

# Production de minitubercules de pomme de terre par hydroponie : évaluation d'un système combinant les techniques "NFT" et "Gravel Culture" pour deux types de solutions nutritives

Jean-Louis Rolot, Hugues Seutin, David Michelante

Section Systèmes agricoles. Centre de Recherches agronomiques de Gembloux. Ministère des Classes moyennes et de l'Agriculture. Rue du Serpont 100. 6800 Libramont (Belgique). E-mail : rolotjl@hotmail.com

Reçu le 7 décembre 2001, accepté le 4 juillet 2002.

La production de minitubercules de pomme de terre est l'étape intermédiaire classique pour rendre possible l'utilisation en plein champ du matériel végétal d'origine *in vitro*. Les techniques employées pour la production de minitubercules sont diverses mais se basent le plus souvent sur le repiquage de vitroplantules ou de boutures de vitroplantules dans un substrat organique désinfecté ou non. La culture hors-sol de plantes issues de vitrotubercules en vue d'une production de minitubercules de qualité sanitaire supérieure a été testée dans un système hydroponique. Deux types de solution nutritive ont été comparés, l'une riche en azote (180-40-300), l'autre riche en phosphore (60-150-300). Pour initier les cultures, des microtubercules prégermés des variétés Bintje, Kennebec, Spunta, Saturna, Désirée et Gasore ont été employés. Les taux de multiplication obtenus se situent entre 13,2 (Saturna) et 3,8 (Kennebec) minitubercules de calibre supérieur à 10 mm (> 1,5 g). La densité de plantes choisie étant de 59 plantes/m<sup>2</sup>, la production obtenue par unité de surface varie entre 224 et 779 minitubercules de calibre > 10 mm. Le nombre de minitubercules obtenus dépend avant tout de la variété. L'enrichissement de la solution nutritive en phosphore induit un accroissement du nombre de minitubercules produits de calibre supérieur à 15 mm (> 5 g). L'état sanitaire de la récolte est excellent.

**Mots-clés.** *Solanum tuberosum* L., production de semences, vitroplants, vitrotubercules, minitubercules, hydroponie, solutions nutritives, billes d'argile expansée, densité, taux de multiplication, distribution des calibres.

**Potato minituber production through hydropony: assessment of a system combining the NFT and Gravel Culture techniques for two types of nutrient solutions.** The potato minituber production is the classical intermediate stage enabling field use of potato materials with an *in vitro* origin. This production of minitubers may be achieved through various techniques. Most often however they are based upon bedding vitroplantlets or vitroplantlets cuttings in an organic substratum which is disinfected or not. The soilless culture of plants stemming from vitrotubers to produce minitubers with a superior health quality was tested within a hydroponic system. Two types of nutrient solutions were compared: a nitrogen rich one (NPK, mg/l, 180-40-300) and a phosphorus rich one (NPK, mg/l, 60-150-300). In order to initiate the cultures, presprouting microtubers of several varieties (Bintje, Kennebec, Spunta, Saturna, Désirée and Gasore) were used. Multiplication rates ranged between 13.2 (Saturna) and 3.8 (Kennebec) minitubers with a grade higher than 10 mm (> 1.5 g). As the selected density of the plants was 59 plants/m<sup>2</sup>, the yield per square metre varied from 224 to 779 minitubers with a grade > 10 mm. The obtained number of minitubers depended especially on the variety. The phosphorus enrichment of the nutrient solution induced an increased number of minitubers produced with a grade higher than 15 mm (> 5 g). The health state of the produced tubers was excellent.

**Keywords.** *Solanum tuberosum* L., seed production, *in vitro* plantlets, vitrotubers, minitubers, hydropony, nutrient solutions, expanded clay balls, plant density, multiplication rate, grade distribution.

## 1. INTRODUCTION

La production de plants de pommes de terre nécessite une maîtrise technique importante. Il s'agit de produire par voie végétative des tubercules ne déviant d'aucune

manière des caractères d'origine de la variété et comportant un minimum d'infections phytopathogènes. La difficulté réside dans la propension naturelle des tubercules à accumuler et à transmettre à la génération suivante ces infections d'origines virale, bactérienne

ou fongique et ainsi affaiblir progressivement le potentiel de production des plantes.

Afin de contrecarrer la dégénérescence, la technique de base employée consiste en l'injection régulière dans les systèmes de production de matériel végétal possédant un minimum d'infections, c'est-à-dire des tubercules de semence de haute qualité sanitaire.

Si, au départ, le seul moyen à la portée des producteurs était la régénération par semis de graines, on a ensuite bâti, au début du 20<sup>e</sup> siècle, un modèle de sélection généalogique et clonale afin de conserver les qualités intrinsèques des cultivars produits. Ce modèle comprenait l'application d'une série de techniques favorables à la conservation du bon état sanitaire au fil des multiplications : sélection des tubercules de départ sur des plantes apparemment saines, multiplication des tubercules dans des régions au climat défavorable pour les infections virales, isolement des cultures en multiplication par rapport aux cultures de consommation infectées, sélection massive sévère dans les cultures en multiplication, défanage précoce des cultures afin de soustraire le feuillage des plantes aux infections.

Si la plupart de ces mesures sont toujours indispensables pour conserver la qualité dans la filière de multiplication, le développement dans un passé récent de nouvelles techniques de contrôle de la qualité (ELISA, PCR, électrofocalisation, RAPD, RFLP, etc.) combiné à celui des techniques de micropropagation *in vitro* de la pomme de terre a permis une augmentation sensible de la qualité générale des productions. La micropropagation a en outre apporté plus de souplesse et de rapidité dans les processus de production de plants (Rossel *et al.*, 1987 ; Jones, 1991 ; Ranalli, 1997).

Le transfert direct vers le plein champ des plantes cultivées *in vitro* n'est cependant pas possible. Aussi la mise au point de divers procédés permettant ce transfert a été nécessaire. C'est ainsi que les techniques d'acclimatation et d'enracinement en motte des vitroplants pour un transfert en plein champ, les techniques de production de minitubercules, celles de production de vitro- ou microtubercules ont vu le jour, chaque technique possédant avantages et inconvénients.

La production de minitubercules en abri "insectproof" dans des substrats organiques ou minéraux est une technique onéreuse (coût des infrastructures nécessaires, frais directs liés à la production) mais aboutissant en définitive à la production de tubercules de calibre et de comportement physiologique proches des tubercules "plants" traditionnels.

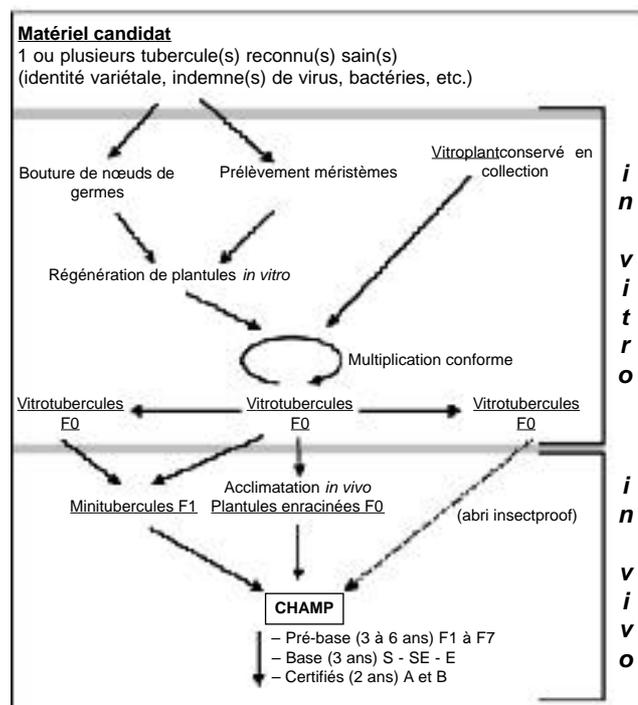
L'acclimatation des vitroplantules en vue d'une production de plantes enracinées en motte pour un transfert rapide au champ est une technique procurant l'avantage de produire une génération de tubercules de plein champ dès l'année de production des vitroplantules au laboratoire. Cette technique nécessite

aussi, au moins temporairement (30/40 jours), un abri pour l'acclimatation et l'enracinement ainsi qu'un climat propice au repiquage des plantes au champ.

La production de tubercules *in vitro* ou vitro-tubercules est facilement réalisable et ne demande aucune infrastructure spéciale puisque la tubérisation *in vitro* peut se réaliser dans une chambre obscure à température ambiante de 20 à 22°C. Les vitro-tubercules possèdent un avantage de qualité conféré par une production réalisée en laboratoire sans possibilité d'infection extérieure. La dimension réduite (5 à 10 mm) des vitrotubercules ne permet malheureusement pas leur utilisation sur une large échelle en plein champ.

Les produits de la micropropagation que sont les vitroplants, vitrotubercules ou minitubercules sont donc aujourd'hui souvent associés aux programmes de production de plants de pommes de terre : ils sont destinés plus particulièrement à la production des premières générations de plants, les plants de pré-base. Leur intégration dans la filière de production est présentée dans la **figure 1**.

Par sa taille et sa physiologie le rapprochant des tubercules normaux, le minitubercule est le produit le plus souvent utilisé pour initier les multiplications de plein champ. Sa production est réalisée dans des abris insectproof selon divers procédés. Le repiquage et l'élevage à haute densité de vitroplants ou de boutures de vitroplants dans un substrat organique composé



**Figure 1.** Filière de multiplication de la pomme de terre en Belgique : schéma général — *Potato seed production in Belgium: a general overview.*

d'un mélange de tourbe et de terreau constituent la voie classique pour la production de minitubercules (Ali *et al.*, 1995 ; Lommen, Struik, 1992 ; Wiersema, 1986). Notre expérience montre que le repiquage de vitroplants à la densité de 160 plantes/m<sup>2</sup> dans un lit constitué d'un mélange de tourbe et terreau permet l'obtention de 300 à 500 minitubercules de calibre à 15 mm : le nombre de minitubercules obtenus dépend avant tout de la variété.

Toutefois, l'utilisation de minitubercules au départ de la filière de multiplication des plants de pommes de terre comporte certains inconvénients. Il y a le prix d'achat relativement élevé résultant de coûts de production importants (infrastructures, main d'œuvre, rendement faible). Un autre inconvénient est le risque sanitaire : en effet, la production de minitubercules dans un substrat organique (tourbe et terreau) induit le risque d'une infection provenant du substrat. On peut citer la gale commune (*Streptomyces* sp.), la gale poudreuse (*Spongospora subterranea* (Wallr) Johns.), la pourriture humide (*Erwinia* sp.), le rhizoctone (*Rhizoctonia solani* Kuhn), la fusariose (*Fusarium* sp.), etc.

Pour éviter ces défauts majeurs, nous avons mis au point un système de production utilisant l'hydroponie comme technique de base à la production de minitubercules possédant un calibre suffisant (> 10 mm - > 1,5 g) pour une utilisation aisée en plein champ.

Parmi les premiers essais de production de tubercules de pommes de terre par hydroponie, citons ceux de Houghland qui, en 1950, mit au point un système de production et la composition d'une solution nutritive adaptée à ce type de production. Boersig et Wagner (1988) ont quant à eux montré l'intérêt de l'utilisation de l'hydroponie (NFT) ou de l'aéroponie (ARM) pour la production de plants de pommes de terre. Wheeler *et al.* (1990), dans le cadre d'une étude réalisée pour la NASA, ont montré que la production de tubercules de pommes de terre était possible en utilisant la technique NFT. Wan *et al.* (1994) ont étudié les techniques visant à accroître le nombre de tubercules formés en hydroponie. Muro *et al.* (1997) ont comparé un système traditionnel de production utilisant un substrat composé de tourbe et de sable à une technique hydroponique utilisant la perlite comme substrat et différents types de solutions nutritives.

## 2. MATÉRIEL ET MÉTHODE

Le système hydroponique (Figure 2) choisi pour la production de minitubercules combine les techniques NFT (Nutrient Film Technique) pour la distribution de la solution nutritive et la technique de culture sur gravier (Gravel Culture) pour l'ancrage de la plante et la création d'une zone de tubérisation à l'extérieur de la solution.

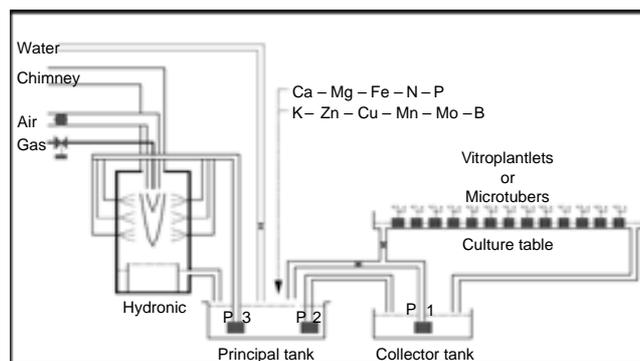


Figure 2. Système de culture hydroponique : schéma général — General outline of a hydroponic unit.

La solution nutritive est distribuée sur les tables de culture sous forme d'une lame de 1 à 1,5 cm d'épaisseur. Elle s'écoule librement sur les tables et retourne ensuite par gravité dans un réservoir collecteur d'où elle est pompée vers un système de désinfection à la chaleur (Hydronic RDSG 1636, Bougard Engineering). La composition de base de la solution (NPK mg/l 180-40-300) est donnée dans le tableau 1. Après un mois de culture, la composition est modifiée pour la moitié des tables du dispositif expérimental (60-150-300). Le pH de la solution est maintenu à 5,8 par addition d'acide sulfurique ou nitrique ou d'hydroxyde de potassium KOH. La conductivité de la solution est maintenue à 2,2 mSiemens/cm par ajout des engrais en proportion correspondante au type de solution. La composition de la solution est analysée une fois tous les 15 jours pour être remise à niveau si nécessaire.

Une distribution de la solution de type "marée haute/marée basse" a été adoptée parce que ce procédé a montré dans des expériences précédentes (Rolot, Seutin, 1999) qu'il était favorable à l'obtention d'un taux de multiplication plus élevé ; la solution est distribuée sur les tables par cycles de 12 heures, de midi à minuit.

Les plantes sont cultivées dans des containers individuels de 1,5 litre de volume (0,13 × 0,13 × 0,10 m). La dimension des containers est choisie sur base de résultats obtenus antérieurement (Rolot, Seutin, 1999) et montrant un net avantage de ce type de container par rapport à l'utilisation de containers de plus petit

Tableau 1. Composition des solutions nutritives (mg/l) à gauche et conductivité (mSiemens/cm) et pH à droite— Composition of the nutrient solution (mg/l).

N	P	K	Ca	Mg	Fe	Conductivité
180	40	300	200	50	3	2,2
60	150	300	200	50	3	1,8
Zn	Cu	Mo	Mn	B		pH
0,1	0,1	0,05	1	0,3		5,8
0,1	0,1	0,05	1	0,3		5,8

volume (taux de multiplication élevé, nombre de vitrotubercules utilisé par unité de surface faible). Les containers sont placés bord à bord sur des tables adaptées pour ce type de culture : la densité de plantes/m<sup>2</sup> est alors de 59.

Le substrat destiné à assurer l'ancrage des plantes et une zone de tubérisation à l'extérieur de la solution nutritive est composé par des billes d'argile expansée obtenues par traitement à la chaleur (granulés LIAPOR, OKOTAU GmbH). La dimension des billes d'argile, soit 4 à 8 mm, est choisie en fonction d'expérimentations précédentes (Rolot, Seutin, 1999) montrant un net avantage de ce diamètre par rapport à l'utilisation de billes d'argile concassées ou d'un diamètre plus faible, de 2 à 4 mm.

Des vitrotubercules de calibre 5/7 mm sont utilisés pour démarrer la culture. Les vitrotubercules ont été produits par initiation de la tubérisation sur vitroplantules : ces dernières sont placées à l'obscurité après enrichissement du milieu nutritif en sucres (80 mg/l), coumarine (25 mg/l) et kinétine (2,5 mg/l). La récolte manuelle des vitrotubercules s'est déroulée 8 semaines après le début de l'initiation. La germination a été préparée par stockage des vitrotubercules au froid à 3 °C durant 4 mois et ensuite par prégermination durant 4 semaines à 20 °C sous une photopériode 16 h/8 h. Le choix des vitrotubercules résulte également d'expériences antérieures (Rolot, non publié) montrant que l'utilisation de vitroplantules dans un substrat composé de billes d'argile de gros diamètre n'est pas recommandable en raison du stress lié au repiquage. De plus, les opérations de semis de microtubercules sont beaucoup plus faciles que le repiquage de vitroplantules.

Les variétés mises en expérimentation sont Gasore, Désirée, Kennebec, Bintje, Saturna et Spunta.

Le système expérimental (**Figure 3**) est constitué de 4 tables de culture contenant chacune 970 containers

représentant les 6 variétés soumises à l'expérimentation. Le dispositif expérimental est un split plot dont les grandes parcelles correspondent aux types de solutions nutritives apportées et les petites parcelles aux différentes variétés mises en essais. Les 2 types de solutions sont donc distribuées chacune sur 2 tables. Le nombre de répétitions est limité à 2 en raison du nombre de tables disponibles. La plantation et le défanage manuels ont été respectivement réalisés le 3 mars 1998 et le 30 juin 1998.

Les observations réalisées concernent le taux de multiplication global, le taux de multiplication pour les calibres > 10 mm dont le poids unitaire excède 1,5 g et pour les calibres > 15 mm dont le poids unitaire excède 5 g.

### 3. RÉSULTATS

Le taux de multiplication global mesuré par variété est semblable d'une répétition à l'autre et il est représentatif du potentiel de tubérisation des variétés. On distingue ainsi facilement, parmi les résultats donnés dans le **tableau 2**, **figure 4**, les variétés possédant une bonne capacité de tubérisation (Saturna, Bintje et Gasore, de 12 à 19 tubercules par plante) des variétés possédant une capacité moyenne (Désirée, Spunta, de 9 à 11 tubercules par plante) ou une capacité faible (Kennebec, de 6 à 10 tubercules par plante).

Quel que soit le type de solution nutritive adopté pour l'alimentation des plantes, le nombre de tubercules produit par unité de surface (m<sup>2</sup>) est avant tout fonction de la variété et varie dans notre expérience de 383 tubercules/m<sup>2</sup> (Kennebec, Bloc I, 180-40-300) à 1.121 tubercules/m<sup>2</sup> (Saturna, Bloc II, 60-150-300). Rapportées à l'ensemble des tubercules possédant un calibre supérieur à 10 mm, ces valeurs deviennent respectivement 224 minitubercules/m<sup>2</sup> et 779 minitubercules/m<sup>2</sup>.

BLOC I		BLOC II	
1	2	3	4
Kennebec (140)*	Kennebec (140)	Gasore (280)	Gasore (280)
Désirée (150)	Désirée (150)	Saturna (120)	Saturna (120)
Saturna (120)	Saturna (120)	Bintje (140)	Bintje (140)
Spunta (140)	Spunta (140)	Kennebec (140)	Kennebec (140)
Gasore (280)	Gasore (280)	Spunta (140)	Spunta (140)
Bintje (140)	Bintje (140)	Désirée (150)	Désirée (150)
(180–40–300)	(60–150–300)	(180–40–300)	(60–150–300)

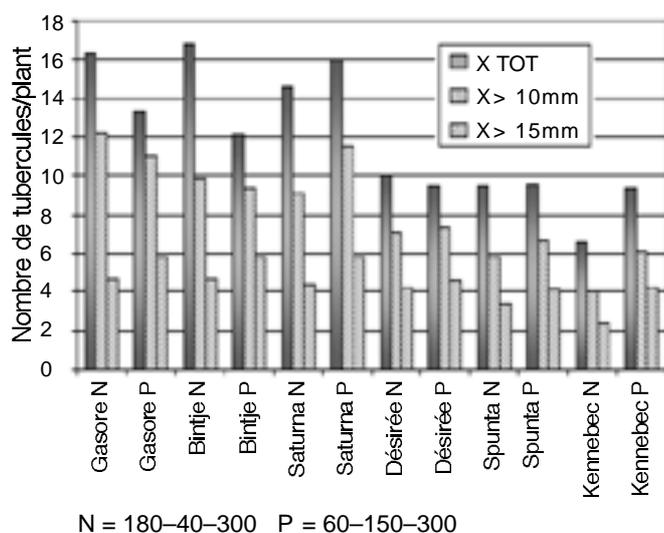
\* Le chiffre entre parenthèses indique le nombre de plantules cultivées dans cette sous-unité.

**Figure 3.** Schéma de l'essai — *Design of the experiment.*

**Tableau 2.** Taux de multiplication moyen par plante — *Average multiplication rate per plant.*

Variété	Bloc I			Bloc II		
	Taux multiplication			Taux multiplication		
	global <sup>(1)</sup>	>10mm <sup>(2)</sup>	>15mm <sup>(3)</sup>	global <sup>(1)</sup>	>10mm <sup>(2)</sup>	>15mm <sup>(3)</sup>
<b>Solution nutritive NPK 180–40–300</b>						
Gasore	16.0	12.2	4.6	16.6	12.3	4.8
Bintje	18.5	11.6	4.9	15.2	8.0	4.6
Saturna	16.7	10.0	5.1	12.5	8.2	3.7
Désirée	11.3	7.5	4.4	8.8	6.5	4.0
Spunta	9.2	5.4	3.0	9.8	6.3	3.9
Kennebec	6.5	3.8	2.2	6.8	4.3	2.5
<i>Moyenne</i>	13	8.4	4	11.6	7.6	3.9
<b>Solution nutritive NPK 60–150–300</b>						
Gasore	13.2	11.0	5.5	13.5	11.2	6.1
Bintje	12.7	8.9	4.8	11.5	10.0	6.9
Saturna	13.0	9.9	5.7	19.0	13.2	5.9
Désirée	8.8	7.1	5.1	10.3	7.5	4.2
Spunta	10.4	7.4	4.5	8.9	6.0	3.8
Kennebec	8.2	6.3	4.4	10.6	6.0	4.0
<i>Moyenne</i>	11	8.4	5.0	12.3	9.0	5.1

(<sup>1</sup>) taux de multiplication global = nombre total de minitubercules obtenus par plante ; (<sup>2</sup>) taux de multiplication > 10 mm = nombre de minitubercules de calibre >10 mm obtenus par plante ; (<sup>3</sup>) taux de multiplication > 15 mm = nombre de minitubercules de calibre >15 mm obtenus par plante.



**Figure 4.** Taux de multiplication obtenus pour les deux types de solutions — *Multiplication rate for the different solutions and varieties.*

L'analyse statistique (ANOVA, 3 critères) montre aussi que la composition des solutions n'influence pas le nombre total de minitubercules produits par plante ni le nombre de minitubercules d'un calibre supérieur à 10 mm. L'analyse révèle par contre un effet significatif de la solution enrichie en phosphore sur le nombre de minitubercules d'un calibre supérieur à 15 mm produits par plante.

#### 4. DISCUSSION

Le recours à l'hydroponie pour la production de minitubercules de pommes de terre a été envisagé comme alternative à la technique traditionnelle utilisant un mélange de tourbe et de terreau ou de sable. Les objectifs principaux sont un accroissement des garanties de qualité sanitaire de la production et une réduction des coûts de production.

Nous avons montré que l'hydroponie permet d'obtenir jusqu'à 19 tubercules en moyenne par plante, soit plus de 1100 minitubercules par m<sup>2</sup> de serre (var. Saturna, 60–150–300, tous calibres). Les résultats sont d'autant plus intéressants qu'ils sont obtenus au départ d'une réduction d'emploi de matériel d'origine *in vitro* de plus de 60 % si l'on se réfère à la technique traditionnelle de production employant jusqu'à 160 vitroplantules/m<sup>2</sup>.

Si on relève, dans chaque variété, le nombre de plantes dont le taux de multiplication est supérieur à la moyenne, on constate que le potentiel de production se situe au-delà de cette moyenne. Par exemple, 40 % des plantes de la variété Bintje (moy.=14), 35 % des plantes de la variété Saturna (moy.=15) et 24 % des plantes de la variété Gasore (moy.=14) ont produit plus de 21 tubercules/plante. L'adaptation de la densité à la variété devrait permettre des gains de productivité supplémentaires.

Les résultats obtenus montrent l'importance de la composition des solutions nutritives pour une production comportant un maximum de minitubercules d'un

calibre supérieur. L'enrichissement de la solution nutritive en phosphore est favorable à la production de tubercules d'un calibre supérieur à 15 mm.

La technique a été envisagée pour améliorer la garantie d'une production de haut niveau sanitaire. Sur ce point, les résultats obtenus dans notre expérience ont été convaincants. Les tubercules ne présentent aucun symptôme de maladie bactérienne ou fongique. L'absence d'infection des tubercules par les bactéries du genre *Erwinia* constitue un avantage important. Dans un tel système, le risque de la transmission d'une infection à l'ensemble des plantes est malgré tout important puisque les solutions nutritives circulent dans l'ensemble du système (Chat-Locussol *et al.*, 1998) : elles pourraient véhiculer facilement les agents pathogènes d'une plante à l'autre. Le système de thermodésinfection employé semble être efficace. D'autres procédés de désinfection seront testés dans des essais ultérieurs. Notons que l'utilisation des billes d'argile expansée à la chaleur (1100°C) comme support de culture (**Figure 5a**) de matériel d'origine *in vitro* et la désinfection à l'eau de Javel de l'ensemble du système hydroponique avant la mise en culture constituent les mesures de base visant à limiter les possibilités d'infection.

Les minitubercules produits ont l'avantage de présenter un épiderme propre sans salissures (**Figure 5b**).



**Figures 5a et b.** Croissance (var. Spunta) et tubérisation (var. Kennebec) en hydroponie — *Growth (var. Spunta) and tuberization (var. Kennebec) in hydropony.*

Les lenticelles ne sont pas ouvertes : le mode de production adopté (substrat grossier, tubérisation en dehors de la solution, marée haute/marée basse) permet une bonne aération de la zone de tubérisation.

Les minitubercules produits ont été conservés durant 8 mois à 3 °C sans aucune perte. Ils seront ensuite plantés en plein champ de manière à produire la première génération de tubercules de pré-base de plein champ (F2). Des essais réalisés antérieurement (Rolot, Seutin, 1999) n'ont montré aucune différence de comportement au champ entre les minitubercules d'origine hydroponique et les minitubercules produits dans des conditions classiques.

Si l'on se réfère à la méthode classique de production dans un substrat composé d'un mélange de tourbe et/ou de sable et/ou de terreau et réalisée au départ d'un repiquage de vitroplants à haute densité (jusqu'à 160 vitroplantules / m<sup>2</sup>), la méthode hydroponique évaluée dans cet essai comporte comme avantages :

- une économie de 60 % en matériel de plantation d'origine *in vitro* (59 vitrotubercules >> 160 vitroplantules) compensant largement le coût supplémentaire pour la production des vitrotubercules ;
- un accroissement sensible du nombre de minitubercules produits par unité de surface ;
- l'obtention, en proportion satisfaisante, de minitubercules possédant un calibre permettant une utilisation aisée en plein champ ;
- l'obtention de minitubercules dont les qualités sanitaires sont excellentes ;
- l'assurance d'une production facile à réaliser grâce à l'emploi de vitrotubercules (semis aisé, taux de reprise élevé > 95%) et à la possibilité d'automatiser complètement la gestion des solutions nutritives (composition, distribution) ;
- la possibilité de modifier facilement la composition des solutions nutritives de manière à promouvoir une production de qualité sur le plan économique et sanitaire.

### Bibliographie

- Ali A., Alam SMM., Machado VS. (1995). Potato minituber production from nodal cuttings compared to whole *in vitro* plantlets using low volume media in a greenhouse. *Potato Res.* **38**, p. 69–76.
- Boersig MR., Wagner SA. (1988). Hydroponic systems for production of seed tubers. *Am. Potato J.* **65**, p. 470–471.
- Chat-Locussol I., Petit O., Rat JC. (1998). Évaluation du risque pathologique lié aux supports de culture. *Phytoma-Défense Végétaux* **503**, p. 36–40.
- Houghland GVC. (1950). An improved technique for growing potatoes in solution cultures. *Am. Potato J.* **27**, p. 257–262.

- Jones ED. (1991). Progress in seed production technology. *Am. Potato J.* **68**, p. 247–248.
- Lommen WJM., Struik PC. (1992). Production of potato minitubers by repeated harvesting: effect of crop husbandry on yield parameters. *Potato Res.* **35**, p. 419–432.
- Muro J., Diaz V., Goni JL., Lamsfus C. (1997). Comparison of hydroponic culture and culture in a peat/sand mixture and the influence of nutrient solution and plant density on seed potato yields. *Potato Res.* **40**, p. 431–438.
- Ranalli P. (1997). Innovative propagation methods in seed tuber multiplication programmes. *Potato Res.* **40**, p. 439–453.
- Rolot JL., Seutin H. (1999). Soilless production of potato minitubers using an hydroponic technique. *Potato Res.* **42**, p. 457–469.
- Rossel G., De Bertholdi FG., Tizio R. (1987). *In vitro* mass tuberization as a contribution to potato micro-propagation. *Potato Res.* **30**, p. 111–116.
- Wan WY, Cao W., Tibbits TW (1994). Tuber initiation in hydroponically grown potatoes by alteration of solution pH. *HortScience* **29** (6), p. 621–623.
- Wheeler RM., Mackowiak CL., Sager JC., Knott WM., Hinkle CR. (1990). Potato growth and yield using nutrient film technique (NFT). *Am. Potato J.* **67**, p. 177–187.
- Wiersema SG. (1986). The effect of density on tuber yield in plants grown from true potato seed in beds during two contrasting seasons. *Am. Potato J.* **63**, p. 465–472.

(13 réf.)