ce système peut être ajouté à la dernière multiplication. D'un autre côté, la plantation de tous les tubercules accélère le processus de multiplication et facilite l'identification des clones dont les taux de multiplication sont les plus élevés.

Il faut planter des tubercules de calibre uniforme ou par ordre décroissant de calibre. Cela donne un agencement plus uniforme de la taille des plantes sur le rang et facilite les contrôles. Une plantation irrégulière de tubercules de calibres différents entraîne une hétérogénéité des plantes et rend le contrôle et l'évaluation plus difficiles.

Pendant la période de végétation, au moment de la récolte et après le stockage, il faut procéder à une inspection pour déceler les infections, vérifier l'homogénéité et le type des plantes et tubercules comme indiqué précédemment. Des échantillons composites de feuilles sont prélevés sur un pourcentage de plantes pour déceler les virus de contact. Si une seule plante d'un clone est infectée ou mauvaise, le clone entier est éliminé. Il est nécessaire de procéder ainsi parce que toutes les plantes d'un clone sont dérivées d'une seule plante-mère et qu'il est probable que l'infection venue de la plante-mère soit transmise à tous les tubercules bien que tous ne présentent pas de symptômes.

Une infection nouvelle (de la saison en cours ou infection "primaire") peut aussi se répandre tellement rapidement que l'élimination du clone entier se justifie. Les virus transmis par les insectes n'entraînent pas toujours l'élimination du clone entier. Si les infections sont détectées tant que les plantes sont petites, seules les plantes présentant des symptômes sont éliminées. Si les infections sont détectées lorsque les plantes se touchent, les plantes avoisinantes doivent également être éliminées.

Troisième multiplication et multiplications suivantes. On plante les clones comme indiqué pour la deuxième multiplication. A chaque multiplication, la surface nécessaire par clone augmente. Il est évident que, vu les principes stricts de l'élimination, la sélection clonale peut être trop coûteuse lorsqu'elle est appliquée sans distinction à chaque situation. Pour ces dernières multiplications il faut envisager une élimination clonale limitée aux cas de maladies ou autres caractéristiques défavorables les plus sérieux. Dans les cas les moins graves, il s'agit d'éliminer assez tôt les seules plantes infectées ou les plantes avoisinantes lorsque les plantes se touchent. Ainsi deux considérations sont importantes dans l'élimination : le type de maladie et le stade de développement de la culture.

Le nombre de multiplications nécessaires pour produire la quantité voulue de plants de base dépend du taux de multiplication d'une variété particulière dans des conditions de milieu particulières et selon la densité de population. Chaque multiplication supplémentaire n'augmente pas seulement la quantité de tubercules mais aussi les maladies et les dépenses. Pour des raisons sanitaires et économiques, le nombre de multiplications doit être réduit au minimum.

Dernière multiplication. Dans la dernière multiplication, l'identité clonale est abandonnée. Tous les clones de la même variété sont plantés ensemble. L'élimination est limitée aux plantes individuelles. Le produit récolté de cette multiplication représente **les plants de base**. Les tubercules produits au cours des multiplications précédentes peuvent être appelés plants de pré-base; exemple : pré-base 1 (première multiplication), pré-base 2 (deuxième multiplication), pré-base 3 (troisième multiplication), etc. Pour avoir un impact, les plants de base doivent être ensuite multipliés par les agriculteurs producteurs de plants.

4 CALCUL D'UN PROGRAMME DE SÉLECTION CLONALE

Exemples. La sélection clonale n'est efficace que lorsqu'elle répond à toute la demande en plants de base nécessaires. La demande en plants de base dépend des surfaces de pommes de terre de consommation qui seront plantées avec des plants certifiés. Voici deux exemples qui montrent la marche à suivre pour faire ces calculs.

Premier exemple. Les hypothèses suivantes illustrent un calcul simple.

Données :

Surface de pommes de terre de consommation	1000 ha
Densité de plantation	2 t/ha
Calibre moyen des plants	50 g/tubercule
Taux de multiplication	10
Nombre de multiplications pour la production de plants certifiés	3

A partir de ces chiffres, répondez aux questions suivantes :

Quantité de plants de base nécessaires	?
Nombre de multiplications pour la production de plants de base ?	?
Nombre minimum de clones nécessaires	?

Calcul. Pour une surface de pommes de terre de consommation de 1000 ha, la quantité de plants certifiés nécessaire sera :
 $1000 \text{ ha} \times 2 \text{ t/ha} = 2000 \text{ tonnes de plants certifiés nécessaires.}$

Cette quantité de plants est produite au cours de 3 multiplications en supposant un taux de multiplication de 10 à partir des plants de base :

$$\frac{2000 \text{ t}}{10 \times 10 \times 10} = 2 \text{ tonnes de plants de base nécessaires}$$

Pour un calibre moyen de 50 g/tubercule, 2 tonnes de plants de base correspondent à :

$$\frac{2000 \text{ kg}}{0,050 \text{ kg/tuberc.}} = 40.000 \text{ tubercules}$$

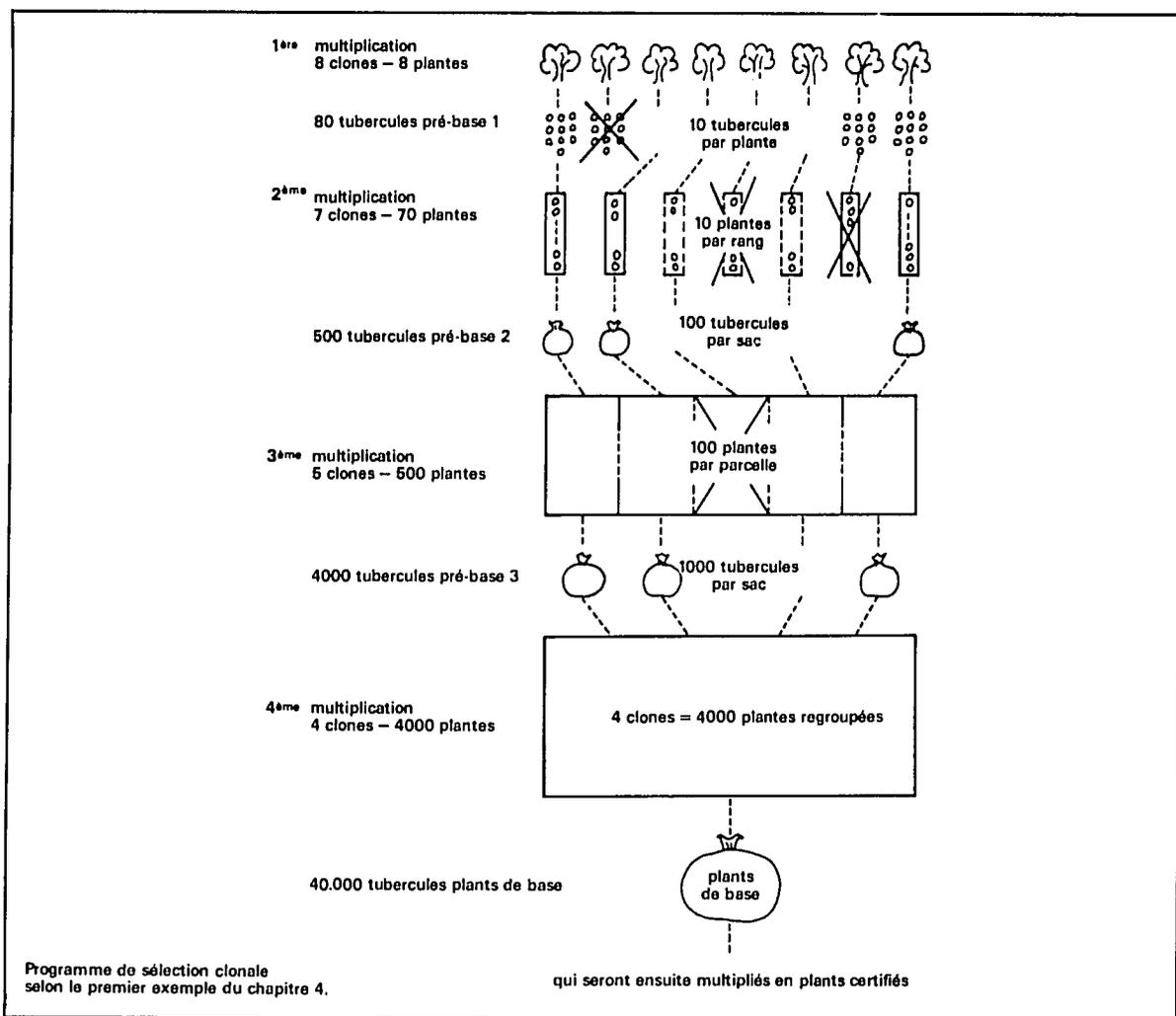
40.000 tubercules peuvent être produits au cours de 4 multiplications en supposant un taux de multiplication de 10 selon la formule suivante :

$$\frac{40.000 \text{ tuberc.}}{10 \times 10 \times 10 \times 10} = 4 \text{ tubercules sélectionnés au départ}$$

Résultat :

Quantité de plants de base nécessaires	=	2 t
Nombre de multiplications pour la production de plants de base	=	4 multiplications
Nombre minimum de clones nécessaires	=	4 clones

Note. Ces 4 clones (provenant de 4 tubercules sélectionnés au départ) constituent le nombre minimum nécessaire. Cela signifie qu'un minimum de 4 clones doit être maintenu tout au long du processus de sélection clonale. Vu qu'il est probable que certains clones seront éliminés, le nombre initial de clones doit être beaucoup plus élevé que 4.



Second exemple. Les hypothèses de ce second exemple ont une valeur plus pratique que celles du premier exemple.

Données :

Surface de pommes de terre de consommation	1000 ha
Densité de plantation	2 t/ha
Calibre moyen des plants	50 g/tubercule

Taux de multiplication	
Plants de base	7
Plants certifiés	5

Nombre de multiplications	
Plants de base	4
Plants certifiés	2

A partir de ces chiffres, calculez ce qui suit (en appliquant la marche à suivre) :

Quantité de plants de base nécessaires à la fin des 4 multiplications (résultat = 80 tonnes).

Nombre minimum de clones nécessaires pour la première multiplication (résultat = 666 clones minimum).

5 BIBLIOGRAPHIE

Beukerna, h.P. and D.E. van der Zaag. 1979. Potato improvement. Some factors and facis. International Agricultural Centre, Wageningen, The Netherlands. 224 pp.

Bryan, J.E. 1987. Amélioration du plant chez l'agriculteur par la technique des parcelles de production de plants. Bulletin d'Information Technique 7. Centre International de la Pomme de terre, Lima, Pérou.

Bokx, J.A. de (editor). 1972. Viruses of potatoes and seed potato production. Pudoc, Wageningen, The Netherlands. 233 pp.

Cortbaoui, R. 1987. L'épuration des pommes de terre. Bulletin d'Information Technique 5. Centre International de la Pomme de terre, Lima, Pérou.

LA BACTÉRIOSE VASCULAIRE DE LA POMME DE TERRE

Pseudomonas solanacearum

Carlos Martin



Plantes de pommes de terre affectées par la bactériose vasculaire

LA BACTÉRIOSE VASCULAIRE DE LA POMME DE TERRE

Pseudomonas solanacearum

Objectifs : L'étude de ce bulletin devrait vous permettre :

- d'expliquer l'importance économique de la bactériose vasculaire,
- de décrire les symptômes,
- de discuter les systèmes de classification du microorganisme,
- de signaler les facteurs favorisant le développement de la bactériose vasculaire,
- de décrire le développement de la bactériose vasculaire (épidémiologie),
- de discuter les moyens de lutte,
- de décrire la nature de la résistance à la bactériose vasculaire.
- de décrire les grandes lignes du test de matériel de sélection.

Matériel didactique :

- Des diapositives montrant les symptômes.

Ne pas transporter de matériel infecté en vue de faire des démonstrations.

Travaux pratiques :

- Observer les symptômes et la gamme d'hôtes au champ.

Ne pas transporter de matériel infecté en dehors du champ. Faire attention de ne pas transporter hors du champ de la terre infectée adhérant aux chaussures ou aux outils.

- Examiner la présence de bactéries sur des coupes de tiges selon les explications du chapitre 2.

QUESTIONNAIRE

- 1 A part les pommes de terre, quelles sont les autres plantes infectées par *P. solanacearum* dans votre pays ?
- 2 Quel symptôme aérien est caractéristique de la maladie ?
- 3 Comment peut-on facilement détecter la bactérie sur les tiges ? Décrivez la méthode.
- 4 Comment les infections latentes des tubercules peuvent-elles être détectées ?
- 5 Quelles races affectent les pommes de terre, et où ?
- 6 Quelle est l'importance des pathovars ?
- 7 Comment la température et l'humidité influencent-elles le développement de la bactériose vasculaire ?
- 8 Quels sont les problèmes spécifiques des infections latentes des tubercules ?
- 9 Comment se fait la survie de la bactérie dans les sols de votre pays ?
- 10 Quelle est la relation existant entre les nématodes et l'incidence de la bactériose vasculaire ?
- 11 Donnez une méthode efficace pour empêcher la dissémination de la maladie.
- 12 Pourquoi la rotation des cultures n'est-elle efficace que lorsque la race 3 domine ?
- 13 Quelles sont les limites de la résistance contre la bactériose vasculaire ?
- 14 Pourquoi est-il nécessaire d'avoir une résistance complète lorsque les pommes de terre sont employées comme plants ?

LA BACTÉRIOSE VASCULAIRE DE LA POMME DE TERRE

Pseudomonas solanacearum

- 1 Importance économique
- 2 Symptômes
- 3 Classification de *P. solanacearum*
- 4 Influence du milieu
- 5 Développement de la maladie
- 6 Moyens de lutte
- 7 Résistance
- 8 Test de matériel résistant
- 9 Bibliographie

La bactériose vasculaire de la pomme de terre ou flétrissement bactérien de la pomme de terre est provoquée par la bactérie *Pseudomonas solanacearum*. La maladie est, à travers le monde, un facteur limitant dans la production de la pomme de terre et surtout pour les plants de pommes de terre. Il n'existe pas encore de moyens de lutte chimique applicables contre le pathogène responsable de la bactériose vasculaire. L'emploi intégré de différentes mesures qui tendent à diminuer l'impact de la maladie augmente les chances d'une production rentable de pommes de terre. Il est important de connaître la biologie de la bactérie et tout ce qui influence le développement de la maladie afin de pouvoir lutter efficacement contre elle.

1 IMPORTANCE ÉCONOMIQUE

P. solanacearum attaque plus de 30 familles chez les végétaux. Les plantes les plus sensibles sont la pomme de terre, le tabac, la tomate, l'aubergine, le chili (paprika), le poivrier et l'arachide. La bactérie provoque surtout des dégâts dans les régions tropicales, subtropicales et tempérées chaudes où elle peut provoquer des pertes importantes dans les récoltes. Cependant on peut aussi la trouver à des altitudes et latitudes plus élevées tout comme en climats plus froids.

2 SYMPTÔMES

On en distingue deux types :

- les symptômes de surface : flétrissement de la plante,
- les symptômes souterrains : pourriture des tubercules (pourriture brune).

Les symptômes de surface sont caractérisés par le flétrissement, le rabougrissement et le jaunissement du feuillage. Le flétrissement fait penser à une plante stressée par un manque d'eau ou infectée par d'autres pathogènes tels que *Fusarium* et *Verticillium* sp.

Le flétrissement d'une seule partie de la plante est caractéristique. Cependant, si la maladie se développe rapidement, les plantes de toute une butte peuvent flétrir. Chez certains cultivars, on remarque au stade préliminaire un léger enroulement des feuilles supérieures.

Les tiges des jeunes plantes de pommes de terre présentent des rayures étroites et foncées facilement observables sous l'épiderme indiquant l'activité de la bactérie dans le système vasculaire. Il est facile de détecter la bactérie. Il suffit de couper à la base d'une tige un morceau de 2 à 4 cm de long et de le placer dans un récipient en verre ordinaire rempli d'eau claire. Après quelques minutes, des filaments laiteux contenant les bactéries s'écoulent de la tige.



Les symptômes souterrains les plus marquants se retrouvent sur les tubercules. Lorsque l'infection est grave, des gouttes d'aspect laiteux qui contiennent des bactéries suintent des yeux des tubercules ou aux extrémités des stolons après la récolte. Ceci fait coller la terre à la surface des tubercules.

Les symptômes externes ne sont pas toujours visibles sur les tubercules infectés. Une coupe de tubercule montre souvent une décoloration brunâtre du système vasculaire. Une légère pression de l'anneau vasculaire fait sortir le typique mucilage blanc-grisâtre de nature bactérienne.

Il peut arriver que les tubercules d'une plante atteinte de bactériose ne soient pas tous atteints ou ne présentent pas tous des symptômes. On peut détecter des infections latentes en plaçant les tubercules à 30°C sous une humidité relative élevée. Après 2 à 3 semaines de ce traitement, on pourra observer la substance visqueuse de nature bactérienne suintant des yeux.



3 CLASSIFICATION DE *P. SOLANACEARUM*

La grande variabilité de *P. solanacearum* a conduit à deux systèmes de classification de ce microorganisme : (1) le système de la race, et (2) le système du biotype.

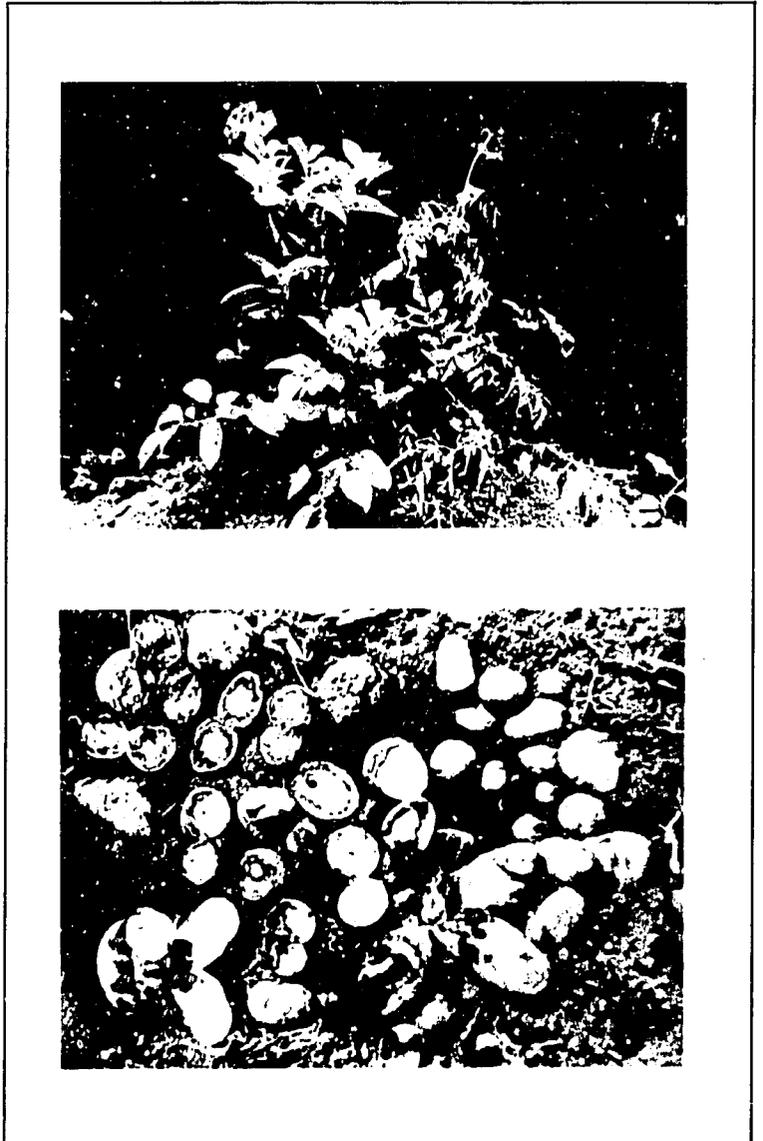
Le système de la race. Le système de la race comprend trois races, dont deux affectent la pomme de terre. Le système est basé sur la gamme d'hôtes dans les conditions du champ.

- La race 1 affecte une gamme étendue de plantes dont la pomme de terre, la tomate, l'aubergine, le tabac, le chili (paprika), l'arachide et plusieurs mauvaises herbes. On la trouve fréquemment dans les régions plus chaudes et à des altitudes faibles sous les tropiques.
- La race 2 affecte les plantes musacées telles que la banane, la banane plantain et l'héliconia.
- La race 3 affecte la pomme de terre et d'autres plantes mais seulement dans certaines conditions. Contrairement à la race 1 on la rencontre plutôt en altitude et sous des latitudes plus élevées.

Le système de biotypes. Par des tests biochimiques, quatre biotypes I, II, III, IV ont pu être différenciés à partir de certains sucres (lactose, maltose, cellobiose) et de certains alcools (mannitol, sorbitol, dulcitol). Le biotype II correspond à la race 3; les autres biotypes ne correspondent à aucune race.

Les pathovars sont indépendants de la différenciation suivant les races ou les biotypes et donc les isolats de *P. solanacearum* peuvent aussi varier dans leur degré de pathogénicité. La pathogénicité est influencée par l'environnement : *P. solanacearum* peut affecter une plante ou une variété dans un endroit et pas dans un autre.

On distingue deux types de symptômes pour la bactériose vasculaire. Pour les symptômes de surface le flétrissement des plantes est le plus caractéristique. Le flétrissement d'une partie seulement de la plante est courant (photo du haut). Pour les symptômes souterrains, on observe qu'une substance visqueuse suinte des yeux des tubercules. Une coupe sur un tubercule montre souvent une décoloration brunâtre de l'anneau vasculaire.



4 INFLUENCE DU MILIEU

Le développement de la bactériose vasculaire est surtout influencé par la température et l'humidité.

La température. Des températures basses limitent ou interrompent le développement de la bactériose vasculaire dans la plante-hôte. Le développement des populations de la bactérie est également diminué dans un sol froid. In vitro, la température optimale pour le développement de la bactérie est de 30° à 32°. Au champ, les symptômes de la maladie apparaissent à des températures de 20°C environ.

L'humidité. Une forte humidité du sol augmente :

- la survie de la bactérie dans le sol,
- le caractère infectieux de l'inoculum dans le sol,
- la vitesse du développement de la maladie,
- la propagation de la bactérie dans le sol à partir de l'hôte.

Un assèchement périodique du sol réduit la viabilité de la bactérie et semble réduire l'incidence de la maladie.

5 DÉVELOPPEMENT DE LA MALADIE

Il est possible que le flétrissement soit le résultat d'un ralentissement de l'eau circulant dans les vaisseaux des tiges suite à la formation d'un mucilage autour des masses de bactéries. Les sources d'inoculum primaire provoquant le flétrissement et la pourriture brune sont principalement :

- les plants infectés,
- le sol infecté.

Les plants infectés. Les plants infectés représentent la source d'inoculum la plus courante. Les infections latentes provoquent des problèmes particuliers lorsque les plants ont été produits en climats froids ou dans les zones tropicales d'altitude supérieure à 2500 m. Ces tubercules ne présentent pas de symptômes mais dès qu'ils sont plantés dans des endroits plus chauds, la maladie se déclare et les pertes peuvent alors être très importantes.

Le sol infecté. *P. solanacearum* vit naturellement dans beaucoup de sols tropicaux. La survie de la bactérie dans le sol est influencée par différents facteurs autres que la température et l'humidité. *P. solanacearum* peut survivre pendant de nombreuses années quoique sa survie puisse être limitée par de mauvaises conditions du sol et par un manque de plantes-hôtes. Les recherches du CIP ont montré que la bactérie ne survit pas d'une saison de croissance à l'autre dans les sols salins des vallées côtières du Pérou. Des scientifiques australiens ont découvert que le pathogène survivait dans des couches profondes du sol (75 cm) même en l'absence de végétation.

L'infection se propage généralement par le système racinaire. Le pathogène pénètre par les blessures des racines qui peuvent surtout être provoquées par les pratiques culturales ou qui sont dues à la croissance naturelle des poils radiculaires.

Meloidogyne incognita, le nématode endoparasite des racines, est associé à la sensibilité des pommes de terre à *P. solanacearum*. Ce nématode, comme d'autres (*Pratylenchus* sp.), facilite la pénétration de la bactérie en blessant les racines.

P. solanacearum se propage aussi par la transmission de racine à racine pendant la formation des poils radiculaires. Une fois que la bactérie pénètre dans les racines, elle se multiplie et se déplace dans la plante par les vaisseaux du xylème des tiges et des pétioles.

P. solanacearum peut être déplacé sur de longues distances par le transport de tubercules infectés. Il est véhiculé de façon locale par la terre qui adhère aux outils et par l'eau d'irrigation.

6 MOYENS DE LUTTE

La lutte contre *P. solanacearum* est rendue difficile à cause de :

- la gamme étendue de plantes-hôtes,
- la survie de la bactérie dans les sols,
- la variabilité de la virulence du pathogène.

Des moyens de lutte intégrés améliorent les possibilités de succès et d'efficacité de la production de la pomme de terre.

La résistance. Pour l'agriculteur, le meilleur moyen de lutter contre la maladie est d'employer des variétés résistantes en association avec d'autres mesures. La résistance variétale sera traitée dans le chapitre 7.

L'état sanitaire des plants. L'utilisation de tubercules sains est une manière efficace de prévenir la propagation de la maladie. Il faut cultiver les plants de pommes de terre dans des zones où la maladie n'existe pas pour s'assurer de l'absence d'infections latentes.

La rotation des cultures. La rotation des cultures avec des plantes non-hôtes réduit le potentiel de l'inoculum dans le sol. Les adventices, et surtout celles de la famille des solanacées, peuvent servir d'hôtes. Certaines adventices-hôtes ne montrent aucun symptôme. Il vaut mieux ne pas pratiquer la rotation des cultures lorsque la race 1 de la maladie prédomine vu sa gamme d'hôtes très étendue.

La conduite des cultures. Les blessures sur les racines et sur les tiges augmentent la pénétration des bactéries. Il y a lieu d'éviter tout dégât mécanique pendant les interventions culturales et le buttage.

Des recherches récentes ont montré que dans les zones tropicales (où prédomine la race 1) l'incidence de la maladie est réduite en cas de non labour (ou de labour fortement réduit) durant la période de croissance. D'un autre côté on a remarqué que dans les sols peu profonds, les travaux du sol fréquents entre les périodes de croissance réduisent l'inoculum.

La lutte contre les nématodes. La lutte contre les nématodes est très importante étant donné qu'ils favorisent les attaques de *P. solanacearum*.

La lutte chimique. Des moyens de lutte rentables et pratiques contre *P. solanacearum* ne sont pas encore disponibles.

La quarantaine. Dès que la maladie a été signalée dans une région, il faut interdire tout transport de plants de pommes de terre à partir de cette région. Dans plusieurs cas, le non respect de ces mesures de quarantaine a entraîné la propagation rapide de la maladie.

7 RÉSISTANCE

Dans la sélection des pommes de terre, on emploie couramment la résistance provenant de *Solanum phureja*. Elle n'est pas générale et il n'existe pas d'immunité. La résistance est fonction des pathovars; ainsi l'existence de différents pathovars (à l'intérieur des races et des biotypes) peut réduire l'efficacité de la résistance en certains endroits.

De plus, la résistance est influencée par le milieu. La résistance est habituellement altérée à des températures élevées (supérieures à 28 °C). Des clones de pomme de terre résistants sont couramment sensibles aux nématodes endoparasites des racines (*Meloidogyne* spp.). Ainsi la résistance à *P. solanacearum* peut être inefficace en présence de ce nématode. Néanmoins, certains clones de pomme de terre nouveaux présentent des niveaux de résistance prometteurs.

Un niveau de résistance acceptable dépend de la destination des pommes de terre. Un certain pourcentage d'infection peut être accepté lorsque les pommes de terre sont destinées à la consommation.

Il en va différemment lorsque les pommes de terre sont plantées pour la production de plants. A partir de plants infectés la maladie peut se répandre sur de grandes surfaces; il est donc nécessaire d'avoir une résistance absolue. Un ou plusieurs plants infectés entraînent normalement l'élimination d'un clone ou d'un champ entier.

8 TEST DE MATÉRIEL RÉSISTANT

Pour les tests de résistance, on peut utiliser des variétés résistantes disponibles localement ou bien du matériel de sélection résistant qui peut être obtenu dans les programmes de sélection tels que ceux du CIP. Le CIP développe du matériel qui garde sa résistance en conditions tropicales chaudes.

Pour tester le matériel de sélection résistant à *P. solanacearum*, il faut considérer les informations de base suivantes :

Le matériel du CIP est formé de ce qu'on appelle des "familles de tubercules". Bien que chaque "famille" provienne d'un croisement, chaque tubercule issu de ce croisement possède une constitution génétique différente et répond différemment à la maladie. Avant de le soumettre à un test au champ, le matériel est multiplié en maintenant l'identité de la descendance de chaque tubercule original ("identité clonale").

La multiplication sous conditions contrôlées d'absence de maladie se poursuit jusqu'à ce qu'un matériel suffisant soit disponible pour faire des tests en divers endroits. Un groupe de clones exempts de maladie est toujours conservé pour une multiplication ultérieure.

Il faut mener les tests au champ pour évaluer la résistance en utilisant au moins trois répétitions avec au moins 3 à 5 tubercules par clone pour chaque répétition. Les champs sélectionnés pour les essais doivent être infectés par *P. solanacearum* aussi uniformément que possible.

Les champs d'essai ne doivent pas être infestés par les nématodes et surtout les nématodes endoparasites des racines (*Meloidogyne* spp.) étant donné qu'ils suppriment la résistance à *P. solanacearum*. Il faut éviter les endroits exposés aux températures extrêmement élevées.

Pour pratiquer les évaluations de la bactériose vasculaire, utilisez le système suivant :

Évaluez les plantes individuelles chaque semaine en commençant dès l'apparition des premiers symptômes de flétrissement. Faites la moyenne des notes hebdomadaires pour chaque parcelle expérimentale et tracez la courbe de l'augmentation hebdomadaire de la maladie ou bien additionnez les moyennes des notes hebdomadaires jusqu'à la fin de votre expérience. (Lorsque la plante est morte on continue à lui donner la note 6).

État sanitaire de la plante	note
plante saine	1
flétrissement d'une foliole ou d'une feuille	2
flétrissement d' 1/3 de la plante	3
flétrissement des 2/3 de la plante	4
flétrissement de la plante entière	5
mort de la plante	6

9 BIBLIOGRAPHIE

Buddenhagen, I.W. and A. Kelman. 1964. Biological and physiological aspects of bacterial wilt caused by *Pseudomonas solanacearum*. Ann. Rev. Phytopathol. 2 : 203-230.

Hayward, A.C. 1964. Characteristics of *Pseudomonas solanacearum*. J. Appl. Bact. 27 : 265-277.

International Potato Center. 1980. Developments in control of potato bacterial diseases. Planning Conference Report. International Potato Center, Lima, Peru. 137 pp.

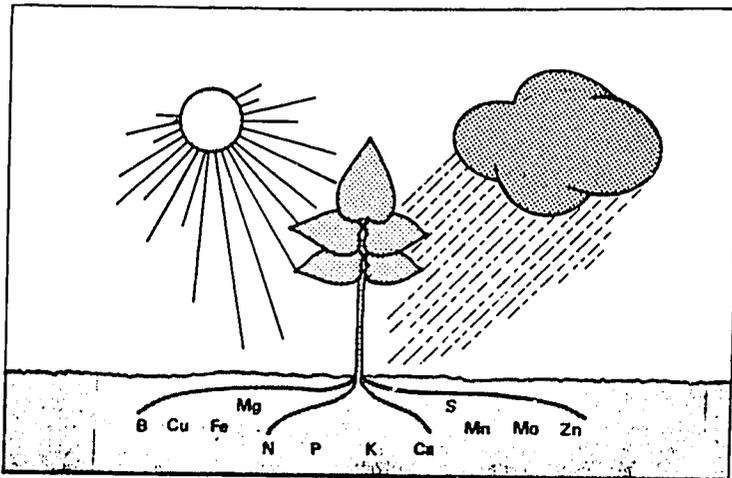
Kelman, A. 1981. Bacterial Wilt. In W. Hooker (ed.). Compendium of potato diseases. American Phytopathological Society, St. Paul, Minnesota, USA. Pages 29-31.

Rowe, P.R. and L. Sequeira. 1972. Development of potato clones with resistance to bacterial wilt. In E.R. French (ed.). Prospects for the potato in the developing world. International Potato Center, Lima, Peru. Pages 206-211.

Thurston, H.D. 1963. Bacterial wilt of potatoes in Colombia. Am. Potato J. 40 : 381-390.

LA FERTILITÉ DU SOL ET SES EXIGENCES DANS LA PRODUCTION DE LA POMME DE TERRE

Peter Vander Zaag



(Adapté de Villagarcia et al., 1978)

LA FERTILITÉ DU SOL ET SES EXIGENCES DANS LA PRODUCTION DE LA POMME DE TERRE

Objectifs : L'étude de ce bulletin devrait vous permettre :

- d'expliquer l'importance et la nature des éléments nutritifs chez les plantes,
- de décrire la fonction, les exigences, les sources et les déficiences des macro et semi-macro éléments,
- de discuter l'importance des oligo-éléments,
- de discuter l'application d'engrais.

Matériel didactique :

- Des échantillons des principaux engrais (organiques et minéraux).
- Des légumineuses aux racines colonisées par des rhizobiums.
- Des diapositives montrant des symptômes de carence.

Travaux pratiques :

- Observez et discutez l'état de fertilité de différentes cultures de pommes de terre sur le terrain.
- Observez dans la nature la relation de symbiose existant entre les racines des légumineuses et les rhizobiums.
- Calculez les besoins en éléments nutritifs (N, P, K, S, Mg) pour une production de 10, 20 et 30 tonnes de tubercules à l'hectare (en supposant un poids de fanes de 1,5 t/ha).

QUESTIONNAIRE

- 1 Dans votre pays quels sont les rendements moyens en champ d'agriculteurs et en stations expérimentales ? Pourquoi y-a-t-il une différence ?
- 2 Quels sont les principaux facteurs limitant des rendements plus élevés dans votre pays ?
- 3 Pourquoi les besoins en azote pour les pommes de terre sont-ils plus élevés que la quantité exportée par la culture ?
- 4 Comment pouvez-vous réduire les pertes en azote ?
- 5 Qu'est-ce que la minéralisation de l'azote ? A quel taux se produit-elle ?
- 6 Pourquoi l'apport en phosphore doit-il être plus élevé que la quantité exportée par la culture ? En moyenne, quelle est la capacité d'absorption des engrais P par la plante ?
- 7 Le super phosphate triple contient 46% de P_2O_5 ; comment peut-on calculer la concentration en P ?
- 8 Quelle est la teneur moyenne en K dans les sols tropicaux ?
- 9 Pourquoi les jeunes méristèmes souffrent-ils les premiers d'une carence en Ca ?
- 10 Comment peut-on diminuer les problèmes de toxicité par l'aluminium ?
- 11 Quelle est l'importance du Mg pour la plante ?
- 12 Quelle est la principale source de soufre ? Pourquoi le S ne pose-t-il pas de problèmes près des villes industrielles ? Pourquoi en pose-t-il un en Afrique tropicale ?
- 13 Comment peut-on facilement corriger les carences en oligo-éléments ?
- 14 Quelle est la période conseillée pour apporter les engrais N, P et K ?
- 15 Comment pouvez-vous déterminer les besoins réels en engrais ? pour votre pays ? pour des champs de particuliers ?

LA FERTILITÉ DU SOL ET SES EXIGENCES DANS LA PRODUCTION DE LA POMME DE TERRE

- 1 Importance et nature des éléments nutritifs chez les plantes
- 2 Azote (N)
- 3 Phosphore (P)
- 4 Potassium (K)
- 5 Calcium (Ca)
- 6 Magnésium (Mg)
- 7 Soufre (S)
- 8 Oligo-éléments
- 9 Apport d'engrais
- 10 Bibliographie

La croissance des pommes de terre dépend de l'apport en éléments nutritifs tels que l'azote, le phosphore ou le potassium. Chacun de ces éléments a une fonction spécifique dans la croissance de la plante. Toute carence entraîne un retard dans la croissance et une réduction de rendement. Une culture de pommes de terre puise dans le sol ses éléments nutritifs et leur restitution est nécessaire afin de maintenir la fertilité du sol. Les engrais sont onéreux et ne sont pas toujours facilement disponibles. C'est pourquoi il est utile à l'agriculteur de connaître le rôle des éléments nutritifs au niveau de la plante et du sol pour obtenir une plus grande efficacité dans l'emploi des engrais.

1 IMPORTANCE ET NATURE DES ÉLÉMENTS NUTRITIFS CHEZ LES PLANTES

Les moyennes nationales de rendement de pommes de terre varient de moins de 4 tonnes à plus de 20 tonnes à l'hectare. Les rendements en pommes de terre sont limités par différents facteurs tels que les températures élevées, les longueurs de jour trop courtes, les faibles intensités lumineuses et les mauvaises caractéristiques physiques du sol. Mais ces variations de rendement sont aussi dues, dans une grande proportion, aux divers apports en engrais.

Ainsi dans de nombreux cas, l'utilisation d'éléments nutritifs augmente les rendements. Cependant, avec l'augmentation des apports d'engrais, l'augmentation du rendement devient de plus en plus faible jusqu'à ce que le coût des apports soit supérieur au bénéfice tiré du rendement. Un emploi efficace des engrais doit satisfaire les besoins de la plante et éviter un apport excessif.

Une fumure adaptée d'engrais exige la connaissance de la nature des éléments nutritifs et de leur rôle au niveau du sol et de la plante. Habituellement, on groupe les éléments nutritifs en macro-éléments, semi-macro-éléments et oligo-éléments. Leur concentration moyenne dans les feuilles et les tubercules peut donner une idée des exportations du sol par les plantes de pommes de terre et de la quantité nécessaire à restituer (Tableau 1).

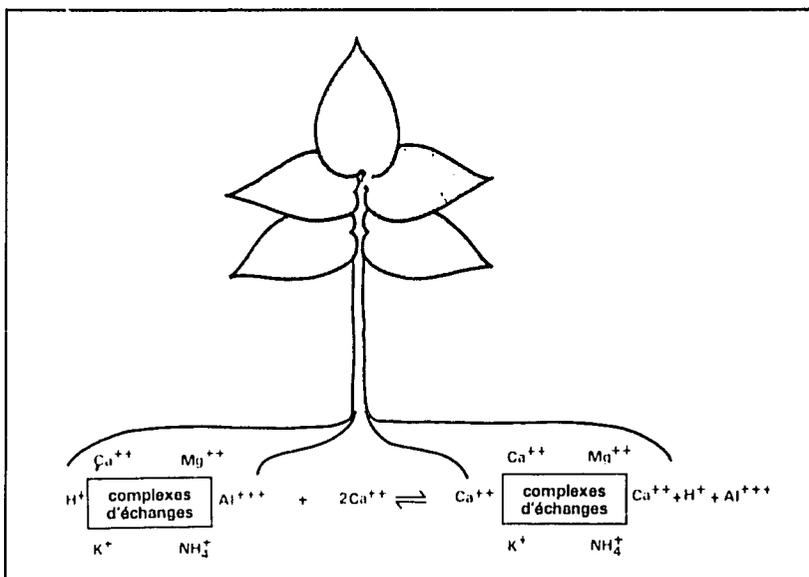
Les descriptions suivantes montrent que la disponibilité des éléments nutritifs pour la plante de pommes de terre dépend de leur interaction et qu'elle est souvent altérée par les caractéristiques du sol, et en particulier par ce qu'on appelle les complexes d'échange. Ces complexes sont responsables du processus d'adsorption, de libération et des échanges des éléments dans le sol. Une analyse de sol en laboratoire peut aider à déterminer les besoins en engrais dans des conditions spécifiques. Le résultat des analyses de sol permet de calculer la quantité d'engrais à apporter.

Tableau 1. Catégories et concentrations moyennes en éléments nutritifs dans les feuilles (60 jours après la plantation) et dans les tubercules (à la récolte). (Vander Zaag, non publié).

Catégorie	Éléments nutritifs	Concentration (% du poids sec)	
		tubercules	feuilles
macro-éléments	azote N	1,6	6,5
	phosphore P	0,2	0,6
	potassium K	1,6	6,0
	calcium Ca	0,05	1,0
semi-macro-éléments	magnésium Mg	0,13	0,5
	soufre S	0,15	0,25
oligo-éléments	bore B	trace	trace
	cobalt Co	"	"
	civre Cu	"	"
	fer Fe	"	"
	manganèse Mn	"	"
	molybdène Mo	"	"
	zinc Zn	"	"

Les besoins en engrais dépendent aussi du rendement attendu. Pour montrer approximativement les besoins en engrais d'une culture de pommes de terre, les valeurs moyennes admises dans cette publication sont les suivantes :

- rendement en tubercules (poids frais) 20 t/ha
- rendement en tubercules (poids sec; 20% de matière sèche) 4 t/ha
- poids des fanes (poids sec) 1,5 t/ha



Les complexes d'échange du sol sont responsables du processus d'adsorption, de libération et d'échanges des éléments.

Tableau 2. Principaux engrais, leur formule chimique et leur teneur en unités fertilisantes (%)

Engrais	Formules	Unités fertilisantes (%)							
		N	P ₂ O ₅	(=P)	K ₂ O	(=K)	Ca	Mg	S
ammoniac anhydre	NH ₃	82							
nitrate de calcium	Ca(NO ₃) ₂	16					21		
nitrate d'ammoniaque	NH ₄ NO ₃	33							
sulfate d'ammoniaque	(NH ₄) ₂ SO ₄	20							24
urée	CO(NH ₂) ₂	46							
phosphate monoammonium	NH ₄ H ₂ PO ₄	11	48	21			1,4		2,6
phosphate diammonium	(NH ₄) ₂ HPO ₄	20	54	24					
superphosphate	CaSO ₄ + Ca(H ₂ PO ₄) ₂ .H ₂ O		20	9			20		12
superphosphate (triple)	Ca(H ₂ PO ₄) ₂ .H ₂ O		46	20			13		1
chlorure de potassium	KCl				60	50	0,3		
sulfate de potassium	K ₂ SO ₄				53	44			18
nitrate de potassium	KNO ₃	14			47	39			
sulfate de magnésium potassium	K ₂ SO ₄ .MgSO ₄				32	27		8	22
dolomie	CaCO ₃ .MgCO ₃						22	13	
engrais composé	(ex. 15-15-15)	15	15	6,6	15	12,5			

2 AZOTE (N)

L'azote est un constituant des protéines. La teneur en protéines dans une plante est en relation directe avec la concentration en azote dans les tissus de la plante (% de protéines = % de N x 6,25). De plus, l'azote est partie intégrante de la chlorophylle et des acides nucléiques qui constituent les chromosomes.

Besoins. Les besoins en azote chez la pomme de terre sont influencés par les conditions climatiques, le type de sol, la fertilité du sol, la culture précédente, la variété et les pratiques culturales (surtout l'irrigation).

Le tableau 1 indique une concentration en N égale à 1,6% dans les tubercules et à 6,5% dans les fanes. La culture de pommes de terre moyenne produit (voir plus haut) :

4 t/ha de tubercules (poids sec)
1,5 t/ha de fanes (poids sec)

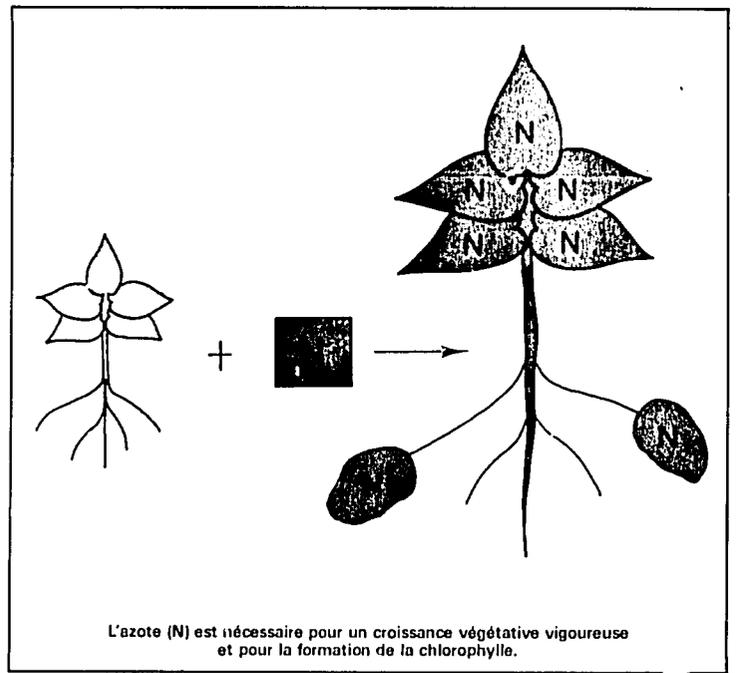
Ainsi, les exportations en N hors du champ par une culture de pommes de terre s'élèvent :

pour les tubercules
à 1,6% x 4 t = 64 kg/ha
pour les fanes
à 6,5% x 1,5 t = 97,5 kg/ha
donnant un total
approximatif de 160 kg/ha

Les besoins en azote sont plus élevés que les quantités exportées par la culture étant données les pertes par lessivage ou sous forme gazeuse. Il faut donc approximativement 200 kg d'azote par hectare. Pour une production de 20 t/ha de tubercules, ce besoin de 200 kg en azote correspond à :

10 kg de N par tonne de tubercules produite.

Ce chiffre est généralement accepté comme étant le besoin des pommes de terre en azote.



Sources. L'azote est apporté par la matière organique du sol, les engrais chimiques et les légumineuses fixant l'azote.

Matière organique. La matière organique du sol provient des organismes vivant dans et sur le sol et des résidus de cultures. En se décomposant, elle libère lentement l'azote sous forme minéralisée. La quantité de matière organique dans un sol peut être déterminée en laboratoire par des analyses de sol. L'azote fourni par le sol peut être calculé de la manière suivante :

- un sol peut contenir 3% de matière organique,
- dont 5% est de l'azote,
- 2% de cet azote est libéré (sous forme minérale) chaque saison,
- le poids du sol pour une couche de terre arable de 15 cm est de 2000 t/ha.

Ainsi en une saison, le sol peut libérer

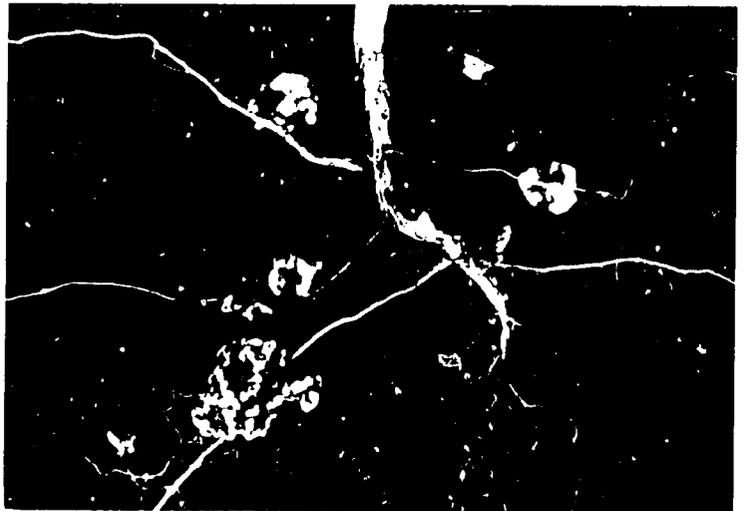
$2.000.000 \text{ kg de terre à l'ha} \times 3\% \times 5\% \times 2\% = 60 \text{ kg N/ha.}$

Dans le cas de notre exemple, cette quantité de N ne satisfait que 30% des besoins de la culture.

Le compost est une autre source intéressante de matière organique contenant approximativement 1% d'azote. Il peut provenir des résidus de culture, des déchets ménagers ou de fumiers d'animaux.

Engrais. L'azote est disponible dans les engrais simples ou composés (Tableau 2).

Légumineuses. Les légumineuses telles que la luzerne, les haricots, les pois et les arachides vivent en symbiose avec les rhizobiums. Les rhizobiums sont des bactéries spécifiques vivant sur les racines des légumineuses qui captent l'azote atmosphérique, qui est ensuite utilisé par la plante. L'excès de cet azote peut être utilisé par la pomme de terre lorsqu'elle est cultivée dans les environs immédiats de légumineuses ou lorsqu'elle intervient en rotation avec une culture de légumineuses.



Fixation d'azote atmosphérique par les rhizobiums sur des racines de pois.

Carence. L'azote est nécessaire pour une croissance végétative vigoureuse et pour la formation de la chlorophylle. Une carence en azote entraîne un ralentissement de la croissance et des chloroses. Les plantes se rabougrissent et jaunissent. L'azote est mobile dans la plante et il est transféré vers les parties en croissance. La chlorose et le jaunissement apparaissent d'abord sur les feuilles inférieures qui peuvent éventuellement brunir, puis mourir.

3 PHOSPHORE (P)

Le phosphore est un élément essentiel parmi les composés chimiques qui sont responsables du transfert d'énergie, laquelle est liée aux réactions du métabolisme de la plante. Le phosphore est aussi un constituant des acides nucléiques. Le phosphore est surtout important pour la formation des graines et la croissance racinaire.

Besoins. Une culture de pommes de terre prélève une quantité de P égale à 0,2% du poids sec des tubercules et à 0,6% du poids sec des fanes (Tableau 1). Les exportations en P d'une culture de pommes de terre moyenne s'élèvent :

pour les tubercules à	0,2% x 4 t =	8 kg/ha
pour les fanes à	0,6% x 1,5 t =	9 kg/ha
donnant un total approximatif de		17 kg/ha

Cependant les besoins totaux en P sont plus élevés à cause de la faible capacité d'absorption du phosphore par la plante (voir plus loin).

Sources. Le phosphore se trouve dans le sol, dans le compost, dans les engrais chimiques ainsi qu'à l'état de phosphate naturel.

Phosphore du sol. Dans le sol, le phosphore se trouve sous forme organique et minérale. La minéralisation du phosphore à partir des formes organiques dépend de l'activité des organismes du sol (bactéries), de la température, des enzymes, et du rapport carbone/phosphore (rapport C/P).

La pomme de terre utilise le phosphore disponible en solution dans le sol. Les sols vierges ont généralement des quantités de phosphore suffisantes pour permettre une agriculture de subsistance. Des sols dont la teneur en matière organique est élevée fournissent une quantité normale de P. Les sols volcaniques contiennent de grandes quantités de phosphore, mais souvent sous une forme non-assimilable par la plante.

Compost. Le compost contient 0,15% environ de phosphore.

Engrais. La concentration en P de tous les engrais du commerce précise en fait le pourcentage en P_2O_5 (Tableau 2). La concentration en P peut être calculée en utilisant les masses moléculaires de P (31) et de O (16) et la proportion de P dans P_2O_5 , c'est-à-dire 44% *).

La capacité d'absorption de P par la plante et donc la quantité d'engrais nécessaire, dépend du type de sol et de la température. En général, seulement 10% du phosphore apporté sont disponibles pour la culture en cours. La saison suivante, l'effet rémanent du P apporté est de 5% et de 2,5% la troisième saison.

La capacité de la plante d'assimiler P diminue avec la température. Donc, il faut apporter plus de P lorsqu'on cultive des pommes de terre en climats froids. Une analyse de sol détermine les besoins réels en P pour des conditions déterminées.

Exemple. On peut estimer la dose d'engrais P à apporter de la manière suivante :

- une culture produisant 20 t de tubercules exporte 17 kg P/ha,
- une analyse du sol montre que 100 kg P/ha sont présents dans les 15 cm formant la couche arable de la surface,
- la capacité d'absorption de P est de 10%,
- il ne se produit aucune perte par érosion ou lessivage.

Le sol fournit 100 kg de P avec une efficacité de 10% :

$$100 \text{ kg} \times 10\% = 10 \text{ kg/ha}$$

Avec un taux d'efficacité de 10%, il faut appliquer

$$\frac{7 \text{ kg}}{10\%} = 70 \text{ kg/ha}$$

pour apporter les 7 kg supplémentaires afin de compenser l'ensemble des exportations, c'est-à-dire 17 kg de P. Ces 70 kg de P correspondent à 160 kg de P_2O_5 .

On peut réduire les apports de P les années suivantes étant donné l'effet de rémanence des apports précédents. Si on a apporté 70 kg de P la première saison, 5%, c'est-à-dire 3,5 kg restent disponibles pour la deuxième saison.

Carences. Le phosphore est surtout important pour la croissance racinaire et la formation de graines. Une carence en phosphore peut être la cause d'un faible développement du système racinaire.

*) $P : P_2O_5 = (2 \times 31) / (2 \times 31 + 5 \times 16) = 0,44$

4 POTASSIUM (K)

Le potassium n'est pas considéré comme faisant partie des constituants chimiques de la plante. Il agit dans la formation des hydrates de carbone et dans la transformation et le transport de l'amidon des feuilles aux tubercules. Le potassium a aussi un rôle important dans le fonctionnement des stomates et dans le bilan hydrique de la plante.

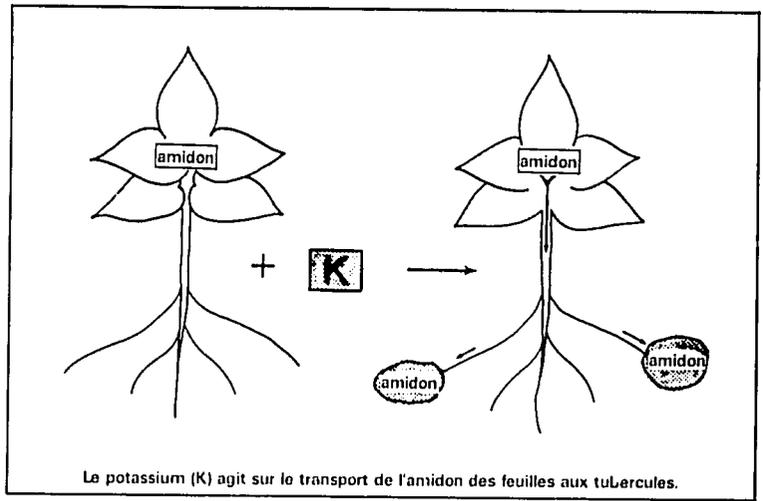
Besoins. Le potassium est l'élément le plus abondant dans la plante. Les tubercules en contiennent environ 1,6% et les feuilles, 6% (Tableau 1). Ainsi la quantité de K exportée par une culture de pommes de terre moyenne s'élève :

pour les tubercules à	1,6% x 4 t =	64 kg/ha
pour les fanes à	6 % x 1,5 t =	90 kg/ha
donnant un total de		154 kg/ha

Sources. On trouve le potassium dans le sol, dans le compost et dans les engrais.

Le potassium du sol. On trouve le potassium dans les minéraux du sol tels que les feldspaths, les micas et la biotite (minéraux primaires). Sur les argiles (minéraux secondaires), K peut être adsorbé et échangeable. Le K échangeable est disponible pour la croissance de la plante. Il peut y avoir des pertes en K dans les eaux de lessivage. Dans les sols tropicaux, la teneur en K peut être faible car les minéraux contenant du K peuvent manquer. De fortes précipitations peuvent également provoquer le lessivage et de plus des températures élevées peuvent accélérer la libération puis la perte de K adsorbé.

Compost. Le compost contient environ 0,5% de K.



Engrais. La teneur en K des engrais du commerce précise en fait le pourcentage en K₂O (Tableau 2). La teneur en K est de 83% de la teneur en K₂O*. On peut déterminer la dose d'engrais nécessaire par une analyse de sol.

Carences. La carence en K se manifeste surtout par une décoloration des feuilles inférieures qui deviennent jaunes à brunes et par des nécroses sur les bords des feuilles.

*) $K : K_2O = (2 \times 39) / (2 \times 39 + 16) = 0,83$ (la masse moléculaire de K = 39)

5 CALCIUM (Ca)

Le calcium joue un rôle dans la synthèse des protéines, dans la division et la croissance des cellules et dans le développement des tissus méristématiques.

Besoins. La concentration en Ca dans les tubercules et les fanes est relativement faible (Tableau 1); la pomme de terre a donc peu besoin de cet élément.

Sources. On trouve le Ca dans le sol et les engrais.

Le calcium du sol. Le calcium se trouve dans les minéraux tels que la calcite, la dolomie et l'apatite. La faculté d'assimilation du calcium par la plante dépend de facteurs édaphiques tels que la capacité d'échange du sol, la saturation en Ca des complexes d'échange et la relation avec d'autres éléments du complexe d'échange. Dans beaucoup de zones humides et chaudes, la saturation en Ca est faible, ce qui entraîne une toxicité par l'aluminium (par interférence avec le Ca). Un excès en Ca peut dérégler les métabolismes du potassium et du fer dans la plante.

Engrais. Les engrais phosphoriques ordinaires contiennent des quantités considérables de calcium (Tableau 2). Les matériels calcaires comme l'oxyde de calcium (chaux vive, CaO), l'hydroxyde de calcium (chaux éteinte, Ca(OH)₂), le carbonate de calcium (calcite, CaCO₃) et le silicate de calcium (les scories) ont une bonne teneur en Ca. Ils sont susceptibles d'augmenter le pH des sols acides. En général, dans les sols tropicaux acides, un pH égal à 5,3 est suffisant pour résoudre les problèmes de toxicité par l'aluminium.

Carences. Le calcium est un élément immobile. Aussi, s'il y a une carence en Ca, les jeunes méristèmes ne reçoivent pas la quantité nécessaire pour un développement correct. La carence devient observable lorsque les bourgeons terminaux ne se développent pas.

6 MAGNÉSIUM (Mg)

Le magnésium est le seul élément minéral qui constitue la chlorophylle. C'est aussi un activateur du métabolisme des hydrates de carbone et de la respiration cellulaire.

Besoins. La quantité de Mg exportée par une culture de pommes de terre moyenne est importante (cf tableau 1 et les hypothèses de rendement dans la section 1) :

0,13% du poids sec des tubercules	=	5,2 kg Mg
0,5% du poids sec des fanes	=	22,5 kg Mg
total pour une culture de pommes de terre moyenne	=	27,7kg Mg

Ainsi, une culture moyenne exporte environ 28 Kg de Mg/ha.

Sources. Les niveaux de magnésium dans le sol sont normalement suffisants pour assurer une culture de pommes de terre de subsistance. Cependant en cas de cultures plus intensives, ces quantités ne suffisent plus. Dans beaucoup de pays pratiquant une agriculture intensive, on apporte du Mg à chaque culture de pommes de terre.

Le calcaire dolomitique apporte non seulement du Mg mais aussi du Ca, ce qui ajuste l'acidité du sol (pH). Comme autres sources de Mg, il y a les scories de déphosphoration, le sulfate de magnésium potassium et la magnésie.

Carences. Une carence en Mg donne lieu à l'apparition de chloroses entre les nervures des feuilles; seules les nervures restent vertes. Les feuilles inférieures sont les premières à présenter les symptômes de déficience, car le Mg subit facilement le transfert vers les parties en croissance.

7 SOUFRE (S)

Le soufre est important pour la synthèse des acides aminés contenant du S (cystine, cystéine, méthionine) et des protéines. Les acides aminés contenant du S sont importants pour l'homme car ils ne sont pas synthétisés par notre organisme. Leur présence dans la pomme de terre rend celle-ci importante dans l'alimentation humaine.

Besoins. En se basant sur le poids sec, les tubercules contiennent 0,15% de S et les feuilles 0,25% (Tableau 1). Les quantités de S exportées par une culture sont donc importantes (aux environs de 10 kg par hectare).

Sources. On peut augmenter la quantité en acides aminés soufrés en apportant du soufre dans le sol. Dans la plupart des champs le soufre se trouve dans la matière organique ou est adsorbé sur le complexe du sol. Les industries modernes émettent des quantités considérables de S dans l'atmosphère, qui retombent dans le sol avec les précipitations. Mais en Afrique tropicale, seulement 1 à 3 kg de soufre par hectare retombent dans le sol lors des chutes de pluie. Le contenu en soufre du sol ajouté au soufre provenant des précipitations peut être suffisant pour une agriculture de subsistance mais pas pour une agriculture intensive.

Le superphosphate triple, le sulfate d'ammoniaque, le gypse, les scories de déphosphoration, le superphosphate ou le sulfate de potasse apportent du soufre.

Carence. Des carences en soufre retardent la croissance de la plante. Les plantes deviennent uniformément chlorosées, rabougries et en forme de fuseau avec des tiges minces.

8 OLIGO-ÉLÉMENTS

Les oligo-éléments jouent, à très petites doses, un rôle important dans la croissance des plantes. Il s'agit du bore (B), du cobalt (Co), du cuivre (Cu), du fer (Fe), du manganèse (Mn), du molybdène (Mo) et du zinc (Zn). Ils peuvent parfois se trouver en proportions limitées ou dépasser les proportions toxiques, (surtout le Fe et le Mn en conditions humides). On lutte contre la carence en oligoéléments en répandant des cendres ménagères. Celles-ci contiennent tous ces oligo-éléments en petites quantités.

9 APPORT D'ENGRAIS

La forme, la quantité et l'époque d'apports d'engrais dépendent des conditions locales.

Les engrais organiques sont généralement apportés au moment de la préparation du terrain avant la plantation. Les phosphores chimiques et la potasse sont apportés au moment de la plantation. Etant donné qu'il peut facilement se produire des pertes en azote dans les eaux de ruissellement ou d'irrigation, on recommande généralement d'apporter une première moitié de la dose de N à la plantation et la seconde moitié au buttage (soit 4 à 5 semaines plus tard). La quantité d'engrais dépend à la fois du rendement désiré, des conditions du sol et de certaines considérations économiques (prix des engrais). Une recherche locale doit être effectuée afin de déterminer les besoins réels. Ces essais doivent comparer les analyses du sol et des tissus de la plante avec les résultats de la culture.

10 BIBLIOGRAPHIE

- Burton, W.G. 1966. The potato. Veenran and Zonen, Wageningen, Netherlands. 282 pp.
- Geus, J.G. de 1973. Fertilizer guide for the tropics and subtropics. Centre d'Etude de l'Azote, Zurich, Switzerland. 774 pp.
- Harris, P.M. (ed.) 1978. The potato; the scientific basis for improvement. Chapman and Hall, London. 730 pp.
- International Potato Center. 1982. World Potato Facts. International Potato Center, Lima, Peru. 54 pp.
- Klein, Lisa B. et al. 1980. The effect of phosphorus fertilization on the chemical quality of Kathadin Potatoes. Am. Potato J. 57 : 259-266.
- Thompson, H.C. and W.C. Kelly. 1957. Vegetable crops. McGraw-Hill, New York, Toronto, London. 611 pp.
- Tisdale, S.L. and W.L. Nelson. 1957. Soil fertility and fertilizers. Macmillan Publishing Company, New York. 694 pp.
- Villagarcía, S. et al. 1978. Resultados de ensayos de invernadero y de campo sobre fertilización y nutrición mineral en el cultivo de la papa durante el periodo 1975/1977. UNA/CIP, Lima, Peru. 2 Vols.

LA GESTION DE L'EAU DANS LA PRODUCTION DE LA POMME DE TERRE

Anton J.Haverkort



Irrigation par sillons

LA GESTION DE L'EAU DANS LA PRODUCTION DE LA POMME DE TERRE

Objectifs : L'étude de ce bulletin devrait vous permettre :

- de discuter l'importance de l'eau pour la croissance de la pomme de terre,
- d'expliquer les relations existant entre les plantes, l'eau et le sol,
- d'expliquer les possibilités et les limites de la gestion de l'eau sans irrigation,
- de décrire les systèmes d'irrigation et principalement l'irrigation par sillons - ou irrigation "à la raie" -,
- de discuter les principes de la détermination des besoins en eau d'irrigation (périodicité et dose),
- de déterminer les apports en eau.

Matériel didactique :

- Une plante de pommes de terre bien turgescence et une autre légèrement flétrie.
- Une plante de pommes de terre avec son système racinaire et ses tubercules provenant d'un champ gorgé d'eau.
- Des tubercules déformés par des variations excessives de l'humidité du sol.
- Un bac d'évaporation.
- Des dispositifs montrant les différents systèmes d'irrigation.
- Un tensiomètre.
- Des exemples de données nécessaires pour calculer les besoins en eau.

Travaux pratiques :

- Installer et contrôler un bac d'évaporation.
- Calculer ETr à partir des observations de ETp et de l'importance de la couverture de la culture dans différents champs de pommes de terre.
- Calculer le point de sécheresse en supposant une eau utile égale à 20%.
- Mettre en pratique et discuter l'irrigation par sillons.
- Estimer la quantité d'eau distribuée sur le terrain avec les siphons ou les canaux de distribution.
- Déterminer l'humidité du sol au champ en utilisant le guide des sols du tableau 6.1 ou le tensiomètre.
- Calculer les apports d'eau pour un sol typique de votre région.

1 QUESTIONNAIRE

- 1 Quelle est la quantité d'eau nécessaire au bon développement d'une plante de pommes de terre durant sa période de croissance ?
- 2 Quelles sont les fonctions pour lesquelles l'eau est nécessaire dans la plante ?
- 3 Pourquoi la plante de pommes de terre est-elle particulièrement sensible aux déficits et aux excédents d'eau ?
- 4 Comment l'humidité du sol influence-t-elle la température du sol ?
- 5 Quels sont les effets directs de la sécheresse ?
- 6 Quels sont les dangers d'un excédent d'eau ?
- 7 Quels sont les effets des variations excessives de l'humidité du sol ?
- 8 Que représente ETp ?
- 9 Comment détermine-t-on ETr ?
- 10 La transpiration dépend d'un facteur autre que ETp. Lequel ?
- 11 Quelle est la relation entre l'ouverture des stomates et le rendement d'une culture de pommes de terre ?
- 12 Qu'est-ce que la saturation (des sols) ?
- 13 Qu'est-ce que le point de sécheresse ?
- 14 Dressez la liste des pratiques culturales pour une culture de pommes de terre en sols arides.
- 15 Dans les cultures en sols arides, pourquoi devez-vous utiliser des variétés de pommes de terre tardives ?
- 16 Quels sont les facteurs qui déterminent la longueur des sillons lors de l'irrigation par sillons ?
- 17 Discutez les limites de la pente du sillon.
- 18 Décrivez la méthode pour déterminer manuellement le moment où le point de sécheresse est atteint.
- 19 Quelle doit être l'humidité du sol pendant la germination ?
- 20 Avec quelle méthode de gestion de l'eau pouvez-vous stimuler une croissance racinaire profonde ?
- 21 Pourquoi la terre doit-elle rester humide (et pas mouillée) entre la maturité de la culture et la récolte ?
- 22 Quels sont les éléments qui déterminent la quantité de l'eau ?

LA GESTION DE L'EAU DANS LA PRODUCTION DE LA POMME DE TERRE

- 1 Importance de l'eau
- 2 Relations plante - eau - sol
- 3 Gestion de l'eau sans irrigation
- 4 Systèmes d'irrigation
- 5 Irrigation par sillons
- 6 Apport de l'eau
- 7 Qualité de l'eau d'irrigation
- 8 Comment calculer les besoins en eau d'irrigation (exemple)
- 9 Bibliographie

L'eau joue un rôle important dans la culture de la pomme de terre. Une culture de pommes de terre a besoin de 400 à 800 mm d'eau, en fonction des conditions climatiques et de la longueur de la période de croissance. Pour une densité de 40.000 plantes à l'hectare, cela correspond à 100 -200 litres d'eau par plante au cours de la période de croissance. L'approvisionnement en eau dépend à la fois des pluies et de l'irrigation. Une gestion correcte de l'eau doit en apporter suffisamment pour la croissance des pommes de terre et éviter les pertes excessives ou les gaspillages.

1 IMPORTANCE DE L'EA''

L'eau, facteur principal pour la croissance, est nécessaire dans la plante pour :

- la photosynthèse, la respiration et autres fonctions physiologiques,
- le transport des sels minéraux et des produits de la photosynthèse,
- la turgescence des cellules végétales,
- la transpiration et la régulation de la température des feuilles.

En comparaison avec beaucoup d'autres plantes cultivées, la plante de pommes de terre est sensible à la fois à un déficit et à un excédent d'eau :

- Le système racinaire relativement peu profond limite ce qu'on appelle la zone racinaire efficace à 50 - 80 cm de profondeur.
- Le système racinaire est faible et ne peut pénétrer les sols compacts, ce qui réduit encore plus la zone racinaire efficace.
- La pénétration des racines peut être réduite quand le pH des différentes couches du profil pédologique varie.
- La force de succion des racines est assez faible. De plus, l'efficacité des racines peut être réduite par des maladies et des ravageurs.
- Les stomates des feuilles se ferment rapidement lors d'un manque d'humidité. La fermeture des stomates provoque une réduction de la transpiration et de la photosynthèse, un échauffement des feuilles, et par conséquent une réduction du rendement.

Le déficit en eau. L'obstacle le plus fréquent est le déficit en eau. La pomme de terre ne compense pas les périodes de sécheresse par une croissance prolongée. Même une courte période de sécheresse a des conséquences sur le rendement, et surtout après la tubérisation.

Un sol sec entraîne une réduction du nombre de tiges. Dans un sol sec et plein de mottes de terre, seuls les germes en contact avec l'eau se développent.

Au début de la tubérisation, la sécheresse favorise l'attaque de *Streptomyces scabies* (la gale commune de la pomme de terre). Par la suite, les crevasses dans le sol provoquées par la sécheresse favorisent l'infestation des tubercules par les insectes et principalement par la teigne.

La sécheresse influence directement le rendement en limitant la transpiration et la photosynthèse. La sécheresse provoque indirectement une réduction de l'évaporation à partir du sol et des feuilles, ce qui augmente la température du sol et de la plante. Une température élevée est défavorable à la tubérisation. La sécheresse peut aussi provoquer des dérèglements physiologiques du tubercule, tels que des taches brunes internes. Cela se produit surtout en fin de saison, lorsque le feuillage est mort et que la terre est exposée au soleil.

Des sols secs forment des mottes qui rendent difficiles les pratiques culturales et provoquent des dommages aux tubercules à la récolte.

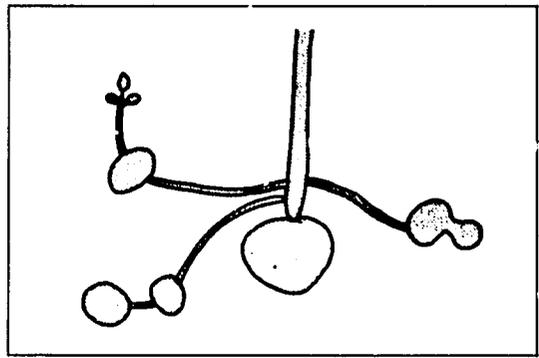
L'excédent d'eau peut se produire en cas de pluies violentes, d'irrigation trop importante ou d'un drainage inefficace.

Un excédent d'eau est asphyxiant car il empêche la circulation de l'oxygène vers les parties souterraines de la plante, ce qui a pour conséquence un faible développement racinaire et un pourrissement des tubercules nouvellement formés. Les tubercules-plants sont sensibles spécialement au pourrissement. Une irrigation excessive peu après la plantation peut diminuer la levée suite à une croissance trop importante des lenticelles, qui vont permettre une pénétration des parasites. Une irrigation excessive peut aussi provoquer le pourrissement des tubercules avant la récolte.

Une forte humidité favorise le développement du mildiou (*Phytophthora infestans*). Un excédent d'eau provoque un gaspillage d'eau par percolation ou par ruissellement et aggrave l'érosion.

La variation de l'humidité du sol. Des variations excessives de l'humidité du sol influencent la qualité des tubercules. Après une période de sécheresse prolongée, un apport d'eau peut occasionner une seconde croissance. Les tubercules présentent des étranglements en forme de goulet, des protubérances et peuvent également se craqueler. Une reprise du rendement des tubercules. Une reprise de la tubérisation entraîne la formation de nombreux petits tubercules.

Les variations de l'humidité du sol peuvent engendrer une seconde croissance, ce qui donne des tubercules présentant des étranglements en forme de goulet ou des protubérances.



2 RELATIONS PLANTE - EAU - SOL

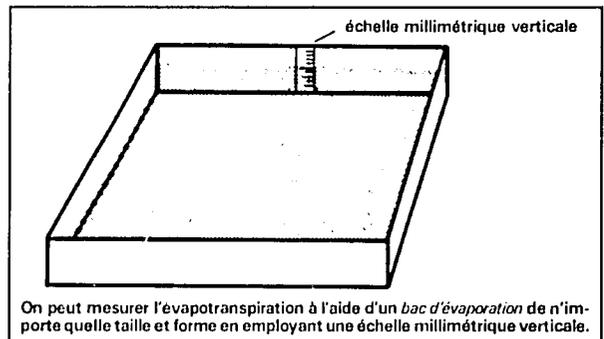
L'eau circule du sol vers l'atmosphère en passant par la plante. Il y a une étroite interaction entre ces trois systèmes : atmosphère - plante - sol.

Les conditions atmosphériques. A part le rôle des stomates, la quantité d'eau évaporée vers l'atmosphère par les plantes est fonction du *taux d'évapotranspiration potentielle ou maximum* (ETp ou Emax) d'une culture. Celle-ci peut être mesurée à l'aide d'un *bac d'évaporation* (bac ouvert contenant de l'eau et une échelle millimétrique verticale). On détermine l'*évapotranspiration réelle* (ETr) en tenant compte de la surface du sol couverte par les feuilles des plantes en croissance. On obtient ETr en multipliant ETp par un facteur f correspondant à la couverture du sol.

$$ETr = ETp \times f$$

Tableau 2.1. Relation entre la couverture du sol par la végétation et le facteur f pour calculer ETr à partir de ETp.

couverture en %	facteur f
100	1,00
75	0,90
50	0,70
25	0,45



Les conditions liées aux plantes. La relation entre ETp et ETr révèle qu'une culture de pommes de terre bien avancée transpire plus qu'une culture peu avancée. La transpiration dépend aussi du degré d'ouverture des stomates.

Les stomates des feuilles se ferment la nuit et s'ouvrent le matin grâce à la lumière du soleil. Ils réagissent au manque d'eau en se fermant rapidement, ce qui empêche la dessiccation. Cela réduit la transpiration et par conséquent la photosynthèse et le rendement. Dans la pratique, l'ouverture des stomates est influencée d'abord par l'approvisionnement en eau.

Les conditions liées au sol. La plante de pommes de terre extrait l'eau du sol uniquement lorsque la force de succion de ses racines est plus grande que la force qui retient l'eau dans le sol. Cette force de succion dépend de la teneur en eau dans le sol et de la texture du sol; on la désigne par pF.

Les valeurs limites de la teneur en eau dans le sol sont : la *saturation*, la *capacité au champ* (ou *capacité de rétention*) (tR) et le *point de flétrissement permanent* (tFp).

La teneur en eau pour toutes ces valeurs limites est plus basse dans les sols grossiers que dans les sols fins (Tableau 2.2).

De ces valeurs limites découlent d'autres caractéristiques importantes de l'humidité du sol :

la *porosité*, l'*eau utile* et le *point de sécheresse*.

La *porosité* est la différence entre la teneur en eau à l'état de saturation et à la capacité au champ. La porosité doit être supérieure à 15% pour apporter suffisamment d'oxygène à la zone racinaire.

Tableau 2.2 Caractéristiques d'humidité de sols typiques. (teneur en eau exprimée en %).

taux d'humidité	valeur du pF	teneur en eau		
		sols sableux	sols limoneux	sols argileux
saturation	0	40	50	60
capacité au champ (tR)	2	10	35	50
point de flétrissement permanent (tFp)	4,2	2	10	35
porosité		30	15	10
eau utile		8	25	15

La quantité d'eau entre le point de flétrissement permanent et la capacité au champ est disponible pour la croissance de la plante (c'est l'eau utile). Cependant, la croissance d'une culture de pommes de terre commence à diminuer à partir du moment où une partie de cette eau est utilisée. La réduction de croissance commence au *point de sécheresse*. Le point de sécheresse dépend d'abord de ETr (tableau 2.3) mais aussi de l'eau utile des sols. Dans les sols où la quantité d'eau utilisable est peu importante, le point de sécheresse est atteint plus rapidement.

Il est évident qu'on arrive plus vite à un état de sécheresse lorsque la zone racinaire utile est petite, ETr élevée et le sol grossier.

Tableau 2.3 Relation entre ETr et point de sécheresse pour les pommes de terre dans un sol dont l'eau utilisable est de 20% et ne connaissant pas d'état de sécheresse (Rijtema et Aboukhaled, 1973).

ETr mm/jour	point de sécheresse (en % de l'eau utile disponible dans le sol)
1	61
2	47
3	37
4	30
5	25
6	22
9	16

3 GESTION DE L'EAU SANS IRRIGATION

Dans une culture de pommes de terre bien pourvue en eau de pluie, il peut ne pas être nécessaire d'irriguer. Dans une culture de pommes de terre en sols arides, l'irrigation peut être impossible et il se peut qu'il ne pleuve que rarement.

Culture de pommes de terre bien pourvue en eau de pluie. La quantité d'eau présente dans le sol au moment de la plantation ajoutée aux précipitations supplémentaires pendant la saison de croissance sont parfois suffisantes pour la culture de la pomme de terre. En cas de chutes de pluie excessives apportant plus d'eau que le sol n'est capable d'absorber, il est nécessaire d'installer un système de drainage. Par ailleurs des chutes de pluie excessives sur un terrain en pente risquent de provoquer l'érosion, entraînant la terre et provoquant une mise à découvert des tubercules. On peut remédier à ce danger en formant des sillons avec une pente minimum (cf chapitre 5).

Culture de pommes de terre en sols arides. La culture de la pomme de terre en sols arides se fait sur un sol qui a emmagasiné suffisamment d'eau pour pouvoir être cultivé pendant une saison de croissance sèche. Il est alors avantageux d'avoir une grande quantité d'eau utile. Ce genre de culture est favorisé par une zone racinaire utile profonde (jusqu'à 120 cm) recevant l'eau provenant des couches profondes du sol.

Quelques pratiques culturales en sols arides :

- Planter à une faible densité de tiges; l'eau du sol risque d'être insuffisante pour supporter autant de tiges que lors d'une plantation en conditions normales. Il faut employer soit des tubercules de petit calibre pour réduire la densité de tiges (cependant de petits tubercules peuvent ne pas fournir assez d'énergie pour une bonne levée dans ces conditions), soit des tubercules plus gros mais plus espacés.
- Planter profond : jusqu'à 25 cm.
- Réduire les opérations de travail du sol et les pratiques culturales pour diminuer l'évaporation du sol.
- Pratiquer le mulching (pailles ou feuilles).
- Enlever les fanes si les ressources en eau du sol ont été utilisées avant que le feuillage n'arrive à maturité naturellement, afin d'empêcher une perte d'eau pour les tubercules.

Dans les cultures en sols arides, les variétés tardives ont tendance à produire plus que les variétés hâtives. Celles-ci peuvent arriver à maturité trop rapidement.

La culture de la pomme de terre en sols arides ne peut se faire que dans des climats spécifiques (pas trop chaud et avec une humidité relative pas trop basse) et dans des sols caractéristiques (sols volcaniques profonds). Il vaut mieux faire pousser une culture sur un plus petit terrain et l'irriguer de manière adéquate que de cultiver des pommes de terre sur un grand terrain avec une irrigation insuffisante.

4 SYSTÈMES D'IRRIGATION

Lorsque les chutes de pluie sont insuffisantes, l'irrigation peut les remplacer. Il existe plusieurs systèmes d'irrigation. En voici trois : l'irrigation par aspersion, l'irrigation par goutte à goutte et l'irrigation par sillons (ou irrigation à la raie).

L'irrigation par aspersion consiste à distribuer l'eau sous forme de pluie sur la culture à l'aide d'un matériel assez onéreux. D'un point de vue technico-agronomique, c'est le meilleur système car :

- il peut être employé sur un terrain en pente, un terrain plat n'étant pas indispensable;
- il apporte l'eau à un débit uniforme et ajustable;
- il signifie une économie d'eau, car il en utilise la quantité nécessaire selon les ressources existantes;
- il minimise l'érosion sur les sols sableux dans les cas où il peut être dangereux d'employer l'irrigation par sillons.

Pour éviter d'endommager la structure du sol et de diminuer l'apport en oxygène aux sols, la durée d'aspersion sera limitée à un maximum de 10 mm/h en cas de couverture complète par une culture. Dans le cas où le sol n'est pas complètement couvert, la durée d'aspersion sera réduite à un maximum de 6 mm/h.

L'irrigation par goutte à goutte consiste en un système de tuyaux et de tubes distribuant l'eau dans le sol directement sur le système racinaire de chaque plante. Il s'agit d'une méthode précise permettant une économie substantielle en eau, réduisant l'érosion et évitant les pertes par évaporation. Cependant, elle peut signifier des dépenses importantes et être à l'origine d'une salinité du sol.

L'irrigation par sillons est le système le plus employé pour la culture de la pomme de terre. L'eau est distribuée dans les sillons de la culture à partir d'un canal principal, au moyen de siphons ou de canaux de distribution auxiliaires. Il est nécessaire de prévoir des canaux de drainage aux extrémités des sillons pour éliminer l'excès d'eau hors du champ. Cela favorise aussi un débit constant de l'eau tout au long des sillons et on évite ainsi une inondation au bout du champ (cf chapitre 5).

5 L'IRRIGATION PAR SILLONS

Les facteurs les plus importants dont il faut tenir compte dans l'irrigation par sillons sont : l'écartement des sillons, la longueur et la pente ainsi que l'uniformité des buttes.

L'écartement des sillons. Pour la culture de la pomme de terre, l'écartement entre les sillons d'irrigation varie entre 60 et 90 cm en fonction de la texture du sol. Dans les sols sableux, l'eau s'écoule rapidement et ne pénètre pas loin, et donc la distance entre les lignes doit être plus petite que dans les sols argileux. Dans les sols sableux grossiers, la distance entre les sillons doit se situer de préférence aux alentours de 60 à 65 cm et dans les sols argileux, plus lourds, aux alentours de 70 à 80 cm.

La longueur des sillons. La longueur des sillons dépend de l'uniformité du débit de l'eau et de la pente. La longueur maximale des sillons (tableau 5.1) dépend de leur pente, du type de sol et de la hauteur de l'eau recommandée dans le sillon. Pour éviter un excès d'humidité dans la région des tubercules, la dose appliquée ne doit pas dépasser la moitié de la hauteur de la butte. Dans la plupart des cas, on recommande une dose d'application de 7,5 cm maximum. Si on applique moins d'eau, il faut raccourcir la longueur maximale du sillon.

Dans certains cas, notamment dans les champs de pente inégale, des sillons d'irrigation courts (maximum 10 m) peuvent être nécessaires. Il faut fermer les sillons à leur extrémité. Il faut arrêter l'approvisionnement en eau lorsque le sillon est rempli jusqu'à la moitié de la hauteur de la butte. Cette méthode permet d'irriguer d'une manière assez homogène, mais demande plus d'espace à cause des canaux d'approvisionnement auxiliaires.

La pente des sillons. Lorsque la pente des sillons dépasse 2‰ (2 m de pente pour 100 m de longueur de la ligne), il peut en résulter une grave érosion. Dans les zones bien pourvues en eau de pluie, les pentes dépassant 0,3‰ peuvent provoquer des dégâts par érosion suite aux pluies intenses. Il faut changer la direction des sillons dans le cas où les pentes dépassent les maxima indiqués (Tableau 5.1). Dans le cas d'une topographie irrégulière, les sillons doivent suivre les courbes de niveau afin d'éviter l'érosion et les pertes d'eau. L'irrigation suivant les courbes de niveau n'est possible que dans le cas où la pente du champ n'excède pas 8 à 10‰

L'uniformité des buttes. L'uniformité des buttes permet une meilleure distribution de l'eau aux plantes de pommes de terre.

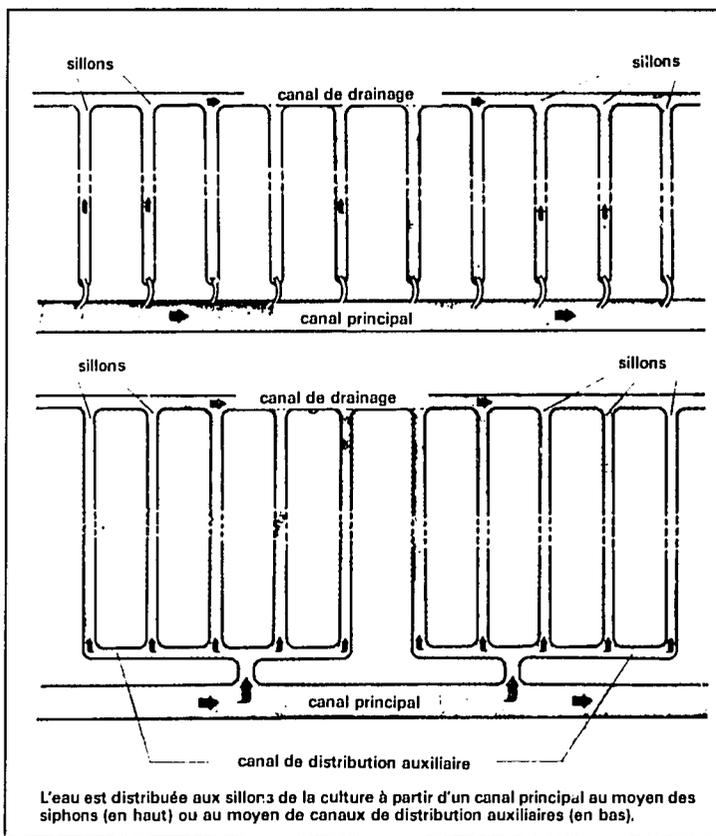


Tableau 5.1. Longueur maximale des sillons d'irrigation en fonction du type de sol et de la pente des sillons (Booher, 1974).

pente (en ‰)	longueur maximale des sillons (en mètres)		
	en sols sableux	en sols limoneux	en sols argileux
0,05	90	200	300
0,10	120	260	340
0,20	190	300	370
0,50	190	325	400
1,00	150	275	280
2,00	90	210	220

6 APPORT DE L'EAU

Il faut adapter l'approvisionnement en eau pour éviter les déficits, les excédents et les variations importantes de l'humidité du sol. L'adaptation se fait par la dose d'eau distribuée à chaque irrigation et par la périodicité de l'irrigation (chapitre 8).

La régulation de l'apport d'eau peut être obtenue par l'utilisation de siphons ou de canaux auxiliaires de distribution. Pendant l'irrigation, le nombre de siphons par sillon peut être réduit dès que l'eau atteint l'extrémité des sillons; on peut aussi utiliser un canal auxiliaire de distribution pour quelques sillons seulement et ensuite le dériver aux autres. De cette manière des deux bouts des sillons reçoivent le même temps d'écoulement.

Dose d'irrigation. Il n'est pas difficile d'évaluer la quantité d'eau s'écoulant dans un champ pendant l'irrigation. Lors de l'emploi de siphons, enregistrez le temps nécessaire pour qu'un siphon remplisse un fût de 10 litres. Ensuite calculez la quantité d'eau à partir du nombre de siphons et du temps d'irrigation.

Lors de l'emploi de canaux auxiliaires de distribution, calculez la dose d'irrigation à partir du profil du sillon (jusqu'au niveau de l'eau), la vitesse du débit de l'eau et le temps d'irrigation.

Quantité d'eau (m³) =

profil x vitesse x temps
(m²) de l'eau d'irrigation
(m/min) (min)

On peut employer deux méthodes pour déterminer le moment et la dose d'irrigation :

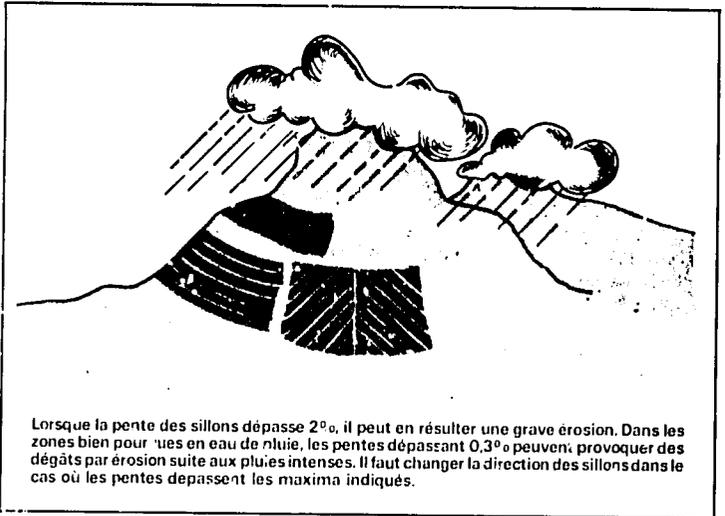
- un simple guide des sols,
- la méthode du tensiomètre.

Le guide des sols. La consistance d'une poignée de terre indique grossièrement si le point de sécheresse est atteint et si l'irrigation est nécessaire. Prenez une poignée de terre, pressez-la fortement et comparez la consistance de la motte de terre avec le tableau 6.1.

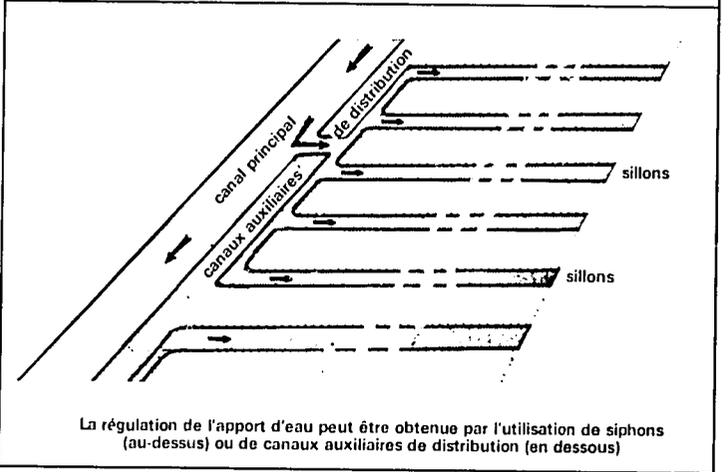
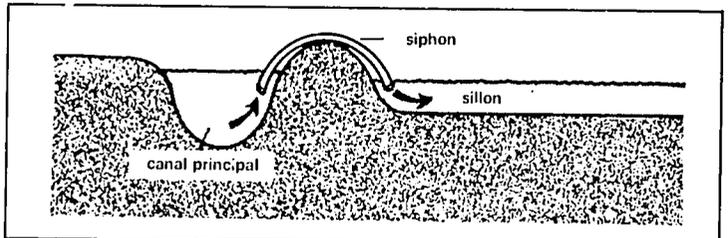
La méthode du tensiomètre. Le tensiomètre se compose d'un capuchon poreux rempli d'eau et relié à un manomètre, de préférence une jauge à vide. Le sol exerce une force de succion de l'eau située dans le capuchon, en fonction du taux d'humidité du sol. Le manomètre indique la succion en centibars (cb); cfr les instructions du fabricant). Le tensiomètre est utilisable entre un pF = 0 et un pF = 2,9. C'est l'indicateur d'irrigation le plus commun et le moins compliqué. Il faut irriguer une culture de pommes de terre avant que le tensiomètre ne dépasse 40 cb (pF = 2,6).

La périodicité de l'irrigation. La périodicité de l'irrigation dépend de l'état d'avancement de la culture, de la teneur du sol en eau et du taux d'évapotranspiration (ETp).

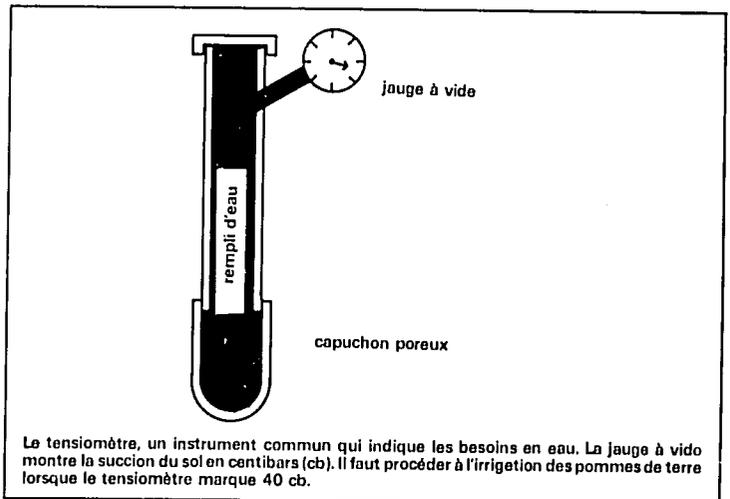
Avant la plantation, le sol doit être humide mais pas mouillé. Lorsque la structure du sol le permet, il faut irriguer le champ avant le labour. Cela assure une humidité du sol uniforme. Les sillons déjà préparés peuvent aussi être irrigués avant la plantation.



Lorsque la pente des sillons dépasse 2°, il peut en résulter une grave érosion. Dans les zones bien pourvues en eau de pluie, les pentes dépassant 0,3° peuvent provoquer des dégâts par érosion suite aux pluies intenses. Il faut changer la direction des sillons dans le cas où les pentes dépassent les maxima indiqués.



La régulation de l'apport d'eau peut être obtenue par l'utilisation de siphons (au-dessus) ou de canaux auxiliaires de distribution (en dessous)



Le tensiomètre, un instrument commun qui indique les besoins en eau. La jauge à vide montre la succion du sol en centibars (cb). Il faut procéder à l'irrigation des pommes de terre lorsque le tensiomètre marque 40 cb.

Tableau 6.1 Consistance d'une boule de terre formée dans la main et dose d'irrigation nécessaire (en mm pour 10 cm de profondeur de la zone racinaire efficace) au point de sécheresse pour ramener le sol à sa capacité au champ. (Israelsen et Hansen, 1962).

texture	grossière (sable)	modérément grossière	moyenne	fine (argile)
consistance au point de sécheresse	la terre ne forme pas de motte, elle paraît sèche	la terre tend à former des mottes mais elle garde rarement sa cohésion	la terre forme une motte plastique parfois lisse	la terre forme une motte malléable entre le pouce et l'index
dose d'eau nécessaire pour 10 cm de profondeur du sol (en mm)	1,5 - 4,0	3,0 - 6,5	4,0 - 8,0	5,0 - 10,0

Au cours de la germination, la quantité d'eau nécessaire est faible. Le tubercule doit être entouré de sol humide mais pas mouillé. Le tubercule en germination est très sensible aux conditions d'humidité. Dans le cas où le champ a été irrigué avant le labour, il est souvent nécessaire de refaire une légère irrigation peu après la plantation. Lorsque les sillons déjà préparés ont été irrigués peu avant la plantation, il n'est pas nécessaire de refaire une irrigation supplémentaire pendant la germination.

Entre l'émergence et la tubérisation, le système racinaire se développe. Il faut assurer un enracinement profond en limitant l'approvisionnement en eau. La croissance de racines peu profondes, qui est favorisée par un approvisionnement illimité en eau, peut présenter des désavantages lors des stades suivants de la culture.

Pendant la tubérisation, une humidité du sol accrue renforce la formation des tubercules et réduit l'incidence de la gale commune de la pomme de terre (*Streptomyces scabies*).

Pendant la phase de développement des tubercules jusqu'à la maturité de la culture, l'eau doit être facilement disponible. Un déficit en eau réduit la croissance de la plante et la production de tubercules. Un approvisionnement en eau irrégulier provoque des malformations de tubercules. En fin de croissance, toute sécheresse peut provoquer un détournement de l'eau des tubercules vers le feuillage. Les tubercules perdent du poids et deviennent flasques.

Entre la maturité de la culture et la récolte, le besoin en eau est faible. Cependant le sol doit rester humide pour éviter les crevasses et la formation de mottes. Les crevasses favorisent la pénétration des teignes et autres insectes nuisibles. Les mottes provoquent des dégâts sur les tubercules à la récolte.

La périodicité de l'irrigation peut être calculée d'après certaines données connues (cf exemple du chapitre 8).

7 QUALITÉ DE L'EAU D'IRRIGATION

La pomme de terre est relativement sensible à la présence de sels dans les sols ou dans l'eau d'irrigation. Ceci est particulièrement vrai pour les sols lourds. Les sols sableux sont plus facilement rincés et débarrassés de leurs sels.

L'irrigation par aspersion avec de l'eau contenant des sels peut brûler les feuilles. Parmi les anions Cl^- , SO_4^{2-} et CO_3^{2-} , le plus phytotoxique est Cl^- . Le cation Na^+ provoque des dommages à la structure du sol. La présence de 4 g de NaCl par litre d'eau peut engendrer une réduction de la production allant jusqu'à 50%.

Lorsque la teneur en sels du sol ou de l'eau est élevée, le point de sécheresse est atteint plus rapidement. On ne peut pas laisser un tel sol s'assécher comme un sol normal. On peut prévenir ou réduire la salinité d'un sol en le lessivant, avant de planter des pommes de terre, avec une eau d'irrigation ne contenant pas de sels.

8 COMMENT CALCULER LES BESOINS EN EAU D'IRRIGATION (EXEMPLE)

Un agriculteur peut planifier son irrigation en se basant sur le guide des sols expliqué dans le chapitre 6. Cependant, pour une irrigation à plus grande échelle, il est utile d'analyser les caractéristiques du sol et du milieu et de calculer les besoins en eau, lorsque les ressources sont rares.

Hypothèses (exemple; tous les chiffres de la teneur en eau sont exprimés en % du volume du sol) :

Teneur en eau à la saturation	50	%
Teneur en eau à la capacité au champ (tR)	35	%
Teneur en eau au point de flétrissement permanent (tFp)	10	%
Profondeur de la zone racinaire efficace	60	cm
Couverture par le feuillage	70-80	%
ETp	4	mm/jour
Pente du champ	1	%
Texture du sol : moyenne à fine (sol limoneux; comparez avec le tableau 2.2)		

- Questions :
- Décrivez la consistance du sol au moment où il est nécessaire d'irriguer, en fonction du guide des sols (Tableau 6.1).
 - Quand faut-il irriguer (période critique et teneur en eau en %) ?
 - Quelle doit être la dose d'irrigation ?
 - Quelle doit être la périodicité d'irrigation au stade de croissance donné ?
 - Quelle est la longueur de sillon maximum ?
 - Quelle est l'importance de la porosité du sol et de la quantité d'air contenue dans le sol au point de sécheresse ?

Réponses :

- Consistance du sol.** Selon le tableau 6.1, l'irrigation devient nécessaire lorsque la boule de terre formée dans la main devient plastique.

- Quand faut-il irriguer ?** L'irrigation devient nécessaire lorsque la teneur en eau atteint le point de sécheresse. D'après le tableau 2.3, si ETp est de 4 mm/jour, le point de sécheresse est atteint lorsque la quantité d'eau disponible dans le sol (l'eau utile) diminue de 30 %.

L'eau utile correspond à la différence entre tR et tFp :

$$\text{eau utile} = 35 - 10 = 25 \%$$

$$30\% \text{ de l'eau utile} = 7,5 \%$$

En fonction des hypothèses émises plus haut, la teneur en eau à tR s'élève à 35%; la teneur en eau au point de sécheresse est :

$$35 - 7,5 = 27,5 \%$$

- Dose d'irrigation.** D'après b), il faut irriguer lorsque 30% de l'eau disponible, c'est-à-dire 7,5% de la teneur totale a été utilisée. Pour revenir aux conditions de capacité au champ, il faut appliquer 7,5% d'eau. Pour une zone racinaire efficace de 60 cm, cela correspond à :

$$60 \text{ cm} \times 7,5\% = 4,5 \text{ cm} = 45 \text{ mm d'eau}$$

- Périodicité de l'irrigation.** D'après le tableau 2.1, pour une couverture végétale de 75%, le facteur pour calculer ETr est de 0,9.

$$ETr = ETp \times f$$

$$= 4 \text{ mm/jour} \times 0,9 = 3,6 \text{ mm/jour}$$

D'après c), il faut 45 mm d'eau pour revenir à la capacité au champ. Cela donne une périodicité d'irrigation de :

$$\frac{45 \text{ mm}}{3,6 \text{ mm/jour}} = 12 \text{ jours}$$

- Longueur des sillons.** D'après le tableau 5.1, la longueur maximale d'un sillon dans un sol à texture moyenne (sol limoneux) pour une pente de 1% ne doit pas dépasser 275 m.

- Porosité et quantité d'air contenue dans le sol.** La porosité du sol correspond à la différence entre la teneur en eau à saturation et à tR :

$$50 - 35 = 15 \%$$

D'après b), la teneur en eau au point de sécheresse est de 27,5%. Ainsi la quantité d'air contenue dans le sol au point de sécheresse est :

$$50 - 27,5 = 22,5 \%$$

Une porosité de 15% est la limite pour une bonne croissance de la plante. Ainsi, pour éviter un manque d'oxygène dans la zone racinaire, on ne doit pas maintenir le sol à sa capacité au champ pendant une période prolongée.

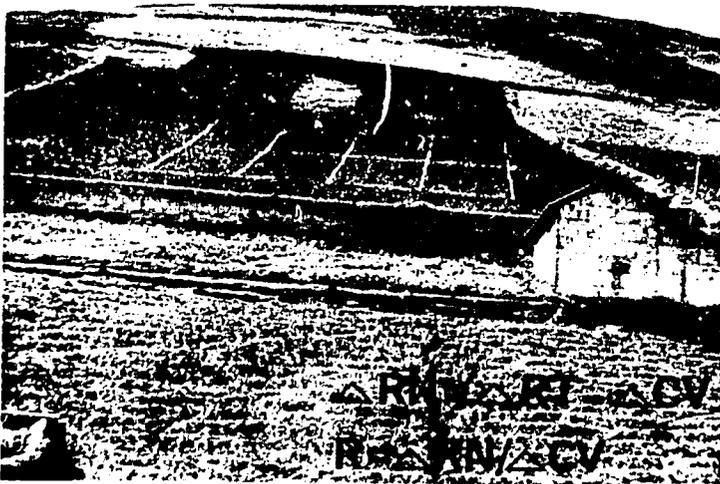
9 BIBLIOGRAPHIE

- Booher, L.J. 1974. Surface irrigation. FAO Agricultural Development Paper N° 95. FAO, Rome. 160 pp.
- Cortbaoui, R. 1987. La plantation de la pomme de terre. Bulletin d'Information Technique 11. Centre International de la Pomme de terre, Lima, Pérou.
- Israelsen, O.W. and Hansen, V.E. 1962. Irrigation principles and practises. 3rd. edition. John Wiley, New York & London. 447 pp.
- Kramer, P.J. 1949. Plant and soil water relationships. McGraw Hill, New York, Toronto, London. 347 pp.
- Rijtema, P.E. and Aboukhaled, A. 1973. Crop water use in the Arab Republic of Egypt; FAO report, RNEA, Cairo. 56 pp.

NOTES

L'ANALYSE DU BUDGET PARTIEL POUR L'APPLICATION DE LA RECHERCHE SUR LA POMME DE TERRE CHEZ L'AGRICULTEUR

Douglas Horton



Recherche sur la pomme de terre chez un agriculteur

L'ANALYSE DU BUDGET PARTIEL POUR L'APPLICATION DE LA RECHERCHE SUR LA POMME DE TERRE CHEZ L'AGRICULTEUR

Objectifs : L'étude de ce bulletin devrait vous permettre :

- de discuter la mise en pratique de l'analyse du budget partiel,
- d'identifier les types de données nécessaires,
- d'expliquer l'approche du budget partiel,
- de mener à bien une analyse de budget partiel et d'en tirer les conclusions.

Matériel didactique :

- Des exemples de facteurs limitants en production locale de pommes de terre.
- Des suggestions de technologies alternatives comme solutions à ces facteurs limitants.
- Des prix locaux pour calculer les coûts des technologies alternatives.

Travaux pratiques :

- Calculer les coûts de quelques technologies alternatives simples qui peuvent être avantageuses dans votre région.

QUESTIONNAIRE

- 1 Quel est l'objectif de l'établissement du budget chez l'agriculteur ?
- 2 Exceptés les coûts et les revenus, quels sont les autres facteurs qui interviennent dans la prise de décision de l'agriculteur ?
- 3 Pourquoi l'approche par le budget partiel est-elle qualifiée de *partielle* ?
- 4 A côté de l'analyse du budget partiel, quels sont les éléments supplémentaires qu'il faut prendre en considération afin d'établir des recommandations pour les agriculteurs ?
- 5 Que sont les *coûts variables* ?
- 6 Définissez la *variation du revenu net* (ΔRN).
- 7 Définissez et expliquez le *taux marginal de rémunération* (R).
- 8 Citez trois critères importants intervenant dans l'analyse du budget partiel.
- 9 Comment faut-il exprimer les données de coûts et de revenus dans l'analyse du budget partiel ?
- 10 Comment le taux d'intérêt sur le capital doit-il être déterminé ?

L'ANALYSE DU BUDGET PARTIEL POUR L'APPLICATION DE LA RECHERCHE SUR LA POMME DE TERRE CHEZ L'AGRICULTEUR

- 1 Mise en pratique de l'analyse du budget partiel (ABP)
- 2 Un exemple : la technologie des plants de pommes de terre
- 3 Approche du budget partiel
- 4 Données nécessaires pour l'analyse du budget partiel
- 5 Exemples de calculs
- 6 Bibliographie

Le développement agricole nécessite l'amélioration continue des techniques de production des cultures au niveau de la ferme. La recherche agronomique et sa vulgarisation favorisent ce développement et permettent le transfert de nouvelles techniques appropriées aux agriculteurs. Certaines techniques nouvelles développées dans des stations d'essais ne sont pas adoptées par les agriculteurs car elles ne présentent pas suffisamment d'avantages économiques par rapport aux méthodes de production courantes.

L'analyse du budget partiel (ABP) fournit des informations utiles pour la prise de décision dans le processus recherche-vulgarisation-adoption. Cependant, les décisions doivent se baser sur une bonne connaissance des technologies pour la culture de la pomme de terre et des systèmes d'exploitation locaux.

1 MISE EN PRATIQUE DE L'ANALYSE DU BUDGET PARTIEL (ABP)

Lorsqu'un agriculteur décide de changer son système de production (en achetant des plants améliorés, en cultivant une nouvelle variété ou en utilisant plus ou moins d'engrais), il prend généralement en considération les aspects financiers mis en jeu et fait une opération dite de *prévision budgétaire*. Cette opération de prévision budgétaire peut se faire mentalement ou, dans les cas de décisions plus complexes, l'agriculteur peut inscrire des données sur papier en suivant une procédure de prévision budgétaire plus formelle. Dans chacun des cas, l'agriculteur essaie de déterminer le résultat de ses décisions sur :

- l'emploi et les coûts des apports, d'une part et
- les revenus, d'autre part.

Il va aussi considérer des facteurs tels que la main-d'œuvre saisonnière disponible, l'argent liquide et les risques de bouleverser ses pratiques de production ayant fait leurs preuves.

L'analyse du budget partiel peut être utilisée pour comparer le résultat d'un changement technologique sur les coûts et revenus. Cette approche budgétaire est qualifiée de partielle parce qu'elle n'inclut pas tous les coûts de production mais uniquement ceux qui, dans les méthodes proposées, varient par rapport aux méthodes de production en cours chez cet agriculteur. L'ABP nous permet d'estimer le résultat sur le revenu net d'un agriculteur de tout changement survenant dans son système de production sans en connaître tous les coûts de production.

L'analyse du budget partiel est utile à chaque étape du processus recherche-vulgarisation-adoption. Premièrement, elle peut aider les chercheurs à concentrer leur attention sur les aspects problématiques des technologies qu'ils sont en train de développer afin de réduire les frais et augmenter les revenus. Ensuite elle peut aider les vulgarisateurs de ces technologies à développer des recommandations judicieuses avec de grandes possibilités d'adoption. Enfin elle peut aider les agriculteurs à mieux prendre leurs décisions.

L'exemple suivant basé sur des résultats réels d'essais menés chez un agriculteur illustre la mise en pratique de l'ABP.

Mise en garde. Il peut être risqué de recommander à des agriculteurs une technologie nouvelle seulement sur la base de la réussite d'un ou de quelques essais chez certains d'entre eux. Les essais chez des agriculteurs doivent se prolonger, dans la mesure du possible, sur plusieurs années tout en évaluant attentivement l'accueil favorable ou défavorable de la technologie par l'agriculteur.

Même lorsqu'une technologie semble devoir porter des fruits sur une plus large échelle, elle peut quand même ne pas être adoptée par les agriculteurs. Parce que l'approvisionnement d'un élément recommandé n'est pas sûr par exemple, ou parce que les crédits ne sont pas disponibles au bon moment. De tels facteurs doivent être pris en considération lors de la planification de la recherche chez des agriculteurs et lors de l'interprétation des résultats de l'analyse du budget partiel. Une règle de base mais souvent oubliée est de ne recommander aux agriculteurs que des éléments directement disponibles.

2 UN EXEMPLE : LA TECHNOLOGIE DES PLANTS DE POMME DE TERRE

Un agriculteur doit décider s'il va utiliser ses propres plants ou s'il va acheter des *plants améliorés*. Ces derniers, qui lui sont recommandés sont plus chers et d'un calibre moyen supérieur à ses plants. Donc s'il emploie des plants améliorés, il augmente à la fois le prix et la quantité des plants.

L'agriculteur veut une culture de pommes de terre de haut rendement, mais son souci principal reste son revenu. Ainsi, au moment de décider s'il va ou non acheter des plants recommandés, il cherche à savoir :

- si la technologie des plants qu'on lui recommande va augmenter son revenu net,
- et si oui, de combien.

Nous avons mis au point un essai chez un agriculteur pour tester des plants recommandés par rapport à ceux de l'agriculteur. Les quantités et les prix de cet exemple sont ceux de cet essai effectué au champ. Les quantités et les prix des plants ainsi que des pommes de terre récoltées sont donnés dans le tableau 1. Pour plus de facilités, nous avons choisi une unité monétaire (UM) théorique.

Quantité de plants à employer. La quantité de plants de l'agriculteur s'élevait à 1500 kg/ha alors que celle de plants recommandés était de 2000 kg/ha. (La standardisation des quantités de plants à employer à 2000 kg - c'est-à-dire à celle des plants recommandés - aurait modifié la technologie de l'agriculteur). Ainsi l'essai s'attache à une évaluation d'un simple ensemble de technologies portant sur la qualité et la quantité de plants à employer.

Prix des plants. Les plants de l'agriculteur ne représentent pas de frais direct en argent, mais ils ont une valeur car il aurait pu les avoir consommés ou vendus. Dans ce dernier cas il estime qu'il aurait pu vendre ses pommes de terre à 0,10 UM/kg. Donc les plants améliorés à 0,15 UM/kg sont beaucoup plus chers.

Coût des plants. Il s'obtient en multipliant la quantité de plants à employer par le prix des plants. Vu que la quantité et le prix des plants à employer sont plus élevés dans la technologie employant les plants recommandés, le coût des plants est doublé (300 UM/kg) par rapport à la technologie employant les plants de l'agriculteur.

Coût du capital. Si l'agriculteur achète des plants, il a besoin d'argent (capital), et s'il emploie ses propres plants, il renonce à un revenu en ne les vendant pas. Le capital a donc un coût qui dépend de deux facteurs :

- le taux d'intérêt annuel et
- la période pendant laquelle le capital est utilisé.

Ceci est valable si la source du capital est un prêt et même si l'argent provient des propres ressources de l'agriculteur. Dans cet exemple, le taux d'intérêt est évalué à 30% par an et le capital est utilisé sur une période de culture de 4 mois (1/3 de l'année). Ainsi pour la période de culture, le coût du capital représente 10% de l'investissement (1/3 de 30%).

Rendement. Les plants de l'agriculteur produisent 10 tonnes de pommes de terre à l'hectare, alors que les plants améliorés en produisent 20.

Tableau 1. Quantités et prix des plants et des pommes de terre récoltées dans notre exemple.

	technologie employant les plants :	
	de l'agriculteur (a)	recommandés (b)
APPORTS		
1 quantité de plants à employer (kg/ha)	1500	2000
2 prix des plants (UM/kg)	0,10	0,15
3 coût des plants (UM/ha) = quantité de plants à employer x prix des plants (= 1 x 2)	150	300
4 taux d'intérêt pour une période de culture de 4 mois (%)	10	10 *
5 coût du capital (UM/ha) = coût des plants x taux d'intérêt (= 3 x 4)	15	30
6 coûts variables (UM/ha) = coût des plants + coût du capital (= 3 + 5)	165	330
REVENUS		
7 rendement (t/ha)	10	20
8 prix à la récolte	100	100
9 revenu total (UM/ha) = rendement x prix à la récolte (= 7 x 8)	1000	2000

* Taux d'intérêt annuel = 30%

Coûts variables. L'ABP ne considère que les coûts qui varient entre les différentes pratiques. Dans notre exemple, ils ne comprennent que le coût des plants et le coût du capital. Ainsi pour la technologie employant les plants de l'agriculteur, les coûts variables s'élèvent à 165 UM/ha et à 330 UM/ha pour la technologie employant les plants recommandés.

Prix des pommes de terre récoltées. La qualité des tubercules récoltés provenant des deux technologies est similaire. L'agriculteur peut avoir vendu la moitié de la culture pour un prix de 100 UM/t et gardé l'autre moitié pour sa consommation personnelle. De toute façon, nous supposons que la partie qu'il a gardée valait aussi 100 UM/t.

Revenu total. Le succès agronomique de la technologie employant les plants améliorés est évident (le rendement et les revenus ont doublé), mais nous ne savons pas encore laquelle des deux sortes de plants a produit le revenu net le plus élevé étant donné que la technologie employant les plants améliorés était nettement plus chère (avec un prix et une quantité de plants à employer plus élevés).

Ainsi les deux questions précédentes restent posées :

- Est-ce que l'application de la technologie employant les plants recommandés a augmenté le revenu net de l'agriculteur ?
- Si oui, dans quelles proportions ?

Dans notre exemple, les coûts de l'agriculteur (coûts variables) s'élèvent à 165 UM et ses revenus (revenus totaux) à 1000 (tableau 1). Cela donne une augmentation de 835 UM pour le revenu net. Cela signifie que chaque UM additionnelle dépensée pour la technologie des plants améliorés engendre un revenu supplémentaire de 5,1 UM (835 UM divisé par 165 UM = 5,1). Ces résultats devraient motiver l'agriculteur à acheter des plants améliorés.

Avant de procéder à l'analyse détaillée de ces résultats, nous expliquerons plus longuement l'approche du budget partiel et les données qui lui sont nécessaires.

3 APPROCHE DU BUDGET PARTIEL

Ce chapitre souligne la logique formelle de l'ABP en utilisant des symboles et des formules. Certains lecteurs trouveront que la manière d'aborder le sujet est trop technique, mais il est nécessaire de cerner convenablement tous les aspects du problème pour une utilisation correcte de la méthode.

Voici les abréviations des termes utilisés :

RN	=	revenu net
RT	=	revenu total
CT	=	coûts totaux
CF	=	coûts fixes
CV	=	coûts variables
Δ	=	variation de l'une des données ci-dessus, par exemple :
Δ RN	=	variation du revenu net
R	=	taux marginal de rémunération

Pour simplifier les choses, nous allons supposer que l'objectif principal d'un agriculteur est d'optimiser le revenu net de sa culture.

Le revenu net (RN) peut être défini comme la différence entre la valeur du revenu total (RT) provenant de la vente des pommes de terre et les coûts totaux (CT) de la production de pommes de terre.

$$RN = RT - CT \quad (3.1)$$

Le revenu total (RT) correspond à la valeur de toutes les pommes de terre récoltées.

Les coûts totaux (CT) comprennent les coûts de tous les apports tels que les plants, les engrais, les pesticides, le travail et le capital.

Pour les besoins de l'ABP, les coûts totaux peuvent être séparés en deux groupes : les coûts fixes (CF) et les coûts variables (CV).

$$CT = CF + CV \quad (3.2)$$

Les coûts fixes (CF). Lorsque l'on compare une nouvelle technologie à la technologie actuelle de l'agriculteur, les coûts fixes (CF) sont ceux qui ne varient pas entre les deux technologies. Par exemple, dans une expérience qui compare les différentes qualités de plants comme dans l'exemple, les coûts occasionnés par les engrais, le travail du sol et le désherbage restent les mêmes.

Les coûts variables (CV), par contre, sont ceux qui varient entre les deux technologies à l'étude. Dans notre exemple, les coûts variables sont ceux qui sont associés aux technologies employant des types de plants différents (coût des plants et coût du capital).

En combinant les formules 3.1 et 3.2 nous obtenons :

$$RN = RT - (CF + CV) \quad (3.3)$$

La variation du revenu net (Δ RN). Pour prendre la décision finale d'adopter ou non une nouvelle technologie, l'agriculteur veut savoir si son revenu net augmentera. L'importance de la variation du revenu net (Δ RN) est déterminée par la différence entre la variation des revenus totaux (Δ RT) et la variation des coûts fixes (Δ CF) et des coûts variables (Δ CV) en fonction de la formule (3.3) :

$$\Delta RN = \Delta RT - (\Delta CF + \Delta CV) \quad (3.4)$$

Par définition, les coûts fixes sont les mêmes pour les deux technologies :

$$\Delta CF = 0$$

Ainsi on peut simplifier la formule 3.4 :

$$\Delta RN = \Delta RT - \Delta CV \quad (3.5)$$

En appliquant une nouvelle technologie, l'agriculteur s'attend à une augmentation de son revenu net.

Le taux marginal de rémunération (R). En plus de la variation du revenu net, on utilise un autre critère pour évaluer les avantages économiques de l'adoption d'une nouvelle technologie : c'est le taux marginal de rémunération (R). Il mesure l'augmentation de revenu net (Δ RN) produite par chaque unité supplémentaire de dépense (Δ CV).

$$R = \Delta RN / \Delta CV \quad (3.6)$$

En d'autres mots, R mesure le revenu net engendré par le capital supplémentaire investi dans la nouvelle technologie en comparaison avec la technologie actuelle de l'agriculteur. Si la nouvelle technologie est moins chère que celle de l'agriculteur, il n'est pas nécessaire de calculer le taux marginal de rémunération (R). Si la technologie alternative est plus chère, le taux marginal de rémunération (R) doit être :

- plus élevé que celui des autres possibilités d'investissement et
- suffisamment élevé pour compenser les risques associés à l'adoption de la nouvelle technologie.

En règle générale, nous ne poussons pas à l'adoption d'une nouvelle technologie sauf si elle a un taux marginal de rémunération (R) supérieur à 1. Cela signifie que dans notre recherche chez les agriculteurs, nous visons un taux marginal de rémunération d'au moins 100% au-dessus de la variation des coûts variables (Δ CV).

Les critères pour l'analyse du budget partiel. En résumé, pour une analyse du budget partiel, on retiendra trois critères :

- Si le revenu net reste égal ou diminue, la nouvelle technologie doit être rejetée car elle n'est pas plus rentable que la technologie actuelle de l'agriculteur.
- Si le revenu net augmente et que les coûts variables restent identiques ou diminuent, la nouvelle technologie devrait être acceptée parce qu'elle est nettement plus rentable que l'ancienne.
- Si les revenus et les coûts augmentent, il faut prendre en considération le taux marginal de rémunération (R). Plus la variation du revenu net est grande et donc le taux marginal de rémunération élevé, plus la technologie alternative sera intéressante sur le plan économique. La nouvelle technologie ne peut être acceptée que si le taux marginal de rémunération est supérieur à 1.

4 DONNÉES NÉCESSAIRES POUR L'ANALYSE DU BUDGET PARTIEL

Dans son principe, l'analyse du budget partiel semble simple mais il n'est pas toujours facile de rassembler les données nécessaires. L'utilisation de données incomplètes peut donner lieu à des conclusions erronées.

Pour l'ABP, il faut recueillir les données suivantes :

- les quantités d'apports variant entre les différentes technologies alternatives,
- les prix de ces apports variables,
- les rendements des deux technologies (celle de l'agriculteur et la nouvelle),
- le prix des pommes de terre récoltées.

Toutes les données doivent être exprimées en hectare. Les prix les plus utiles sont les prix relevés à la ferme, c'est-à-dire les prix que l'agriculteur paie pour ses apports (input) et qu'il reçoit pour sa récolte (output). Par conséquent, tous les prix des apports doivent inclure les frais de transport jusqu'à la ferme. Si les pommes de terre sont vendues hors de la ferme, les frais de transport jusqu'au marché doivent être soustraits du prix au marché pour obtenir ainsi le nouveau prix à la ferme.

Si une technologie alternative a une influence sur la qualité des pommes de terre récoltées (par exemple, un meilleur contrôle des nématodes peut améliorer la valeur marchande des tubercules), les prix au marché doivent varier selon les différentes qualités. Il en va de même quand différentes qualités d'apports sont utilisées (dans notre exemple, les plants recommandés coûtent plus chers que ceux de l'agriculteur). Les prix pour différentes qualités doivent correspondre aux valeurs marchandes réelles.

A côté des coûts variables d'apports tels que les pesticides, les engrais et le travail, l'ABP tient aussi compte du coût du capital utilisé. Le taux d'intérêt sur le capital doit être le taux d'intérêt que l'agriculteur paie réellement pour un prêt (y compris les frais d'utilisation et les coûts connexes) ou le taux du marché en vigueur (le coût d'opportunité pour l'emploi de son propre capital).

5 EXEMPLE DE CALCULS

Dans le tableau 1, la technologie recommandée (b) augmentait le rendement de 10 tonnes à l'hectare par rapport à la technologie de l'agriculteur (a). Avec un prix de 100 UM/t cela correspond à une augmentation du revenu total (ΔRT) de 1000 UM/ha.

Etant donné l'augmentation du prix des plants (par la quantité de plants à employer et le coût du capital associé), les coûts variables sont aussi augmentés de 165 UM. Pour décider si la nouvelle technologie augmente le revenu net on utilise les formules 3.5 et 3.6 du chapitre 3.

Le calcul du taux marginal de rémunération et des coûts variables est présenté dans le tableau 2. Reportez-vous aussi au tableau 1.

Résultat. Le résultat de l'analyse du budget partiel pour notre exemple est le suivant :

Variation du revenu total	(ΔRT)	(tableau 2)	1000	UM
Variation des coûts variables	(ΔCV)	(tableau 2)	150 + 15	165 UM
Variation du revenu net	(ΔRN)	(formule 4.5)	1000 - 165	835 UM
Taux marginal de rémunération	(R)	(formule 4.6)	835 / 165	5,1

Conclusions. La variation du revenu net s'élève à + 835 UM. Le taux marginal de rémunération s'élève à 5,1, ce qui signifie qu'il est de 510% supérieur aux coûts des investissements supplémentaires (ΔCV). C'est vraiment très important en comparaison avec les autres possibilités d'investissement de l'agriculteur. Ainsi, on peut considérer que l'emploi des plants améliorés a un avantage économique sur l'emploi des plants de l'agriculteur. A première vue, il semble que cette technologie alternative sera adoptée malgré ses coûts relativement élevés.

Tableau 2. Revenus et coûts variables de l'exemple

	technologie employant les plants de l'agriculteur (a)	technologie employant les plants recommandés (b)	différence (b -a)
Revenu total (RT) RT = rendement x prix à la récolte	RT = 10 t x 100 UM/t = 1000 UM	RT = 20 t x 100 UM/t = 2000 UM	+ 1000 UM
Coûts variables (CV) CP* = quantité de plants à employer x prix des plants	CP = 1500 kg x 0,10 UM/kg = 150 UM	CP = 2000 kg x 0,15 UM/kg = 300 UM	+ 150 UM
CC* = CP x taux d'intérêt	CC = 150 UM x 10% = 15 UM	CC = 300 UM x 10% = 30 UM	+ 15 UM
Total CV			+ 165 UM

*CP = coût des plants; CC = coût du capital

6 BIBLIOGRAPHIE

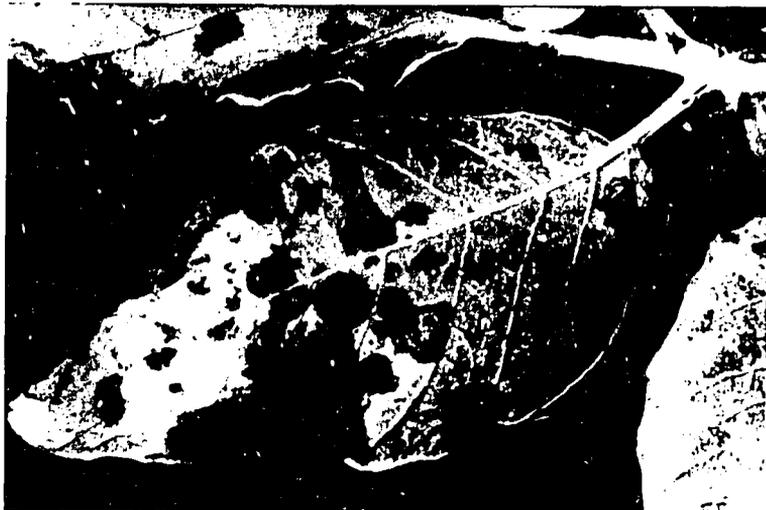
- Castle, E.N. and M.H. Beeker. 1972. *Farm business management : the decision making process*. Mac Millan and Co. , New York.
- Cortbaoui, R. and R.H. Booth. 1980. *On-farm evaluation of seed stores*. Social Science Department. Training Documents 7. International Potato center, Lima, Peru. 10 pp.
- International Potato Center. 1978. *Optimizing potato productivity in developing countries*. Planning Conference report. International Potato Center, Lima, Peru. 172 PP.
- Monares, A. 1980. *Análisis económico de la producción y uso de semilla de papa*. Documentos de Entrenamiento 4, Departamento de Ciencias Sociales. Centro Internacional de la Papa, Lima, Perú. 9 pp.
- Perrin, R.K. et al. 1976. *From agronomic data to farmer recommendations. An economics training manual*. Centro Internacional de Mejoramiento de Maiz y Trigo, México D.F., México. 51 pp.
- Stanton, B.F. 1973. *Farm budgeting for project analysis*. Economic Development Institute. International Bank for Reconstruction and Development, New

NOTES

L'ALTERNARIOSE DE LA POMME DE TERRE

Alternaria solani

Rainer Zachmann



Symptômes sur les feuilles

L'ALTERNARIOSE DE LA POMME DE TERRE

Alternaria solani

Objectifs : L'étude de ce bulletin devrait vous permettre :

- d'expliquer l'importance de l'alternariose,
- d'en décrire les symptômes,
- de décrire le développement de la maladie (son épidémiologie),
- d'expliquer la biologie du champignon,
- de discuter des méthodes d'observation de la propagation des spores,
- de parler des moyens de lutte,
- de montrer les méthodes d'évaluation de la maladie.

Matériel didactique :

- Des plantes et des tubercules infectés afin d'observer les symptômes.
- Des pièges à spores, des spores piégées, et un microscope pour montrer la méthode de piégeage.
- Des champs composés de différentes variétés pour évaluer la maladie.

Travaux pratiques :

- Observer et discuter les attaques par l'alternariose et les moyens de lutte possibles au champ.
- Mettre en place un piège à spores et observer les résultats le lendemain ou quelques jours plus tard (selon l'intensité de la propagation secondaire des spores).
- Pratiquer différentes méthodes d'évaluation de la maladie au champ.

QUESTIONNAIRE

- 1 Quelle est l'importance de l'alternariose dans votre pays ?
- 2 Sur quelles parties de la plante voit-on apparaître la maladie ?
- 3 Comment pouvez-vous distinguer les symptômes de l'alternariose de ceux du mildiou ?
- 4 Comment l'inoculum de *A. solani* survit-il ?
- 5 Quels sont les dégâts dus à l'infection primaire ?
- 6 Quelles sont les conditions climatiques favorisant l'incidence de l'alternariose ?
- 7 Quelle est l'importance de l'infection primaire au niveau de l'épidémiologie ?
- 8 Comment pouvez-vous observer à l'œil nu le début de la propagation secondaire des spores ?
- 9 Comment pouvez-vous réduire l'incidence de la maladie par des techniques culturales appropriées ?
- 10 Quelle est la relation entre la maturité d'une culture ou le type de maturité - précoce ou tardive - des variétés et l'incidence de la maladie ?
- 11 Pourquoi les résidus infectés doivent-ils être retirés du champ après la récolte ?
- 12 Quel est l'effet de la rotation des cultures en tant que méthode de lutte ?
- 13 Comment programmer les applications fongicides le mieux possible ?
- 14 Quelles sont les variétés les plus résistantes dans votre pays ?

L'ALTERNARIOSE DE LA POMME DE TERRE

Alternaria solani

- 1 Importance de l'alternariose
- 2 Symptômes
- 3 Epidémiologie
- 4 Biologie
- 5 Observation de la propagation des spores
- 6 Méthodes de lutte
- 7 Evaluation de la maladie
- 8 Bibliographie

L'alternariose est une maladie causée par le champignon *Alternaria solani*, qui s'attaque principalement au feuillage mais aussi aux tubercules. Cette maladie constitue un problème important dans beaucoup de régions trop chaudes et trop sèches pour le mildiou, autre maladie fongique due à *Phytophthora infestans*. Il existe plusieurs possibilités de combattre l'alternariose.

1 IMPORTANCE DE L'ALTERNARIOSE

C'est en 1882 que l'alternariose fut découverte pour la première fois. Cette affection constitue un grave problème dans de nombreuses régions du monde où elle attaque non seulement les pommes de terre mais aussi les tomates et autres solanacées. L'alternariose a été moins étudiée que le mildiou mais, depuis quelques années, on a observé qu'elle représentait une maladie importante pour la pomme de terre dans beaucoup de zones de culture à climat chaud.

La maladie apparaît sur le feuillage et parfois aussi sur les tubercules. Les attaques au feuillage entraînent des réductions de rendement qui vont jusqu'à 50% et plus. Les effets de l'alternariose peuvent parfois être cachés par l'incidence d'autres maladies telle que la verticilliose.

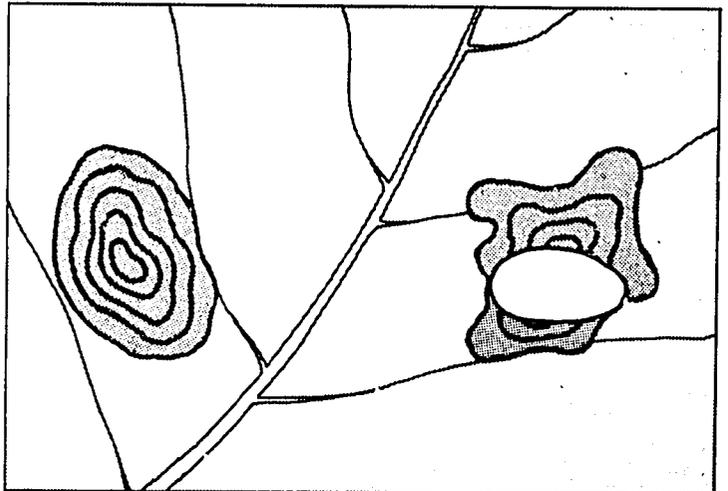
Les pertes pendant le stockage peuvent être importantes et atteindre 80% des tubercules affectés par les lésions de l'alternariose. Dans certains cas, l'infection des tubercules a provoqué des pertes importantes dans les pommes de terre de transformation stockées à des températures égales ou supérieures à 10 C.

2 SYMPTÔMES

Les symptômes apparaissent sur le feuillage et sur les tubercules.

Sur les feuilles : on voit apparaître d'abord des taches d'un brun foncé, plus ou moins arrondies, dont les anneaux concentriques font penser à des cibles et qui se développent sur les feuilles inférieures, les plus vieilles. En fonction des conditions du milieu et de la variété de la pomme de terre, les lésions atteignent 0,5 à 2 cm de diamètre et sont associées à une surface foliaire chlorosée qui se développe autour et entre les lésions.

Par temps sec, les lésions peuvent se détacher et faire place à des trous (aspect d'une criblure). Finalement, les feuilles deviennent complètement chlorosées, se dessèchent et meurent. En général, la maladie provoque une défoliation mais parfois les feuilles sèches restent accrochées à la plante. Des lésions similaires apparaissent aussi sur les pétioles et sur les tiges. L'infection des tiges peut provoquer leur cassure et la mort des parties de la plante non infectées mais situées au-dessus de la lésion. On peut confondre ces symptômes foliaires avec ceux d'une maturité précoce de la plante et ceux de la verticilliose.



Sur les feuilles, les lésions dues à l'alternariose présentent une zonation caractéristique ayant l'aspect d'une cible. Par temps sec, les lésions peuvent se détacher et faire place à des trous.

Sur les tubercules : l'infection est caractérisée par des lésions irrégulières et encaissées aux bords relevés. Elles se répartissent de façon irrégulière à la surface du tubercule. Leur couleur varie du gris au brun ou du pourpre au noir. Sous les lésions, le tissu est brun foncé, solide et sec et il s'étend depuis quelques millimètres jusqu'à 2-3 cm vers l'intérieur du tubercule. Il est souvent entouré d'une zone étroite et imbibée d'eau.

Il ne faut pas confondre les symptômes de l'alternariose avec ceux provoqués par *Phytophthora infestans* (mildiou). Les lésions foliaires du mildiou ne sont généralement pas réparties par zones. Dans des conditions d'humidité relative élevée, la sporulation peut être visible à la surface inférieure des feuilles comme du duvet blanc entourant les lésions; ceci ne se produit pas pour l'alternariose. Contrairement à l'alternariose, le mildiou apparaît en cas d'humidité prolongée et de températures fraîches. Les lésions sur les tubercules provoquées par l'alternariose ne s'étendent pas de manière irrégulière dans la chair comme c'est le cas pour le mildiou.

Dans les régions tropicales humides, les lésions foliaires peuvent être causées par d'autres champignons tels que : *Alternaria alternata*, *Phoma*, *Septoria* et *Macrophomina* spp. Les symptômes sont parfois semblables à ceux de *A. solani*, et peuvent donc être confondus.



Sur les feuilles, les lésions dues à l'alternariose présentent une zonation caractéristique ayant l'aspect d'une cible. Par temps sec, les lésions peuvent se détacher et faire place à des trous.

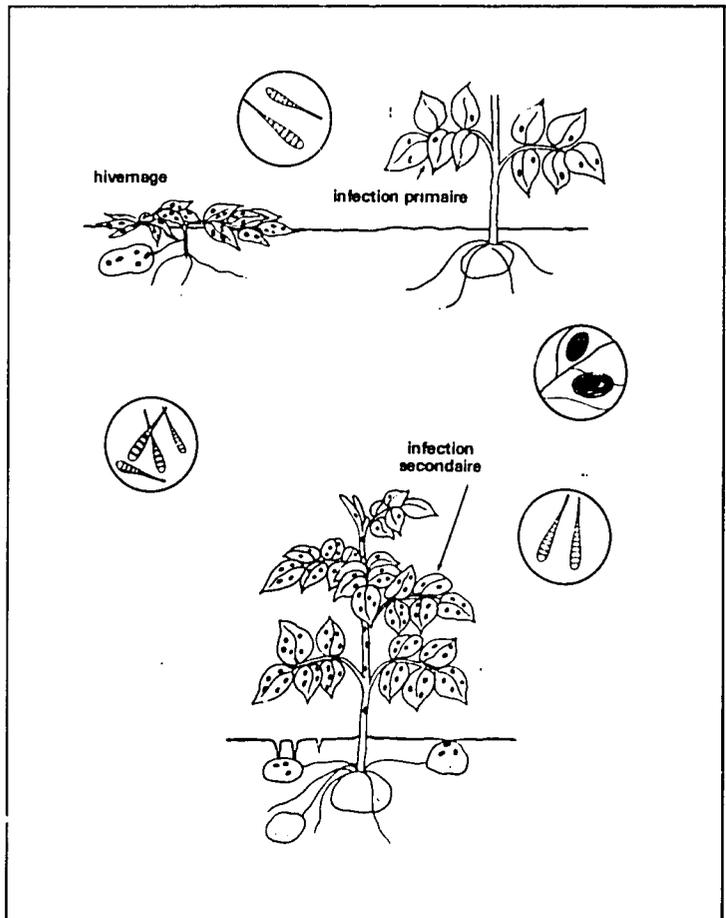
3 ÉPIDÉMIOLOGIE

L'inoculum de *A. solani* survit d'une saison à l'autre - mais pas pendant de longues années - sous forme de mycélium ou de spores sur les débris des plantes ou à la surface du sol. De là, les spores sont transportées par le vent. L'inoculum peut aussi survivre sur les tubercules. La propagation initiale, primaire, à partir de l'inoculum transmis par le sol, peut être restreinte, mais la plupart du temps elle est à l'origine d'une propagation secondaire importante de la maladie.

Les jeunes feuilles semblent présenter une résistance au développement primaire du champignon. Elles peuvent être infectées mais les symptômes n'apparaissent pas pendant plusieurs semaines. Lorsque les feuilles commencent à devenir sénescentes, des lésions typiques se développent surtout sur les feuilles inférieures. Les feuilles intermédiaires et les feuilles supérieures gardent leur aspect sain bien qu'elles puissent être aussi fortement infectées que les feuilles inférieures.

Les lésions relativement peu nombreuses se développant sur les feuilles inférieures sont à la base de la sporulation secondaire qui conduira à une infection importante plus tard dans la saison. Comme les lésions primaires sont souvent peu apparentes, il est difficile de détecter le début de la sporulation secondaire. Celle-ci peut être observée à l'aide de pièges à spores qui révèlent la sporulation secondaire bien avant la propagation de la maladie (cf chapitre 5).

Cycle épidémiologique de l'alternariose. L'inoculum survit sur les débris de plantes ou sur le sol. Avec l'infection primaire, des lésions se développent sur les feuilles inférieures. Ces lésions sont la source d'une sporulation secondaire qui provoquera une forte infection plus tard dans la saison.



On peut confirmer par plusieurs observations la relation existant entre le développement de la maladie et la maturité de la plante. Les variétés précoces présentent souvent une infection secondaire plus forte. Elles peuvent constituer une source d'inoculum pour les variétés tardives. L'infection la plus forte se développe généralement vers la fin de la période de croissance.

Il est difficile d'évaluer les conséquences de l'alternariose elle-même lorsque d'autres conditions défavorables telles que la sécheresse et la verticilliose entraînent une sénescence précoce de la culture.

L'infection foliaire est favorisée par un temps chaud (aux environs de 25 °C) et humide. Les chutes de pluie favorisent la maladie, mais ne sont pas nécessaires en cas de forte rosée fréquente. Parmi les autres facteurs augmentant les pertes de rendement on trouve l'irrigation par aspersion, la récolte mécanique et les stockages à des températures élevées (supérieures à 10 °C).

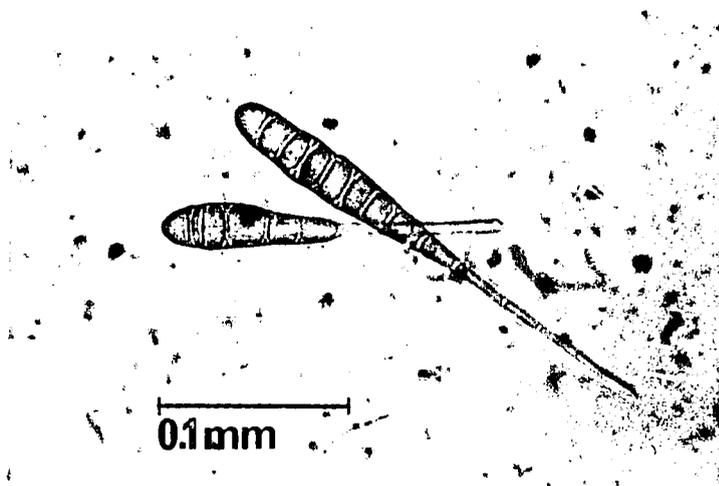
L'inoculum présent sur le feuillage infecté ou à la surface du sol permet l'infection des tubercules abîmés au moment de la récolte. Les tubercules sont moins sensibles aux dommages mécaniques et donc à l'infection par l'alternariose lorsque des mesures appropriées sont prises pour éviter ces dommages.

4 BIOLOGIE

Le champignon *Alternaria solani* Sorauer (famille *Dematiaceae*, classe des Deuteromycètes) se répand par des spores appelées conidies. Les conidies sont elliptiques, oblongues ou en forme de gourdin, de couleur sombre, cloisonnées transversalement mais souvent sans paroi cellulaire longitudinale; elles ont à leur extrémité une longue cellule terminale. Elles sont microscopiques : 15 à 20 μm de large et 150 à 300 μm de long. La cellule terminale s'amincit à son extrémité jusqu'à 2,5 à 5 μm .

Dans des conditions optimales de forte humidité et de températures comprises entre 24 et 34 °C, la germination des conidies débute en 30 minutes. Le tube germinatif se développe et pénètre les feuilles à travers l'épiderme ou les stomates. Le mycelium cloisonne et ramifie se répand à l'intérieur des feuilles. A cause des substances toxiques produites par le champignon, les dégâts se propagent avant le développement du mycelium. En culture pure, la croissance optimale se situe aux environs de 28 °C.

Les spores portant les conidiophores sont produites individuellement ou par petits groupes. De la lumière et des températures variant entre 19 et 23 °C stimulent le développement des conidiophores.



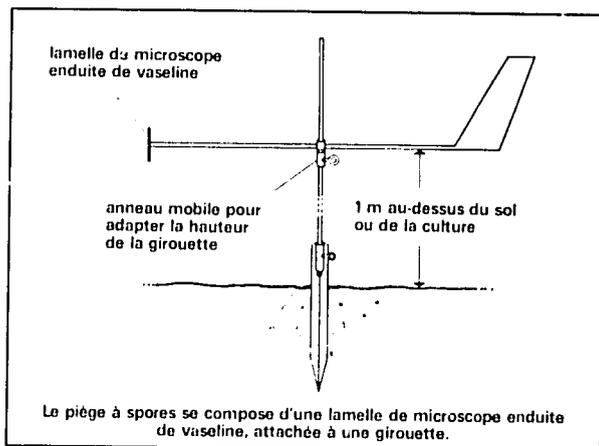
Les spores de *A. solani*, appelées conidies, ont la forme de gourdin, sont cloisonnées et ont à leur extrémité une longue cellule terminale; elles sont de couleur sombre. Dans des conditions optimales, leur germination débute en 30 minutes.

5 OBSERVATION DE LA PROPAGATION DES SPORES

L'infection primaire a peu de conséquences économiques, mais elle est importante en ce qui concerne le développement épidémique de la maladie car elle peut être à l'origine d'une propagation secondaire importante des spores. Il est donc important de connaître le début de cette propagation secondaire des spores pour programmer les méthodes de lutte.

La propagation secondaire des spores commence avec le développement des lésions primaires sur les feuilles inférieures. Le développement de ces lésions peut être observé à l'œil nu. Cependant, il est difficile de les voir et il arrive même qu'on les néglige. Il est possible qu'une propagation importante des spores commence avant que les premières lésions ne soient détectées à l'œil nu.

Il existe une méthode de piégeage assez facile qui peut être pratiquée par des stations expérimentales possédant un simple microscope. Grâce à cette méthode, les producteurs de pommes de terre de la région peuvent bénéficier d'un service d'alerte. Le piège à spores se compose d'une lamelle de microscope enduite de vaseline, attachée à une girouette qui soutient la lamelle au vent. Les spores d'*Alternaria* portées par le vent viennent se coller sur la couche de vaseline. On peut facilement les observer à un grossissement égal à 100x. Le piégeage des spores peut ne pas être pratique pour un producteur de pommes de terre individuel.



6 MÉTHODES DE LUTTE

Les méthodes de lutte contre l'alternariose comprennent :

- des précautions pendant les pratiques culturales,
- une lutte chimique, et
- l'emploi de variétés résistantes.

Précaution pendant les pratiques culturales. Comme le développement de l'alternariose a une relation avec la vigueur et la maturité de la culture, les techniques culturales qui favorisent la vigueur et évitent une rapide sénescence du feuillage ainsi que la faiblesse de la plante, diminuent l'incidence de la maladie. Ces pratiques doivent inclure une irrigation et une application d'engrais correctes (observer les recommandations locales). Il ne faut pas oublier que l'irrigation par aspersion peut favoriser le développement de la maladie.

Comme les variétés précoces favorisent une propagation secondaire importante des spores, les plantations doivent être orientées de façon à ce que les spores transportées par le vent n'atteignent pas facilement les variétés tardives (sous le vent).

Pour empêcher l'infection des tubercules, le feuillage infecté doit être éliminé quelques jours avant la récolte, et les tubercules doivent rester dans le sol jusqu'à ce que la peau atteigne sa maturité et soit plus résistante aux dommages mécaniques.

Comme *A. solani* persiste sur les débris des plantes, tous les résidus infectés doivent être retirés du champ après la récolte.

Bien que son organisme soit capable de passer l'hiver d'une saison à l'autre, il ne peut pas survivre de plus longues périodes. Ainsi, la rotation des cultures peut favoriser une baisse de la quantité d'inoculum dans le champ.

Lutte chimique. On peut lutter efficacement contre l'alternariose par quelques applications de fongicides, à condition que les pulvérisations soient programmées en fonction de la sporulation secondaire. Des applications plus précoces ont peu d'effet et des pulvérisations répétées et faites au hasard n'améliorent pas le résultat. (Elles n'entraînent qu'une hausse des coûts). Les données du piège à spores donnent une bonne indication sur l'activité des champignons et sur la propagation secondaire des spores.

La même protection fongicide employée dans la lutte contre le mildiou est en général efficace contre l'alternariose. A l'heure actuelle, on emploie surtout des dithiocarbamates, du zinèbe, du manèbe, du captafol, du chlorothalonil et du triphényl-tin-hydroxyde. Il faut noter que des fongicides spécialement étudiés pour la lutte contre le mildiou (ex. le ridomil) peuvent être inefficaces contre l'alternariose.

L'emploi de variétés résistantes. Les variétés de pommes de terre présentent des niveaux différents de résistance au champ mais aucune n'est à l'abri de la contagion. La sensibilité va de pair avec la précocité. Les variétés tardives sont généralement moins affectées. Comme la résistance est le meilleur moyen de lutte, les programmes d'amélioration variétale doivent étudier la résistance des variétés existantes ou des nouveaux matériels sélectionnés.

7 ÉVALUATION DE LA MALADIE

Il existe plusieurs méthodes d'évaluation pour procéder à la comparaison de la résistance des variétés de pommes de terre ou de l'efficacité des méthodes de lutte. Comme il existe une relation entre l'incidence de la maladie et l'état physiologique de la culture, il faut aussi prendre en considération la maturité des plantes.

Maturité des plantes. On peut évaluer la maturité des plantes à une date précise ou à des intervalles réguliers (toutes les semaines) en se basant sur une échelle allant de 1 à 5 :

- 1 = très précoce, plantes arrivées à maturité;
- 5 = très tardif, plantes vertes et au stade de floraison.

Pourcentage de feuilles infectées. Le nombre de folioles infectées peut être compté et mis en relation avec le nombre total de folioles. Le pourcentage de folioles infectées peut aussi être estimé à l'œil nu de manière approximative.

Taille des lésions et gravité. La taille des lésions et leur gravité peuvent être évaluées en fonction d'une échelle allant de 1 à 5 :

- 1 = lésions foliaires très petites (\pm 1mm),
- 2 = lésions foliaires moyennes,
- 3 = lésions foliaires importantes (\pm 1cm),
- 4 = lésions foliaires + petites lésions des tiges,
- 5 = lésions foliaires + importantes lésions des tiges.

Pourcentage de défoliation. Les estimations à l'œil nu peuvent être exprimées en pourcentage des surfaces foliaires détruites ou au moyen d'une échelle. On emploie souvent une échelle allant de 0 (pas de dégâts visibles) à 5 (destruction totale). Le CIP emploie ce système pour l'estimation du mildiou (*P. infestans*) qui peut être appliqué pour l'évaluation de l'alternariose.

8 BIBLIOGRAPHIE

- Douglas, D.R. and Groskopp, M.D. 1974. Control of early blight in eastern and south central Idaho. *Amer. Potato J.* 51 : 361-368.
- Douglas, D.R. and Pavek, J.J. 1972. Screening potatoes for field resistance to early blight. *Amer. Potato J.* 49 : 1-6.
- Harrison, M.D., Livingston, C.H. and Oshima, N. 1965. Epidemiology of potato early blight in Colorado. I. Initial infection, disease development and the influence of environmental factors. *Amer. Potato J.* 42 : 279-291.
- Harrison, M.D., Livingston, C.H. and Oshima, N. 1965. Control of potato early blight in Colorado. I. Fungicidal spray schedules in relation to the epidemiology of the disease. *Amer. Potato J.* 42 : 319-327.
- Harrison, M.D., Livingston, C.H. and Oshima, N. 1965. Control of early blight in Colorado. II. Spore traps as a guide for initiating applications of fungicides. *Amer. Potato J.* 42 : 333-360.
- Henfling, J.W. 1987. Le mildiou de la pomme de terre, *Phytophthora infestans*. Bulletin d'Information Technique 4. Centre International de la Pomme de terre (CIP) Lima, Perou
- Hooker, W.J. (ed) 1981. Compendium of potato diseases. American phytopathological Society, St. Paul Minnesota, USA. pp. 35-67.
- International Potato Center. 1978. Control of important fungal diseases of potatoes. Planning Conference Report 15. International Potato Center, Lima, Peru. 184 pp.
- Livingston, C.H., Harrison, M.D. and Oshima, N. 1963. A new type of spore trap to measure numbers of air-borne fungus spores and their periods of deposition. *Plant Disease Rept.* 47 : 340-341.
- Lohman, L.K., Harrison, M.D. and Workman, M. 1981. Pre-harvest burning for control of tuber infection by *Alternaria solani*. *Am. Potato J.* 58 : 593-599.
- Venette, J.R. and Harrison, M.D. 1973. Factors affecting infection of potato tubers by *Alternaria solani* in Colorado. *Amer. Potato J.* 50 : 283-292.

NOTES

LA DÉTECTION DES VIRUS DANS LA PRODUCTION DE PLANTS DE POMMES DE TERRE

Luis F. Salazar



Détection des virus par l'inoculation de plantes indicatrices

LA DÉTECTION DES VIRUS DANS LA PRODUCTION DE PLANTS DE POMMES DE TERRE

Objectifs : L'étude de ce bulletin devrait vous permettre :

- d'expliquer la nature et les effets des virus de la pomme de terre,
- de décrire les principes et les objectifs de la détection des virus,
- d'expliquer les principes et de discuter la mise en application des méthodes les plus communes pour la détection des virus.

Matériel didactique :

- Des plantes de pommes de terre montrant les différents symptômes de virus.
- Des plantes indicatrices avec différents symptômes de virus.
- Des exemples ou des échantillons concrets de méthodes sérologiques.

Travaux pratiques :

- Pratiquer la détection des virus au champ et en magasin.
- Montrer les méthodes sérologiques qui sont facilement applicables dans vos conditions locales.

QUESTIONNAIRE

- 1 Quelles sont les parties de la plante qui sont envahies par la plupart des virus ?
- 2 Quelle peut être l'importance des pertes de rendement ?
- 3 Comment peut-on lutter contre les viroses ?
- 4 Pourquoi faut-il détecter les virus le plus tôt possible après l'infection ?
- 5 Sur quels critères devez-vous baser le choix des méthodes de détection ?
- 6 Dans quelles conditions la production de plants totalement exempts de virus peut-elle être non désirable ?
- 7 Quelles sont les conditions préalables requises pour l'observation des symptômes au champ ?
- 8 Quels sont les principaux symptômes de virus sur les pommes de terre ?
- 9 Quels sont les avantages de l'observation des symptômes au champ ?
- 10 Dans quels cas est-il conseillé d'employer la méthode de l'observation des symptômes au champ ?
- 11 Quelles sont les conditions préalables à l'application du test sur plantes indicatrices ?
- 12 Décrivez le principe des tests sérologiques.
- 13 Pourquoi le test au latex est-il plus sensible que la microprécipitation ?

LA DÉTECTION DES VIRUS DANS LA PRODUCTION DE PLANTS DE POMMES DE TERRE

- 1 Nature et effets des virus de la pomme de terre
- 2 Principe de la détection des virus
- 3 Observation des symptômes au champ
- 4 Test sur plantes indicatrices
- 5 Tests sérologiques
- 6 Bibliographie

Les virus sont des agents pathogènes extrêmement petits qui peuvent provoquer des réductions importantes dans les rendements de pommes de terre. Une fois qu'ils ont pénétré dans une plante de pomme de terre, la plupart des virus se transmettent aux générations suivantes par l'intermédiaire des tubercules infectés. Dans la plupart des cas, les virus ne peuvent être éliminés d'un programme de production de plants que par l'arrachage des plantes infectées. Les infections par virus ne sont pas toujours visibles sur la plante de pomme de terre. Il existe plusieurs méthodes de détection dont certaines sont plus fiables que d'autres. Le choix d'une méthode dépend du niveau de réduction des virus que l'on désire atteindre dans les champs et des moyens disponibles.

1 NATURE ET EFFETS DES VIRUS DE LA POMME DE TERRE

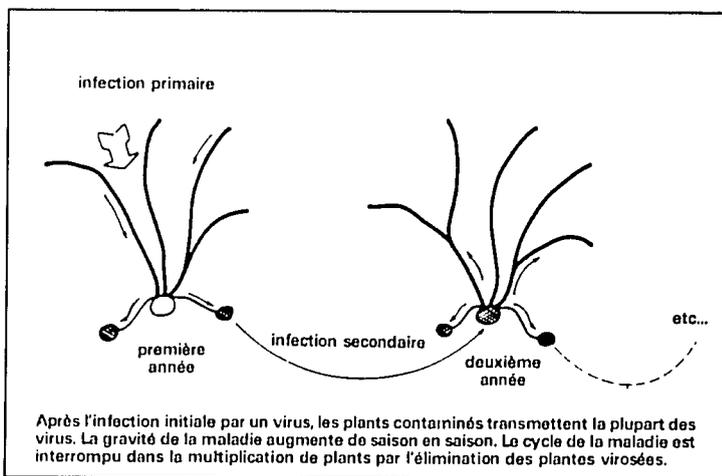
Les virus sont très petits : leur taille moyenne est de $500 \text{ nm} = 0,0005 \text{ mm}$. Ils ne sont visibles qu'au microscope électronique. Ils se développent dans les cellules vivantes et sont transmis aux plantes saines par les insectes, nématodes, champignons ou par contact mécanique. La transmission primaire "réussie" provoque ce qu'on appelle l'**infection primaire**. Lorsqu'une plante est sensible, le virus se multiplie et, par la suite, envahit le tissu de la plante.

Comme la plante infectée continue à se développer et arrive à maturité, la plupart des virus peuvent envahir toutes les parties végétatives de la plante, y compris les tubercules. Presque tous les virus de la pomme de terre passent d'une culture à l'autre par l'intermédiaire des tubercules infectés. On appelle **infection secondaire** l'infection qui provient de plants contaminés.

Certains virus infectent les grains de pollen ou les ovules et sont transmis par les graines.

Les pertes engendrées par les virus de la pomme de terre sont à la fois quantitatives (baisse de rendement) et qualitatives (réduction de la valeur commerciale). Le type et la gravité des pertes dépendent des conditions de la plante, du milieu et du virus concerné. Une vingtaine de virus peuvent provoquer des maladies chez la pomme de terre. Les virus X, S, ou M de la pomme de terre (PVX, PVS, PVM) peuvent réduire les rendements de 5% à 40%. D'autres virus, tels que les virus de l'enroulement (PLRV) ou des infections combinées des virus X et Y de la pomme de terre (PVX + PVY) peuvent provoquer des pertes allant jusqu'à 90%.

Dans la pratique, les plantes virosées ne peuvent pas être "guéries". En général, la gravité de la maladie et sa propagation augmentent d'une saison de croissance à la suivante, sauf si le cycle de la maladie est interrompu. Un moyen efficace pour interrompre le cycle de la maladie est d'éliminer les plantes virosées de la multiplication de plants. Cette méthode fait appel à la détection des infections par virus.



2 PRINCIPES DE LA DÉTECTION DES VIRUS

Les techniques de la détection des virus cherchent à identifier la cause des infections par virus :

- le plus tôt possible après l'infection, et
- avant que la plante infectée ne devienne un réservoir pour toute infection future.

Les différentes techniques de détection varient selon leur sensibilité et leur complexité. Aucune technique n'est adéquate à 100%. L'efficacité dépend aussi de la formation et de l'habileté du technicien.

Une technique optimale doit associer une sensibilité élevée à la simplicité et à des coûts peu élevés. Comme aucune technique n'est idéale pour toutes les situations, il faudra baser le choix des méthodes sur les critères suivants en tenant compte des possibilités pour chaque situation spécifique :

- le niveau de réduction des virus que l'on désire atteindre,
- le stade de multiplication des plants,
- le virus en cause,
- le matériel disponible.

Le niveau de réduction de: virus que l'on désire atteindre. Les limites de la tolérance sanitaire dépendent des besoins du programme de production de plants. Certains virus ne provoquent que des pertes insignifiantes ou ne sont pas répandus dans la région. Chercher sans discernement une production de plants totalement exempts de virus peut être non désirable et coûteux. Un programme de production de plants doit s'attaquer uniquement aux virus les plus répandus et les plus nuisibles.

Le stade de la multiplication des plants. La multiplication des plants est menée en plusieurs étapes. Si on en est seulement à la dernière étape de la multiplication, des méthodes simples et peu coûteuses de détection des virus sont suffisantes. Si des plantes-mères individuelles doivent être testées pour la production de plants de base, il vaut mieux employer des techniques de détection plus sensibles, vu que ces plantes sont à la base de l'ensemble du programme.

Le virus en cause. Une méthode de détection peut être efficace pour un virus déterminé et pas pour un autre. Donc le choix des méthodes dépend aussi des virus impliqués.

Le matériel disponible. Certaines méthodes de détection exigent un minimum de conditions préalables telle une observation des symptômes au champ qui nécessite uniquement des contrôleurs expérimentés. L'emploi d'autres techniques dépend de la disponibilité de serres, de laboratoires, d'équipements et de matériels. Un test sur une plante indicatrice ne peut être mené dans de bonnes conditions que dans le cas où des serres non-perméables aux insectes sont disponibles. Les méthodes sérologiques dépendent de la disponibilité en antisérums.

Les techniques les plus employées que nous allons traiter en détail sont les suivantes :

- l'observation des symptômes au champ,
- le test sur plantes indicatrices,
- les tests sérologiques.

D'autres techniques se limitent à des virus ou à des cas spécifiques, comme le test de la callose pour le virus de l'enroulement (avant que la technique ELISA ne soit connue), l'électrophorèse pour le viroïde des tubercules en fureau (PSTV) et le microscope électronique pour l'étude des particules de virus dans les extraits de sève des plantes.



3 OBSERVATION DES SYMPTÔMES AU CHAMP

La plupart des virus de la pomme de terre induisent des symptômes sur les plantes de pommes de terre infectées et parfois sur les tubercules. L'observation des symptômes au champ n'est pas coûteuse et ne demande aucune installation spécifique. L'observateur doit seulement être formé de manière adéquate.

Sur les plantes en croissance, on peut observer une réduction de la croissance, un jaunissement, des mosaïques, des nécroses et des déformations des feuilles. Pour les tubercules, on peut trouver les symptômes suivants : des craquelures, des déformations, des nécroses



L'observation des symptômes au champ permet de détecter les virus les plus importants. Parmi les symptômes sur les plantes, on trouve un jaunissement (en haut) et des déformations des feuilles (en bas).

et des tubercules fusiformes. L'apparition des symptômes peut être influencée par les facteurs du milieu tels que la température, l'intensité de la lumière et la fertilité du sol (surtout en cas d'excès en azote). Dans certaines circonstances, les plantes infectées ne présentent que des symptômes légers ou même pas de symptômes du tout (infections sans symptômes ou latentes).

Certains virus peuvent produire des symptômes similaires sur la même variété de pommes de terre. Dans d'autres cas, différentes variétés peuvent réagir différemment au même virus. Des infections combinées de différents virus changent l'expression des symptômes. Des symptômes de virus peuvent être confondus avec des causes non-parasitaires ou avec des symptômes provoqués par d'autres pathogènes.

La difficulté à détecter les infections légères ou latentes est un autre inconvénient de l'observation des symptômes au champ. Néanmoins on peut quand même détecter les virus les plus importants de cette façon.

L'observation des symptômes au champ est utile quand de grandes populations de pommes de terre doivent être examinées dans les derniers stades de la multiplication des plants. C'est la méthode recommandée pour les programmes dirigés contre les infections qui réduisent le rendement de manière significative.

La publication du CIP "La pomme de terre; maladies et nématodes" peut être utile lors de l'observation des symptômes de virus au champ.

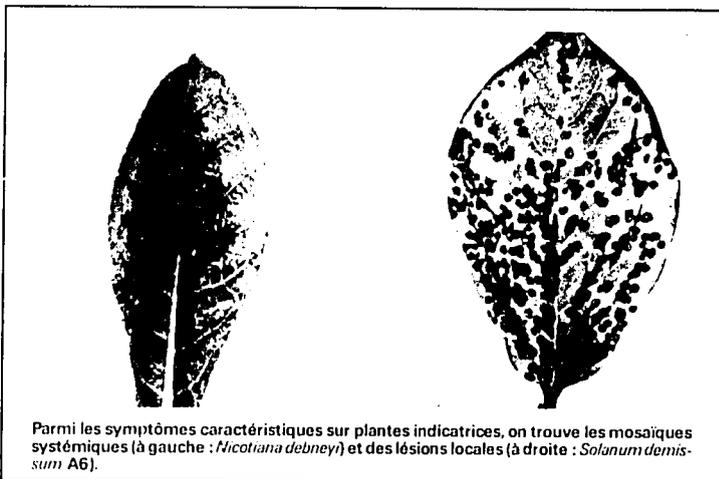
4 TEST SUR PLANTES INDICATRICES

Beaucoup de virus de la pomme de terre infectent aussi d'autres plantes, y compris celles appartenant à d'autres familles. Certaines plantes-hôtes montrent des symptômes évidents et caractéristiques, parmi lesquels on trouve différents types de mosaïques systémiques ou de lésions locales. Ces symptômes caractéristiques sur des plantes appelées indicatrices aident à détecter et identifier les virus de la pomme de terre, même lorsqu'ils sont latents.

Voici quelques plantes indicatrices communes : clone A6 (*S. demissum* x *S. tuberosum* "Aquila"), *Chenopodium amaranticolor*, *Gomphrena globosa* et *Physalis floridana*.

Les plantes indicatrices sont en général cultivées à partir de semences dans des serres. A un stade déterminé de la croissance, elles sont inoculées mécaniquement ou par des insectes vecteurs (surtout des pucerons). Les premiers symptômes typiques peuvent être observés environ une semaine après l'inoculation.

Le test sur plantes indicatrices est valable pour beaucoup de virus et il est relativement simple à mettre en pratique. On le recommande pour tester les plantes-mères ou le matériel de plants de base. La culture des plantes indicatrices doit être synchronisée de manière telle que des plantes à un stade de croissance adéquat puissent être disponibles à un moment précis. Cette méthode demande des installations pour la croissance (serres) et du matériel (pots, terre, du matériel simple de laboratoire).



5 TESTS SÉROLOGIQUES

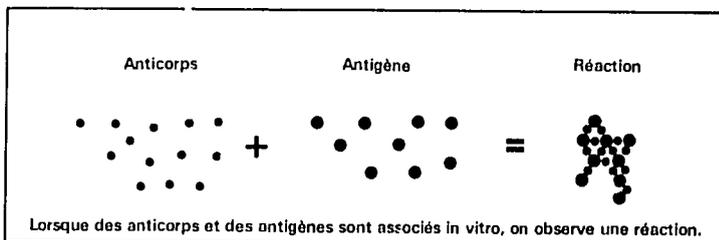
Tous les tests sérologiques sont basés sur le même principe.

Lorsque l'on injecte des antigènes (agents pathogènes ou certaines molécules organiques) à des animaux à sang chaud (des lapins par exemple), d'autres protéines appelées anticorps se forment dans le sérum de leur sang. Beaucoup de virus de pomme de terre sont de bons antigènes.

Le sérum peut être isolé et est appelé antisérum. Lorsqu'il est préparé correctement, un antisérum devient tellement spécifique qu'il réagit uniquement avec le virus (antigène) qui a provoqué la production d'anticorps.

Lorsque les anticorps et les antigènes sont associés *in vitro*, on observe une réaction. Celle-ci peut se présenter de différentes manières, en fonction de la méthode employée. Une réaction positive indique la présence du virus en question.

Les tests sérologiques les plus communs sont la microprécipitation, le test au latex et le test ELISA.



La microprécipitation. Une goutte d'antisérum est mélangée avec une goutte de sève de la plante que l'on a clarifiée. Après un certain temps, une floculation peut être observée de préférence à l'aide du microscope sur fond noir. La floculation se produit avec des échantillons de sève infectée mais pas avec des échantillons sains.

Le test au latex. Le test au latex ressemble à la microprécipitation. La sensibilité du test est augmentée par l'union de petites molécules d'anticorps avec des sphères de latex relativement grosses ($0,85\mu\text{m}$) avant de commencer le test. (Le latex est une macromolécule organique de polystyrène).

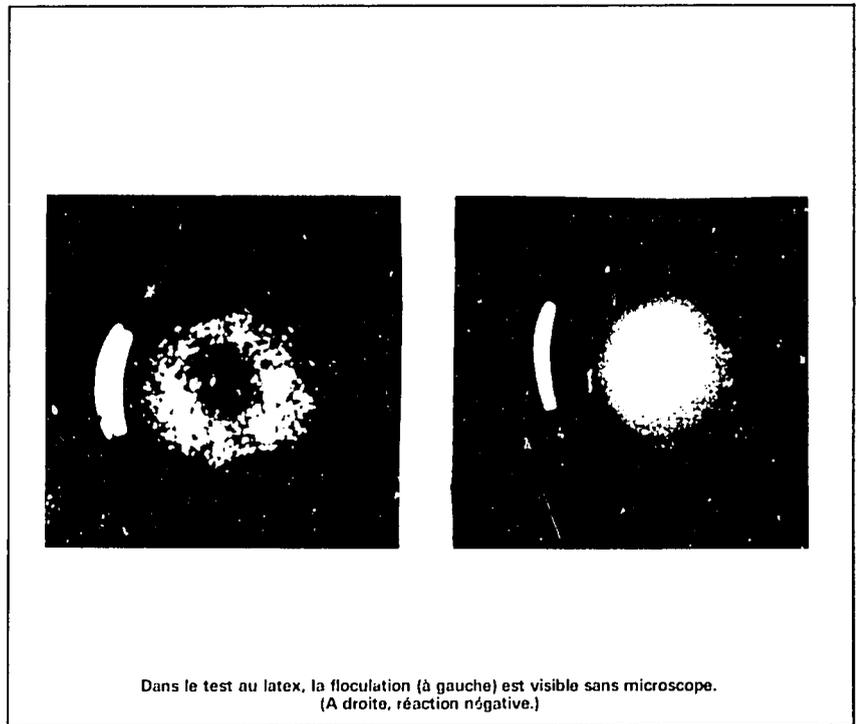
Une goutte de latex sensibilisée avec des anticorps est mélangée avec une goutte de sève de la plante. Si la sève contient des virus, les particules de latex vont floculer. La réaction est visible sans microscope. Le test au latex est de 100 à 1000 fois plus sensible que la microprécipitation. Il ne demande pas de clarification de la sève de la plante, donne une réaction plus rapide et nécessite moins d'antisérum. Il requiert quand même quelques produits chimiques et des installations de laboratoire.

Le test ELISA. Le terme ELISA est un acronyme formé à partir de "Enzyme Linked Immunosorbent Assay". Cette technique demande plus d'étapes de préparation que les techniques mentionnées plus haut. C'est la méthode sérologique la plus sensible et elle permet une estimation quantitative de la concentration des virus dans les échantillons de sève.

En général, on préfère les tests sérologiques pour le diagnostic de virus car ils conviennent mieux pour tester un plus grand nombre d'échantillons. Les antisérum sont disponibles pour la plupart des virus de la pomme de terre. La sérologie est en général moins sensible que les tests sur plantes indicatrices.

Parmi les trois techniques décrites, ELISA est la plus sensible et est suivie par le test au latex. La microprécipitation, bien que la moins sensible, est utile lorsque les installations de laboratoires ne sont pas disponibles pour mener les autres tests.

La microprécipitation et le test au latex peuvent présenter des floculations non-spécifiques dues à des composants de la sève différents du virus cible. La réaction peut ne pas réussir quand la quantité d'anticorps dépasse considérablement la quantité de particules virales ou vice-versa. C'est la raison pour laquelle les échantillons sont testés à deux concentrations différentes.



6 BIBLIOGRAPHIE

- Bokx, J.A. de. 1972. Viruses of potatoes and seed potato production. Center for Agriculture Publishing and Documentation. Wageningen, The Netherlands. 233 pp.
- Centre International de la Pomme de terre. 1979. La pomme de terre; maladies et nématodes. Centre International de la Pomme de terre, Lima, Pérou. 68 pp.
- Clark, M.F. and A.N. Adams. 1977. Characteristics of the microplate method of enzyme-linked immunosorbent assay for the detection of plant viruses. J. gen. Virol. 34 : 475-483.
- Cortbaoui, R. 1987. L'épuration des pommes de terre. Bulletin d'Information Technique 5. Centre International de la Pomme de terre, Lima, Pérou.
- Fribourg, C. and J. Nakashima. 1981. Latex test for detecting potato viruses. Slide Set II/1. International Potato Center, Lima, Peru. 31 slides.
- Fribourg, C. and J. Nakashima. 1981. Latex test for detecting potato viruses. Guide Book II/1. International Potato Center, Lima, Peru. 12 pp. (Illustrated description of the technique to be used with slide set mentioned above, or for individual study).
- Hooker, W.J. (ed.) 1981. Compendium of potato diseases. American Phytopathological Society, St. Paul, Minnesota. pp. 68-90.
- Hunnus, W. 1977. Virus testing of seed potatoes. Z. PflKrankh. PflSchutz 84 : 748-763. (Text in German; English translation available from CIP).
- Salazar, L.F. 1979. Aplicación de la técnica serológica con conjugados enzimáticos (ELISA) para diagnosticar virus de la papa. Fitopatología 14 : 1-19.
- Proper, L.D. and Ramallo, N.E. 1981. Técnicas para el diagnóstico de enfermedades virales de la papa en Tucumán. Boletín no 136. Estación Experimental Agro-Industrial "Obispo Colombes", Tucumán, Argentina. 11 pp.
- Torrance, L. and Jones, R.A.C. 1981. Recent developments in serological methods suited for use in routine testing for plant viruses. Pl. Path. 30 : 1-24.

LES VIROSES DE LA POMME DE TERRE

William J. Hooker



Importants symptômes de mosaïque

LES VIROSES DE LA POMME DE TERRE

Objectifs : L'étude de ce bulletin devrait vous permettre :

- de décrire l'importance des viroses de la pomme de terre,
- de dresser la liste des principaux symptômes des virus,
- d'expliquer la nature des virus et des viroïdes (ou mycoplasmes) de la pomme de terre,
- de discuter les moyens de transmission des virus,
- de dresser la liste des méthodes de détection et de l'identification des virus,
- de discuter les possibilités de lutte contre les virus.

Matériel didactique :

- Plantes infectées par différents virus.
- Plantes infestées de pucerons.
- Diapositives de symptômes de virus.

Travaux pratiques :

- Pratiquer la reconnaissance de viroses au champ par la description des symptômes des plantes infectées.
- Examiner des plantes pour déterminer la présence de vecteurs de virus et discuter les principes de la transmission des virus.

QUESTIONNAIRE

- 1 Quelle est l'importance des viroses de la pomme de terre dans votre pays ?
- 2 Comment les plantes de pommes de terre sont-elles affectées par les virus ?
- 3 Pourquoi n'est-il pas toujours possible de comparer les effets des virus avec des plantes de pommes de terre saines dans un champ de pommes de terre infecté ?
- 4 Dressez la liste des symptômes des viroses de la pomme de terre et leurs conséquences.
- 5 Pourquoi les infections latentes posent-elles le plus de problèmes ?
- 6 Quelle est la différence entre les *symptômes primaires* et les *symptômes secondaires* ?
- 7 Quelles sont les différences entre les virus et les viroïdes ?
- 8 Quelles sont les formes caractéristiques des virus ?
- 9 Décrivez la taille des virus (un exemple).
- 10 Comment les virus de la pomme de terre sont-ils transmis par l'homme ?
- 11 Quelle est la différence entre les virus transmis de manière persistante et ceux transmis de manière non-persistante ?
- 12 Que sont les virus transmis par le sol ?
- 13 Donnez deux manières de transmission du PSTV.
- 14 En quoi le diagnostic au champ est-il utile comme moyen de détection des virus ?
- 15 Quels sont les avantages des méthodes sérologiques ? Que nécessitent-elles ?
- 16 Quelle est la meilleure méthode pour éviter les infections de virus ?
- 17 Pourquoi les mauvaises herbes doivent-elles être éliminées d'un champ de plants de pommes de terre ?
- 18 Comment pouvez-vous juger du bon emplacement d'une zone de production de plants de pommes de terre en liaison avec les populations d'insectes ?

LES VIROSES DE LA POMME DE TERRE

- 1 Importance des virus de la pomme de terre
- 2 Principaux symptômes des virus
- 3 Nature des virus et viroïdes
- 4 Moyen de transmission des virus
- 5 Détection et identification des virus
- 6 Lutte contre les virus
- 7 Bibliographie

Les virus et viroïdes (ou mycoplasmes) sont des entités infectieuses submicroscopiques qui peuvent provoquer des maladies chez les plantes et chez les animaux. Plusieurs d'entre eux attaquent la pomme de terre et peuvent provoquer des pertes de rendement sérieuses. Dans la pratique, on ne peut pas lutter directement contre les viroses de la pomme de terre alors qu'il existe plusieurs méthodes de lutte indirecte. Les techniques de lutte contre la maladie impliquent des connaissances sur la nature des virus, sur les sources d'infection, sur les moyens de transmission et de détection, et sur les moyens pour éviter les pertes.

1 IMPORTANCE DES VIRUS DE LA POMME DE TERRE

On connaît environ 25 virus différents et un viroïde qui infectent la pomme de terre en conditions naturelles. Ils provoquent différents symptômes sur les feuilles, les tiges et les tubercules. Presque toutes les viroses réduisent la vigueur des plantes de pommes de terre; certaines d'entre elles entraînent de sérieuses baisses de rendement. Il arrive souvent que deux virus ou plus soient présents au sein d'une plante au même moment. Il est rare que les viroses provoquent des dégâts aux tubercules pendant le stockage.

On nomme souvent les virus et viroïdes par leurs initiales. Voici quelques exemples (pdt = pomme de terre) :

Initiale	Nom en anglais	Nom en français
PLRV	potato leafroll virus	virus de l'enroulement de la pdt
PVY	potato virus Y	virus Y de la pdt
PVA	potato virus A	virus A de la pdt
PVX	potato virus X	virus X de la pdt
PVS	potato virus S	virus S de la pdt
PVM	potato virus M	virus M de la pdt
PVT	potato virus T	virus T de la pdt
PMTV	potato mop-top virus	virus "Mop Top" de la pdt
TRV	tobacco rattle virus	virus du "rattle" du tabac
AMV	alfalfa mosaic virus	virus de la mosaïque de la luzerne
PAMV	potato aucuba mosaic virus	virus de la mosaïque aucuba de la pdt
TRSV	tobacco ringspot virus	virus des taches annulaires du tabac
TBRV	tomato black ring virus	virus des anneaux noirs de la tomate
TSWV	tomato spotted wilt virus	virus des taches bronzées de la tomate
APMV	Andean potato mottle virus	virus andin de la marbrure de la pdt
APLV	Andean potato latent virus	virus andin latent de la pdt
PYV	potato yellow vein virus	virus de la jaunisse nerveaire de la pdt
PSTV	potato spindle tuber viroid	viroïde des tubercules fusiformes de la pdt

2 PRINCIPAUX SYMPTÔMES DES VIRUS

L'effet d'un virus sur une plante est souvent reflété par le type de symptômes qu'il produit.

La manière exacte dont les virus affectent les plantes varie en fonction du virus et de l'hôte. On ne comprend pas encore très bien le processus précis par lequel les virus provoquent la maladie. Les symptômes de la mosaïque ou du jaunissement proviennent de l'altération de la formation ou du fonctionnement de la chlorophylle. Le PLRV infecte les cellules du liber en altérant le transport des hydrates de carbone.

La gravité des symptômes est influencée par les conditions du milieu. Il est difficile d'identifier les plantes malades de manière satisfaisante quand celles-ci ont subi des températures défavorables, un manque d'eau ou certaines déficiences minérales. En général, les conditions pour une croissance rapide et bien pourvue en eau produisent les symptômes les plus évidents d'une infection virale.

Comme il peut arriver que des champs entiers de pommes de terre soient infectés par des virus, il n'est pas toujours possible de faire une comparaison avec des plantes saines. Dans ce cas, les symptômes de l'infection virale peuvent être soit occultés, soit confondus avec des caractéristiques variétales.

Les virus peuvent occasionner :

- des baisses de rendement,
- des infections latentes,
- des décolorations des feuilles,
- des déformations des feuilles,
- un rabougrissement,
- la mort du tissu foliaire,
- la nécrose et la déformation des tubercules.

Baisses de rendement. Elles sont la conséquence la plus importante d'une infection virale. Les rendements peuvent être fortement réduits bien que les plantes infectées ne présentent que des symptômes légers. Les plantes virosées (à de rares exceptions près) produisent des tubercules moins nombreux et plus petits que les plantes saines. Et lorsqu'on les emploie comme plants les saisons suivantes, ces tubercules produisent généralement des plantes infectées, ce qui provoque une dégénérescence générale de la culture.

Infections latentes. Les infections virales ne présentant pas de symptômes ou seulement des symptômes légers sont l'aspect le plus embarrassant des viroses. Les plantes peuvent être malades et ne présenter aucun signe d'infection. Elles peuvent apparaître presque normales pour ce qui est du type et de la vigueur de la plante et produire des tubercules apparemment normaux (ex. PVS, PVX). Des plantes récemment infectées peuvent ne pas présenter de symptômes pendant un certain temps ou pour le reste de la saison de croissance. Cependant l'infection virale est généralement présente dans tous les tubercules et si ces tubercules sont employés comme plants, ils produisent des plantes malades.

Décoloration des feuilles. Les symptômes peuvent se manifester sous forme de mosaïque, de marbrure ou de jaunissement.

La mosaïque et la marbrure sont caractérisées par un manque d'uniformité dans la couleur du feuillage. Des zones foliaires varient du vert foncé au vert clair. Parfois les nervures des feuilles sont plus claires que la normale. Les virus produisant ces symptômes sont PVX et PVY. Les symptômes visibles ne sont pas constants et fréquemment les plantes atteintes de mosaïque ne présentent pas de symptômes pendant une partie du jour ou une partie de la saison de croissance.

D'autres virus peuvent provoquer des taches irrégulières sur les feuilles. Le jaunissement peut se manifester sur les nervures ou sur les bords des feuilles. Les plantes sont généralement sans couleur, pâles, légèrement ou fortement jaunes.

Déformation des feuilles. Les feuilles tordues ou sans forme peuvent être plus petites que la normale, plissées, enroulées ou plus érigées, ou avec des bords irréguliers. La rugosité ou frisolée de la pomme de terre apparaît comme un plissement des feuilles avec des surfaces irrégulières et inégales. PVY peut provoquer des symptômes similaires.

L'enroulement des feuilles est caractérisé par un enroulement du bord des feuilles vers le haut en forme de cornet; elles exposent ainsi partiellement leur face inférieure. Lorsque le virus de l'enroulement (PLRV) est transmis par les plants, les symptômes apparaissent



Des feuilles apparemment saines (à gauche) contrastent avec un symptôme sérieux de mosaïque (à droite).



Feuillage atteint d'enroulement (PLRV).

d'abord sur les feuilles inférieures (symptômes secondaires). Sur les plantes récemment infectées, l'enroulement débute généralement sur les feuilles supérieures (symptômes primaires). Le symptôme de l'enroulement peut aussi être provoqué par d'autres causes que les virus.

Rabougrissement. Les entrenœuds sont raccourcis et les tiges sont soit plus épaisses que la normale, soit minces et en forme de fuseau. Le rabougrissement est souvent plus grave quand l'infection virale s'est établie à partir d'un certain nombre de multiplications des tubercules.

Mort du tissu foliaire. Les virus tuent rarement les plantes de pommes de terre directement. Ils provoquent souvent une maturation précoce des plantes. Les symptômes peuvent apparaître en taches disséminées sur les feuilles, ou bien la feuille entière peut mourir et tomber.



Nécrose interne du tubercules (TRV) et déformation (PMTV).

Les feuilles peuvent mourir à cause de la nécrose des nervures ou parce que les zones nécrosées des feuilles s'agrandissent et finalement s'étendent au pétiole. La mosaïque rugueuse entraîne généralement la mort des feuilles en commençant à la base de la plante et en progressant vers le haut. Les virus peuvent aussi provoquer un jaunissement général de la feuille et finalement sa mort.

Nécrose et déformation des tubercules. Les tubercules ne présentent généralement pas de symptômes si ce n'est une réduction de leur taille. Cependant, certains virus provoquent des zones nécrosées externes ou internes bien visibles. Il peut y avoir différents types de nécroses : de petites taches, des anneaux ou des arcs, des mouchetures ou des taches circulaires (ex. TRV, AMV ou PMTV). Les tubercules peuvent être allongés (PSTV) ou déformés ou encore craquelés.

3 NATURE DES VIRUS ET VIROIDES

Il existe plusieurs types de virus qui sont tous différents des viroïdes.

Les virus. Les particules virales sont composées d'acide nucléique protégé par une enveloppe protéinique. Les virus de la pomme de terre actuellement connus sont tous du type acide ribonucléique (ARN). Les virus peuvent avoir la forme de bâtonnets ou de filaments; ils peuvent être aussi du type isométrique ou bacilliforme. Les virus sont visibles uniquement au microscope électronique car ils sont trop petits pour être vus au microscope optique.

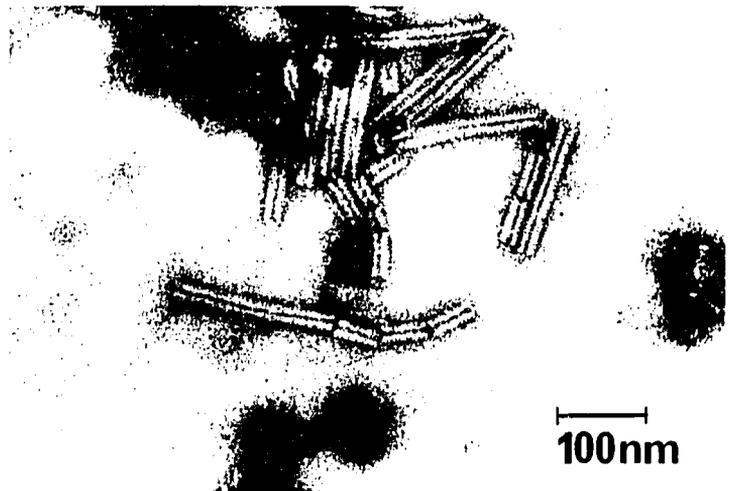
Les bâtonnets sont relativement épais et rectilignes. Le TRV est un exemple typique de bâtonnet.

Les filaments sont minces et flexueux. La taille moyenne des particules virales atteint approximativement 500 nanomètres (nm) de long (1.000.000 nm = 1 mm). Cela veut dire que si l'on met bout à bout 2.000 virus on obtiendra 1 mm. Les virus Y, X, S et M de la pomme de terre ont plus ou moins cette forme et cette taille bien que leur taille moyenne diffère légèrement.

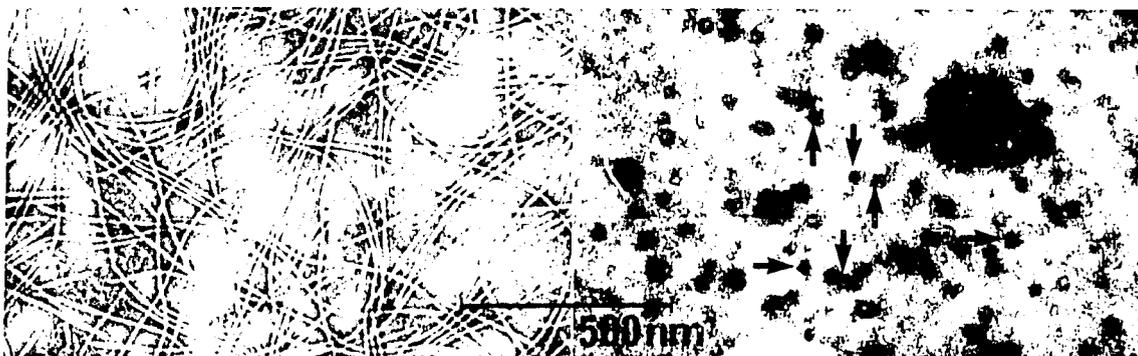
Les virus isométriques sont plus ou moins sphériques avec un profil hexagonal. Ils ont un diamètre de 25 à 30 nm. Parmi les virus isométriques on trouve PLRV, APLV et APMV.

Les virus bacilliformes ressemblent à des bactéries allongées avec les extrémités arrondies, mais ils sont beaucoup plus petits que les bactéries. Ils sont soit de forme ronde soit allongés avec les extrémités arrondies. AMV en est un exemple.

Les viroïdes. Les viroïdes (ou mycoplasmes) sont des entités infectieuses composées d'acides ribonucléiques, extrêmement petites. Ils ne possèdent pas l'enveloppe protéinique typique des virus. PSTV est le seul viroïde connu qui infecte naturellement la pomme de terre.



Coupe d'un virus en bâtonnet. Les virus sont composés d'acide nucléique et sont protégés d'une enveloppe protéinique. Les viroïdes sont des entités infectieuses composées d'acides nucléiques, mais ils ne possèdent pas d'enveloppe protéinique.



Des particules virales caractéristiques visibles au microscope électronique : des filaments (PVY) et des particules isométriques (PRLV) (1 nm = 0,000001mm).

4 MOYENS DE TRANSMISSION DES VIRUS

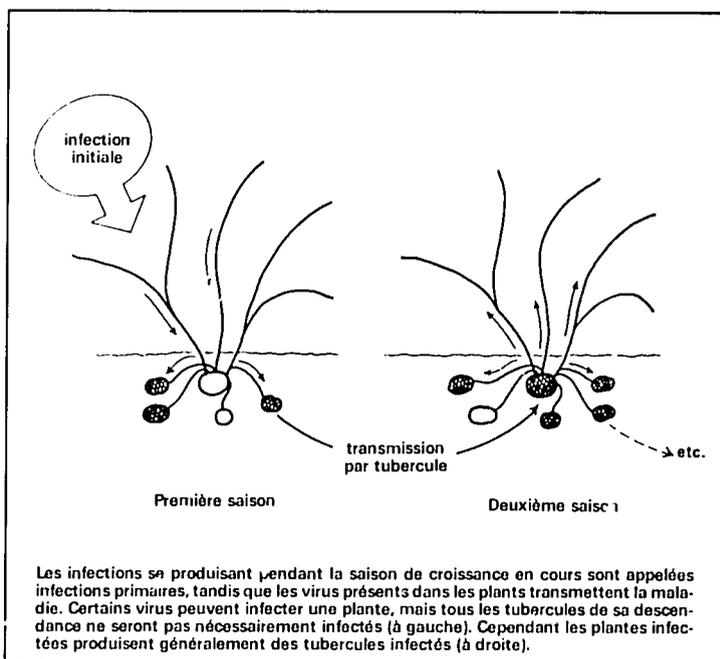
Les virus sont transmis par :

- les tubercules (4.1)
- les animaux vecteurs (4.2)
- les champignons (4.3)
- les graines et le pollen (4.4)

4.1 La transmission par les tubercules intervient lorsque des tubercules virosés ont été plantés. Certains virus peuvent infecter une plante mais pas nécessairement tous les tubercules de sa descendance. Cependant, les plantes infectées produisent généralement des tubercules infectés.

4.2 Transmission par animaux vecteurs. Plusieurs animaux sont vecteurs et transmettent donc des virus.

L'homme transmet les virus soit en mettant des plantes saines en contact avec des feuilles ou des germes infectés (transmission mécanique) soit au moment de la plantation et de la récolte. Certains virus survivent un certain temps sur les vêtements, les mains, les houes ou les cultivateurs et peuvent être transmis au cours des opérations culturales. L'homme est le vecteur principal de PVX et, pour autant qu'on le sache, également du viroïde PSTV.



Les pucerons sont les principaux vecteurs naturels de la plupart des virus des plantes. Plusieurs espèces de pucerons transmettent les virus les plus importants pendant qu'ils s'alimentent. Les virus peuvent être transmis par les pucerons de manière persistante ou non-persistante.

La transmission des virus non-persistants ou virus transmis par le stylet (certains virus responsables de la mosaïque) se fait par l'intermédiaire des pièces buccales du puceron et durant de brèves périodes (moins d'une heure) pendant lesquelles les pucerons se déplacent de plante en plante. Pour que la transmission soit réussie, il faut qu'elle intervienne très peu de temps après que le puceron se soit nourri sur une plante infectée. PVY est un exemple de virus non-persistant (mosaïque rugueuse).

Les virus persistants survivent beaucoup plus longtemps à partir du moment où ils ont pénétré le corps du puceron. Les pucerons peuvent garder ces virus le reste de leur vie, comme par exemple le virus de l'enroulement (PLRV).

Les cicadelles transmettent des virus après s'être nourries sur une plante infectée. Cependant il faut une période d'incubation pendant laquelle le virus se multiplie ou circule à l'intérieur du corps de l'insecte. Après cette incubation, le virus est transmis pendant le restant de la vie de l'insecte. La jaunisse nanisante de la pomme de terre et la frisolée de l'apex de la betterave sucrière (sugar beet curly top) sont des exemples de virus de la pomme de terre transmis par les cicadelles.

Les nématodes transmettent plusieurs virus qui sont parfois appelés à tort "virus transmis par le sol". Il s'agit de TRV et TBRV.

Les insectes broyeur transmettent des virus dans certains cas, bien qu'ils ne soient pas considérés comme étant des vecteurs efficaces.

4.3 La transmission par les champignons concerne peu de virus. PMTV est transmis par *Spongospora subterranea* et est limité aux endroits où l'on trouve la gale poudreuse de la pomme de terre.

4.4 Transmission par les graines et le pollen. Le viroïde PSTV et quelques virus comme PTV et APLV sont transmis par les graines. Ainsi la plantule est infectée à son tout premier stade. Le pollen de plantes infectées peut porter un viroïde ou un virus à l'embryon qui se développe, et de cette manière infecter la plantule. La transmission de PSTV par le pollen et les graines augmente la difficulté de lutter contre cette maladie.

5 DÉTECTION ET IDENTIFICATION DES VIRUS

La détection et/ou identification des virus est difficile et demande parfois des moyens élaborés. Parmi les méthodes d'identification il y a le diagnostic au champ, l'indexage des plantes ou des tubercules, les hôtes indicateurs, les méthodes sérologiques, l'examen au microscope électronique et encore d'autres moyens.

Le diagnostic au champ des plantes malades est surtout utile en cas d'épuration des cultures de plants de pommes de terre afin d'éliminer les plantes présentant des symptômes. L'identification exacte d'un virus spécifique sur la base des symptômes au champ est impossible. C'est pourquoi il faut aussi employer d'autres moyens d'identification.

L'indexage des plantes ou des tubercules détermine uniquement la présence ou l'absence de maladies. Cette méthode n'identifie pas le virus spécifique en présence et ne détecte pas les plantes infectées ne présentant pas de symptômes. On peut détecter les virus dans les plants en plantant un seul tubercule d'une butte ou un œil d'un tubercule géniteur dans un endroit facile à observer. Le reste de la butte ou le tubercule géniteur est gardé si la plante est saine ou est rejeté si elle est malade.

Les hôtes indicateurs sont en général des plantes autres que les pommes de terre. Ils peuvent être inoculés mécaniquement, par greffage ou par des animaux vecteurs appropriés. La sélection d'hôtes indicateurs adéquats ou la combinaison d'hôtes et l'examen attentif du type de symptômes développés peuvent donner une identification positive des virus ou au moins suggérer la présence possible de virus.

Les méthodes sérologiques sont hautement spécifiques et ne requièrent qu'un temps restreint pour l'incubation et l'observation. La préparation du sérum et les méthodes pour diriger le test sont des opérations précises exigeant l'habileté d'un virologue expérimenté ou d'un technicien. On utilise plusieurs types de tests sérologiques. Tout dépend de la production d'anticorps dans le corps de l'animal (souvent un lapin) un certain temps après que le virus purifié ait été injecté. L'antisérum contenant les anticorps du virus spécifique injecté est alors séparé du sang. Il s'associe avec le virus au cours d'un test sérologique.

La microscopie électronique est très utile. Elle nécessite un instrument coûteux qui n'est pas accessible à tous les chercheurs; de plus l'observation ne peut être faite que par une personne compétente. Si un virus est présent en quantité suffisante, le microscope électronique en favorise la détection et détermine le type de particule virale. Il ne peut pas identifier un virus spécifique bien qu'il donne une information importante sur la forme et la taille de la particule.

6 LUTTE CONTRE LES VIRUS

Il est impossible de mener une lutte directe contre les virus. Les méthodes de lutte sont préventives et portent sur :

- l'emploi de plants sains,
- l'élimination des sources d'infection,
- la lutte contre la transmission par insecte vecteur,
- la lutte contre la transmission mécanique

L'emploi de plants sains. L'emploi de plants sains est le moyen le plus efficace pour éviter les infections virales. Ils produisent des plantes saines. Suite à une infection ayant lieu pendant la saison de croissance en cours, les baisses de rendement sont généralement faibles. Cependant les plantes infectées produisent généralement des tubercules infectés qui, si on les emploie comme plants, produiront des plantes infectées. Au cours des saisons suivantes, les baisses de rendement deviennent de plus en plus importantes. On ne peut pas faire pousser de plantes saines à partir de plants infectés sauf exception.

L'élimination des sources d'infection. Les plantes de pommes de terre malades et les plantes de pommes de terre accidentelles présentes à l'intérieur ou autour du champ sont des sources d'infection et de dissémination des virus. Certaines mauvaises herbes peuvent aussi servir de sources d'inoculum de virus. Les plantes malades dans les champs de production de plants doivent être enlevées dès que l'infection devient visible. Les mauvaises herbes, qu'elles soient ou non sources potentielles de virus, doivent être éliminées par une lutte efficace afin d'éviter qu'elles ne constituent un abri pour les insectes.

La lutte contre la transmission par vecteurs. Il existe beaucoup de possibilités pour lutter contre la transmission des virus par vecteurs. Par l'observation des populations d'insectes vecteurs, on peut plus facilement décider si une zone ou une saison est favorable à la culture de plants de pommes de terre. Cette observation facilite aussi la programmation de la destruction des fanes de pomme de terre dans les champs de production de plants. Les champs de production de plants doivent être isolés. Pour éviter l'introduction d'insectes vecteurs par les vents dominants dans la région, les champs de production de plants doivent être situés si possible au vent par rapport aux champs de pommes de terre commerciales et aux autres cultures-hôtes.

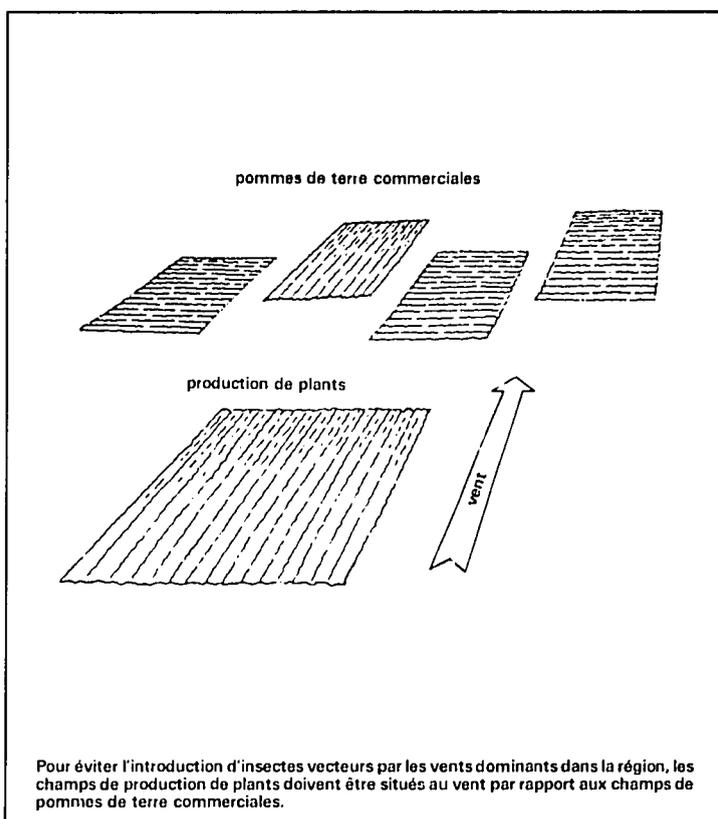
La lutte contre la multiplication des pucerons sur les plantes de pommes de terre ou sur les tubercules germés en stock doit se faire par l'emploi adéquat d'insecticides. Lorsque ceux-ci sont correctement appliqués, on peut lutter contre les populations de pucerons et la dissémination des virus dans les champs traités. Cependant, les insecticides n'empêchent pas l'infection lorsque des insectes porteurs de virus migrent d'autres zones vers le champ.

Lorsqu'on est en présence de virus transmis par nématodes, il peut s'avérer nécessaire de faire un traitement du sol ou une rotation appropriée des cultures pour lutter contre les nématodes.

La lutte contre la transmission mécanique.

Pendant le triage, la manutention et la plantation, des virus présents sur les tubercules germés peuvent être transmis aux germes sains. Il faut donc manipuler les tubercules germés avec précaution.

Les virus transmis par contact sont disséminés lors du contact de feuilles de plantes saines avec des feuilles infectées par virus, avec des germes infectés ou avec d'autres sources. Les machines ou l'homme qui passe dans un champ au feuillage dense peuvent transmettre les virus de plante à plante. Les buttes doivent être largement espacées afin de réduire la transmission mécanique des virus. Il ne faut pas se promener dans un champ ou y entrer avec une machine lorsque les fanes de pomme de terre sont fortement développées.



7 BIBLIOGRAPHIE

- Bokx, J.A. de (ed.) 1972. Viruses of potatoes and seed potato production. Pudoc, Wageningen. The Netherlands. 233 pp.
- Cortbaoui, R. 1987. L'épuration des pommes de terre. Bulletin d'Information Technique 5. Centre International de la Pomme de terre, Lima, Pérou.
- Hooker, W.J. (ed.) 1980. Compendio de enfermedades de la papa. Centro Internacional de la Papa, Lima, Perú. 166 pp.
- Hooker, W.J. (ed.) 1981. Compendium of potato diseases. American Phytopathological Society, St. Paul Minnesota, USA. 144 pp.
- Raman, K.V. 1987. Transmission des virus de la pomme de terre par les insectes. Bulletin d'Information Technique 2. Centre International de la Pomme de terre, Lima, Pérou.
- Salazar, L.F. 1987. La détection des virus dans la production de plants de pommes de terre. Bulletin d'Information Technique 18. Centre International de la Pomme de terre, Lima, Pérou.