



Voir aussi P. Rousselle, Y. Robert, J.-C. Crosnier.
La Pomme de Terre. 1996. 640 p. 370,00 F. Carroumé.
Edition INRA.
(production, amélioration, maladies et ravageurs, utilisation).

La pomme de terre

par Georges Ducreux, Line Rossignol et Martial Rossignol

Introduite en Europe au XVI^e siècle la pomme de terre a été progressivement modifiée pour répondre aux besoins de la culture à grande échelle. Aujourd'hui, il est de plus en plus difficile pour les « améliorateurs des plantes » d'arriver à obtenir de nouvelles variétés par les méthodes traditionnelles.

Une révolution est apportée depuis peu par la culture en « éprouvette ».

Cette technique permet de reproduire les variétés existantes à l'infini, en un temps record, ou encore de les guérir des maladies virales.

Elle offre aussi la possibilité de créer de nouvelles variétés. Verra-t-on bientôt sortir du laboratoire des pommes de terre plus productives plus résistantes au gel ?

L'origine de la pomme de terre se situe en Amérique du Sud, dans les hauts plateaux de la Cordillère Andes. D'après les documents géologiques et ethnographiques disponibles, les populations andines, au sud du Pérou et au nord de la Bolivie, ont commencé à consommer des pommes de terre vapes 3 à 4 000 ans avant notre ère. La domestication de la pomme de terre ne fut intervenue que beaucoup plus tard, pendant bien avant l'arrivée des Incas. La date, l'endroit, la manière et les objectifs de sa mise en culture sont autant de points inconnus.

L'introduction en Europe de la pomme de terre s'est faite depuis l'Amérique du Nord, peu après la conquête espagnole : elle est apparue en Espagne d'abord, vers 1500, puis un peu plus tardivement en France, à la fin du XVI^e siècle. Elle a ensuite été répandue, à l'occasion des guerres et des famines, à travers toute l'Europe pour gagner enfin le reste du monde. Fait assez insolite, les deux premières introductions en Amérique du Nord ont été faites non à partir de l'Amérique du Sud, mais de l'Europe : la première en Virginie en 1621 via les Bermudes, la deuxième dans le New Hampshire en 1719, probablement transportée par des immigrants écossais et irlandais (2).

ii) La pomme de terre est maintenant cultivée dans le monde entier, sa pénétration sur le vieux continent ne s'est pas toujours faite facilement, en raison notamment de la mauvaise réputation qui la accompagnait. Les préjugés populaires faisaient de la pomme de terre une nourriture bonne tout au mieux pour les animaux et les gueux. On ne réussit même à donner la lèpre ! Il faut toute la persuasion d'un Parmentier pour parvenir à populariser la pomme de terre en France à partir de la fin du XVIII^e siècle. En 1796, sa culture s'étendait sur 100 000 hectares ; un siècle plus tard, elle atteignait un maximum, avec 1 600 000 hectares de superficie. La pomme de terre

servait alors pour l'alimentation humaine et des animaux domestiques. Sa culture a ensuite connu une régression importante, quand les tubercules n'ont plus été employés pour la nourriture du bétail (remplacés par de la farine de céréales). La superficie cultivée était de 800 000 hectares en 1960. Elle n'est plus que de 200 à 250 000 ha actuellement. Même dans l'alimentation humaine, la pomme de terre a perdu la place prépondérante qu'elle occupait il y a encore 30 ans : on estime la consommation actuelle à 75 kg par personne et par an ; elle était le double après la Seconde Guerre mondiale. En effet, l'élévation du niveau de vie a transformé les habitudes alimentaires et la pomme de terre a cessé peu à peu d'être un aliment de base pour être utilisée de plus en plus comme un légume d'accompagnement.

La pomme de terre appartient à la famille des Solanacées qui réunit des espèces aussi variées que la tomate, le tabac, les piments et l'aubergine. La portion comestible de la pomme de terre est le tubercule. Ce dernier est formé par le renflement de tiges souterraines modifiées (ou stolons), dans lesquelles se sont accumulés des produits de réserve (fig. 3). Le tubercule est aussi un organe de propagation. La pomme de terre se reproduit en effet essentiellement par multiplication végétative, tout comme de nombreuses espèces végétales (fraisier, framboisier, etc.). C'est un mode de propagation qui ne fait pas intervenir la reproduction sexuée : à partir des tubercules se développent de nouvelles plantes strictement identiques d'un point de vue génétique à la plante mère (tous les individus nés d'un même organisme par voie végétative appartiennent à ce que l'on appelle un clone). Une fois récoltés, les tubercules sont en état de dormance ; au cours du stockage, ils subissent une évolution physiologique interne (phénomène d'incubation) qui influence à tout moment le devenir des germes provenant du développement des bourgeons situés au

niveau des « yeux » du tubercule⁽¹⁾. Ce dernier doit être planté à un stade précis de son développement⁽²⁾ pour que les germes se transforment en de jeunes plantes, susceptibles de donner ultérieurement des tubercules.

Un stock de départ très limité.

Les premières pommes de terre introduites en Europe, au XVI^e siècle, étaient mal adaptées à leurs nouvelles conditions climatiques. Elles appartenaient à la sous-espèce *andigena* de l'espèce *Solanum tuberosum* en provenance des hauts plateaux andins. Or cette sous-espèce ne forme des tubercules, de mauvaise conformation, qu'en période de jours courts. Transplantée sous nos climats, elle s'est révélée improductive pendant la période de croissance située, pour une grande part, durant les jours longs de l'été. La première amélioration apportée par l'homme a donc consisté à transformer les *S. t. ssp. andigena* en une autre sous-espèce appelée *Solanum tuberosum tuberosum* : plus précoce, elle tubérise pendant l'été lorsque les jours sont longs. Ce premier travail de sélection a abouti dès le milieu du XVIII^e siècle à une meilleure productivité et à l'essor de la pomme de terre à travers toute l'Europe : ce fut le début de sa culture à grande échelle.

L'histoire de la sélection de la pomme de terre a maintenant près de deux cents ans. Pendant toute cette période, on a fait appel aux méthodes traditionnelles, encore très largement utilisées aujourd'hui dans les programmes de sélectionneurs. Schématiquement, pour créer de nouvelles variétés, il faut croiser deux individus dans l'espoir d'obtenir des descendants réunissant, par exemple, les avantages des deux parents (voir « L'amélioration des plantes », *La Recherche*, n° 155, p. 752, mai 1985). Dans le cas de la pomme de terre, dont le mode de multiplication est, nous l'avons dit, essentiellement végétatif, le croisement de deux

Georges Ducreux et **Line Rossignol** sont tous les deux maîtres de conférences à l'université de Paris Sud (Orsay). Ils dirigent conjointement le laboratoire de morphogénèse végétale expérimentale associé au CNRS (Centre national de la recherche scientifique). **Martial Rossignol** est directeur de recherche de l'ORSTOM (Office de la recherche scientifique et technique d'outre-mer).

individus implique de recourir à la reproduction sexuée : il faut prélever le pollen d'une plante et le déposer sur le pistil d'une autre pour la féconder. Les graines, produits du croisement, sont ensuite semées ; seuls les descendants les plus performants sont sélectionnés pour constituer de nouvelles variétés⁽¹⁾. Les premiers efforts des sélectionneurs ont surtout porté sur le rendement et la résistance aux maladies. Tous les sélectionneurs ont en mémoire le mildiou, un champignon qui, échappé du Mexique, a envahi l'Europe vers 1845 provoquant une famine terrible en Irlande qui fit périr quelque 500 000 personnes⁽²⁾. A l'époque, des travaux d'hybridation intraspécifique avaient permis de combattre ce ravageur des cultures. Un peu plus tard, les premiers croisements interspécifiques ont pris place et, à partir de la seconde moitié du XIX^e siècle, on assista à une véritable fièvre de création de variétés. Toutes les variétés connues à ce jour ont été produites de cette façon.

En France, les principaux critères de sélection retenus en priorité ont été pendant longtemps la sensibilité aux maladies, le rendement et les qualités de présentation du tubercule (forme, grosseur, couleur de la peau et de la chair, profondeur des yeux...). D'autres paramètres ont été pris secondairement en compte tels que la précocité, l'aptitude à la conservation ou la robustesse aux chocs (lors des transports en particulier), les qualités gustatives et culinaires. Cette orientation a conduit dans notre pays à un type standardisé de tubercules de forme oblongue, à peau et à chair jaunes, alors qu'en Allemagne, par exemple, on préfère les tubercules plus arrondis et en Angleterre, ceux ovales, longs et à chair blanche.

Malheureusement, la sélection traditionnelle, telle qu'elle a été pratiquée pendant de longues années, présente de sérieuses limites. Elle est longue, demande un travail considérable et un encombrement en matériel végétal énorme. Quelques chiffres en témoignent. Il faut environ 100 000 hybrides pour avoir une chance d'obtenir une variété susceptible de présenter les caractéristiques requises. Pour cela, quelques dix années d'essais répétés sont nécessaires afin d'éliminer les descendants qui ne conviennent pas. Ainsi en France, dans les stations de création variétale — telles que l'INRA (Institut national de la recherche agronomique) à Landerneau dans le Nord Finistère, Unicopa-Clause (aujourd'hui Germicopa) à Chateaufort-du-Faou, la FSB (Fédération des Syndicats Bretons) à Kerloï en Plaudaniel, le Comité économique (CE) du Nord et celui du Centre et du Sud — il se fait chaque année à peu près 200 000 semis de graines hybrides. Huit à dix années de sélection sont ensuite nécessaires pour aboutir à la création d'une ou deux variétés. Après cette longue phase, qui se termine par l'inscription au catalogue d'une variété, dix années

s'écoulent encore pour que la dite variété soit commercialisée à grande échelle.

Le facteur temps constitue donc un handicap considérable. Mais il existe une autre limite à la sélection traditionnelle. C'est le nombre restreint de tubercules introduits en Europe, point de départ de la sélection. Le faible stock de tubercules importé des Andes appartenait à l'espèce *Solanum tuberosum*, alors qu'il existe en Amérique du Sud et au Mexique environ 150 espèces de *Solanum* tubéreuses. De plus, le matériel parvenu en Europe est resté pendant plus de deux cents ans dans un isolement absolu, totalement privé de contacts avec les espèces sauvages. Ces dernières maintiennent dans les Andes une variabilité naturelle et une certaine diversité génétique. Résultat : tout le travail de sélection s'est effectué à partir d'une base génétique très étroite. Aujourd'hui le réservoir des gènes étant encore limité en Europe, la création de variétés de pomme de terre se trouve plafonner. Il est peu probable que ce matériel, déjà très travaillé, aboutisse à de nouveaux produits. Cela explique, en partie qu'une variété comme la « Bintje », la plus cultivée en France (dans le Nord, elle représente encore 80 % de la production de pomme de terre de consommation), ait été créée il y a déjà très longtemps, en 1905. Dans d'autres pays, la situation est identique, mais avec des variétés différentes. Ainsi, en Grande-Bretagne, « Arran-Pilot » date de 1922 (50 % des primeurs), « Majestic » de 1912 et « King Edward » de 1902 (ces deux dernières représentent 75 % de la production de consommation). De même, en Amérique du Nord, la variété dominante « Russet burbank » (40 % de la production totale) a été sélectionnée en 1871.

A cette limite d'ordre génétique, s'ajoute la méfiance des consommateurs qui préfèrent souvent les variétés anciennes, bien connues, à des variétés nouvellement créées. La « Bintje », par exemple, est une variété difficile à détronner en raison de ses qualités : elle produit beaucoup, s'adapte facilement à différents milieux et convient bien à diverses préparations culinaires, ainsi qu'à la transformation industrielle (fig. 1).

Pourtant, la nécessité de créer de nouvelles variétés existe. Les sélectionneurs savent trop bien que les agents pathogènes évoluent pour s'adapter à la résistance d'une plante, parfois transmise après de longues années de sélection. La lutte contre les ravageurs est donc incessante pour tenter de conférer à de nouvelles variétés une meilleure résistance. Le développement de l'industrie des produits transformés, tels que les chips, les flocons, les purées et les potages déshydratés, impose la recherche d'aptitudes supplémentaires (haut contenu en matière sèche, bas contenu en sucres réducteurs, résistance à la décoloration) (voir encadré). La demande de plants pour l'exportation conduit également à la sélection de variétés plus rustiques pouvant subir des

conditions de conservation médiocres et s'adapter aux différents pays et climats. Enfin, même le consommateur évolue dans ses goûts et devient de plus en plus exigeant sur la qualité du produit.

Une première étape dans l'amélioration de la pomme de terre a été franchie lorsque l'intensification des échanges commerciaux a rompu l'isolement des variétés européennes. A partir de là, des hybridations avec des espèces tubéreuses sauvages ou primitives plus ou moins apparentées ont pu être réalisées pour enrichir le pool génétique des variétés cultivées. On peut dire que toutes les variétés actuellement inscrites au catalogue ont, dans leur ascendance, une ou deux espèces sauvages⁽³⁾. Les espèces sauvages ou primitives étaient récoltées dans les pays d'origine de la pomme de terre et croisées avec leurs congénères dans le but de transmettre à ces dernières des traits nouveaux. Les caractères généralement les plus recherchés sont des résistances ou, à défaut, des sensibilités moins grandes à des agents pathogènes ou à certaines conditions climatiques (sécheresse, froid, gel). A titre d'illustration, nous citerons un exemple parmi d'autres. Des chercheurs britanniques ont observé en 1983 que les feuilles d'une espèce sauvage de pomme de terre (*Solanum berthaultii*) synthétisaient un produit volatil ayant un effet répulsif sur les pucerons, principaux vecteurs de virus⁽⁴⁾. Des hybrides de l'espèce sauvage et de l'espèce cultivée de la pomme de terre ont été obtenus. Leurs feuilles semblent pouvoir synthétiser le produit. Il serait ainsi possible de protéger les variétés cultivées des attaques des pucerons et des maladies virales transmises par ces derniers.

Mais le croisement avec des espèces sauvages n'est pas sans poser de nombreux problèmes aux sélectionneurs. Ces pommes de terre sont en effet, dans la plupart des cas, diploïdes, c'est-à-dire que leurs cellules comportent 24 chromosomes répartis en deux jeux ($2x = 24$ chromosomes), alors que les variétés cultivées sont tétraploïdes ($4x = 48$ chromosomes répartis en 4 jeux) (fig. 2). Aussi, pour pouvoir utiliser les espèces sauvages diploïdes dans les programmes de sélection, les chercheurs américains ont été conduits à amener les variétés cultivées sur un pied d'égalité génétique (niveau diploïde). Ce résultat est obtenu par croisement d'une variété tétraploïde prise comme femelle avec une espèce diploïde particulière (*Solanum phureja*), utilisée comme parent mâle⁽⁵⁾. Un tel croisement a pour effet de conduire à un développement parthénogénétique de l'ovule de la variété tétraploïde : l'ovule n'est donc pas fécondé ; comme il possède uniquement les chromosomes d'origine maternelle, il donne naissance à un individu n'ayant que la moitié du stock de chromosomes de la variété (soit $2x = 24$ chromosomes). Les pommes de terre ainsi obtenues sont qualifiées de « dihaploïdes » (haploïdes de tétraploïdes). Dès lors, elles possèdent le

(1) P. Perennec et P. Madec, *Potato Res.*, 23, 183, 1980.

(2) P. Perennec, *Cultivar*, 188, 67, 1985.
(3) La pomme de terre française, 405, 189, 1981.

(4) J. Cheveaugeon, *Bull. Soc. Bot. Fr.*, 126, 21, 1979.

même nombre de chromosomes que les espèces diploïdes sauvages. Il devient ainsi possible de croiser la variété ramenée à l'état dihaploïde avec une espèce sauvage diploïde choisie pour les caractères intéressants qu'elle est susceptible d'apporter.

L'utilisation de ce procédé a réellement ouvert une nouvelle voie dans l'amélioration de la pomme de terre. La structure diploïde permet, en effet, d'explorer plus rapidement la variabilité et la sélection est, de ce fait, plus aisée. Quand on arrive par croisement à obtenir un sujet intéressant, il convient ensuite de le faire revenir, par divers procédés, à la structure tétraploïde qui est l'état pour lequel la pomme de terre paraît le mieux adaptée. Il lui confère en effet une productivité et une vigueur meilleures. Cette méthode séduisante est actuellement en cours d'application. Elle n'a pas encore conduit, à notre connaissance, à la création de nouvelles variétés commercialisées, mais cela devrait aboutir dans un avenir proche.

Le recours aux espèces sauvages pour élargir le pool génétique a par ailleurs abouti à la création de collections ou banques de gènes. Ces collections sont formées d'un grand nombre d'espèces et de variétés dans lesquelles les sélectionneurs peuvent puiser pour maintenir une diversité génétique au sein des plantes cultivées. La plus importante collection est celle du Centre international de la pomme de terre (CIP) situé au Pérou. Mais il en existe d'autres un peu partout dans le monde, notamment aux États-Unis, en Grande-Bretagne et en Union soviétique.

En France, l'INRA à Landerneau, dans le nord du Finistère, entretient une collection de nombreuses variétés et espèces.

L'introduction des espèces sauvages dans les programmes de sélection a donc constitué un progrès indéniable pour l'amélioration de la pomme de terre. Mais elle reste sans commune mesure avec la véritable révolution apportée depuis peu par les techniques de multiplication en éprouvette (voir « La multiplication des plantes en éprouvette », *La Recherche*, n°160, p. 1363, novembre 1984).

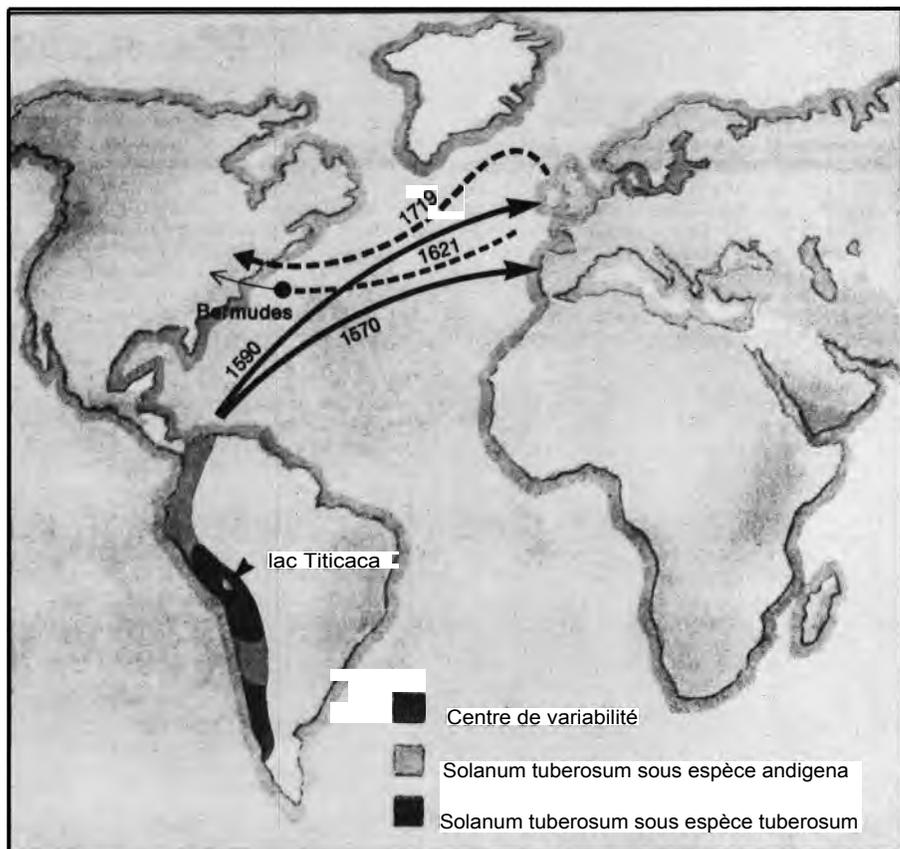
La « Belle de Fontenay » sauvée.

La culture des plantes en éprouvette, ou *in vitro*, a débuté après la Seconde Guerre mondiale. En 1952, à la suite des travaux de différentes équipes. G. Morel et C. Martin de l'INRA, obtenaient, pour la première fois, le développement d'une plante entière (un dahlia) à partir d'un méristème mis en culture". L'idée, à l'époque, était de vérifier que le méristème, un petit massif de cellules à l'origine de tous les organes de la plante (tiges, feuilles, racines, etc.) reste généralement indemne de toute contamination virale. De fait, lorsqu'il est prélevé sur une plante malade, il donne naissance *in vitro* à un individu parfaitement sain. Autrement dit, le passage par le méristème permet de « guérir » une plante malade.

Ce résultat s'est révélé particulièrement intéressant pour des espèces qui, comme la pomme de terre, se reproduisent naturellement par multiplication végétative. Dans ce cas, en effet, le fait de

choisir par erreur une plante mère malade „dont les tubercules sont contaminés, condamne toute la descendance. Ainsi, au fil des cycles successifs, la transmission par le tubercule de diverses maladies entraîne une dégénérescence des clones et une baisse importante de la productivité. Cependant, la plupart des virus ne sont pas transmissibles par la graine. Aussi, dès que les cultures accusaient une baisse de rendement, pour effacer celle-ci, les producteurs, pendant longtemps, ont pris pour habitude d'utiliser le passage par les graines de la plante. Parmi les méthodes employées ensuite pour lutter contre les maladies virales, la plus valable est la *sélection sanitaire clonale* qui a débuté en France en 1921^m. Elle consiste à choisir comme matériel de départ des tubercules rigoureusement sains. A partir de chaque tubercule identifié sain, on effectue une « filiation », par cycles successifs de multiplication végétative et, chaque fois que, dans la filiation, on observe une descendance contaminée, la famille est éliminée dans sa totalité. Cette méthode suppose l'application rigoureuse d'un certain nombre de principes (élimination régulière des pieds malades ou suspects, suppression de la prolifération des insectes vecteurs (pucerons notamment), isolement des cultures de tout foyer de contamination et contrôles stricts des tubercules...). Elle nécessite aussi d'être pratiquée dans des milieux naturels où les populations de pucerons sont les plus faibles possible. Mais, une fois ces conditions respectées, elle donne des résultats indéniables, surtout pour les

Figure 2. L'origine de la pomme de terre se situe en Amérique du Sud, sur les hauts plateaux des Andes. Elle a été introduite en Europe au cours de la seconde moitié du XVI^e siècle, peu après la conquête espagnole. Il semble qu'elle soit apparue d'abord en Espagne vers 1570 puis un peu plus tardivement en Irlande. Elle n'est parvenue en Amérique du Nord que beaucoup plus tard (d'abord en 1621 puis en 1719), non à partir de l'Amérique du Sud mais de l'Europe. Toutes les pommes de terre cultivées sont tétraploïdes, c'est-à-dire qu'elles possèdent dans leurs cellules 48 chromosomes répartis en quatre jeux (4x). Selon certains auteurs, elles dérivent d'une espèce primitive diploïde (2x=24 chromosomes) : *Solanum stenotomum*. Les tétraploïdes étant à la fois plus vigoureuses et plus productives, elles ont progressivement éliminé les divers autres degrés de **ploidie**, sauf dans certaines localités des Andes. Ces tétraploïdes font partie de l'espèce *Solanum tuberosum*, sous-espèce *andigena*. Au Chili, des tétraploïdes adaptées aux hautes altitudes ont formé une deuxième sous-espèce : *Solanum tuberosum* ssp. *tuberosum*. Plusieurs arguments permettent de penser que les premières pommes de terre qui sont parvenues en Europe étaient des *andigena*. La sélection exercée par l'homme a ensuite transformé les *andigena* en *tuberosum*, mieux adaptées aux conditions climatiques du vieux continent. En Europe, la pomme de terre s'est donc propagée à partir d'un nombre restreint de tubercules appartenant à l'espèce *Solanum tuberosum*. En Amérique du Sud et au Mexique, il existe près de 150 espèces tubéreuses de *Solanum* qui maintiennent dans ces régions une variabilité et une diversité génétique. Aujourd'hui, les sélectionneurs utilisent ces espèces sauvages ou primitives pour enrichir les variétés cultivées peu diversifiées.



(5) P. Perennec. *Le sélectionneur français*, 30, 13, 1982. R.W. Gibson et J.A. Pickett. *Nature*, 302, 608, 1983. (7) R.W. Hougas. *S.J. Peloquin Am. Potato* 35, 701, 195 (8) G. Morel et C. R. Acad. Paris, 225, 1324, 1952. (9) *La pomme de terre française* 393, 191. (10) *La pomme de terre française* 400, 223. 410 23, 1982

virus à symptômes légers (virus X et S). Grâce à cela, la France a pu se situer parmi les premiers producteurs de plants sains de pommes de terre. Ajoutons que la mise au point du test « ELISA »⁽¹¹⁾ (un test sérologique qui utilise la réaction antigène-anticorps, couplée à une réaction enzymatique) permet désormais un diagnostic très précis et très rapide des maladies virales. Il est maintenant utilisé à grande échelle pour détecter la présence de virus dans les champs de pommes de terre.

La culture *in vitro* est venue apporter une solution élégante à l'éradication rapide des virus. Appliquée pour la première fois à la pomme de terre en 1968 par G. Morel, Cl. Martin et F. Mueller, elle a permis l'obtention de plantes par culture d'apex (méristèmes avec quelques ébauches foliaires)⁽¹²⁾. Ces apex provenaient de germes de tubercules maintenus à l'obscurité sous une forte température (37°, 38°) afin d'augmenter les chances d'éliminer les virus. La première variété guérie par ce procédé a été la « Belle de Fontenay », qui était pourtant condamnée à disparaître tellement son état sanitaire était mauvais. Depuis, de nombreux chercheurs ont essayé d'éliminer les agents pathogènes de la pomme de terre en employant séparément ou conjointement la culture d'apex et la **thermothérapie**, selon des procédés différents de celui décrit⁽¹³⁾. Nous-mêmes, avons choisi d'utiliser ces techniques, et pour une meilleure efficacité, de les appliquer sur du matériel multiplié *in vitro* (fig. 4). Nous y reviendrons.

Ainsi dispose-t-on au laboratoire de techniques simples et efficaces d'élimination des virus. Mais une fois guérie, la

plante n'est pas immunisée pour autant contre le parasite dont elle a été débarrassée. Elle est même devenue très sensible à toute infection virale et les risques sont grands de voir survenir une nouvelle contamination lors de la transplantation de la plante au champ. Comment alors éviter ou limiter les attaques virales ? Une seule solution : conserver les plantes dans un local à l'abri des contaminations. *A priori*, cette solution n'était guère envisageable en raison de difficultés évidemment pratiques. Mais la découverte fortuite de la remarquable capacité de multiplication des plantes en éprouvette a bouleversé la situation. Peu après avoir guéri la première plante obtenue *in vitro*, G. Morel et C. Martin s'apercevaient, en effet, que des individus produits à partir d'apex pouvaient être fragmentés en **microboutures** puis repiqués dans un milieu de culture où ils donnaient naissance à de petites plantes, qui en fournissaient ensuite plusieurs par bouturage ; etc. Un clone de plantes toutes identiques à la plante mère était ainsi créé (voir « La culture des plantes en éprouvette », *La Recherche*, n°160, p. 1363, 1984). A partir de là, il devenait possible de conserver en tubes les descendants d'une plante mère guérie, dans un état sanitaire satisfaisant. Mais cette méthode a surtout eu un prolongement spectaculaire car les chercheurs se sont rapidement aperçus qu'elle permettait de multiplier pratiquement à l'infini et de façon accélérée un matériel conforme génétiquement à la plante de départ. Ce matériel est en outre « rajeuni », donc physiologiquement plus homogène⁽¹⁴⁾.

la sécheresse de 1976 :
point de départ de la culture en éprouvette à grande échelle.

La méthode est aujourd'hui adaptée à différentes espèces d'un intérêt agricole. Dans le cas de la pomme de terre, sa mise au point a débuté dès 1973 dans notre laboratoire, alors dirigé par le professeur Nozeran⁽¹⁴⁾. Sans entrer ici dans le détail de la technique, résumée dans la figure 5, disons rapidement que la multiplication se fait à partir de germes prélevés sur un tubercule. Après stérilisation, les germes sont sélectionnés en fragments comportant chacun une bouture (un nœud muni d'un bourgeon). Mis en culture, les bourgeons donnent naissance à de petites plantes, elles-mêmes fragmentées. Finalement, après un certain nombre d'étapes, comportant notamment une phase de sevrage, des plantes robustes sont obtenues dans des petits cubes de terre riche, appelés presse-mottes. Elles sont placées dans une serre pourvue d'un filet anti-puceron (serre « insect-proof »). Les tubercules récoltés sont ensuite mis en champ⁽¹⁵⁾.

On peut s'interroger sur la nécessité de passer par la culture *in vitro* pour multiplier un végétal possédant un organe de propagation végétative fort commode comme le tubercule. Les performances des différents procédés sont, en réalité, sans aucune commune mesure : un tubercule produit en une récolte, c'est-à-dire en une année sous nos climats, environ dix tubercules en revanche une plante issue de culture *in vitro* produit par mois en moyenne sept nœuds, susceptibles de donner autant de petites plantes. Même en plaçant dans les plus mauvaises conditions, c'est-à-dire avec un coefficient de multiplication de cinq seulement par nœud, il serait théoriquement possible de fournir 250 millions de boutures en une seule année. Sans trop rêver, il est raisonnable d'estimer que, en opérant ainsi, on obtient en huit mois, à partir d'un nœud, environ deux millions de boutures permettant la plantation de 40 hectares. Par comparaison, il faut sept à huit ans pour aboutir au même résultat avec le mode habituel de propagation. Si, en outre, le matériel de départ a été préparé sur un tubercule dont on s'est assuré préalablement du parfait état sanitaire, la technique de multiplication accélérée se compare avec le maximum de sécurité sanitaire en particulier à l'abri des infections latentes. Les plants de base obtenus sont bien sûr aussi indemnes d'agents pathogènes que le tubercule de départ. Seulement, le passage au champ présente des risques de contamination. Mais la réduction du nombre de ces passages par rapport à ceux effectués en multiplication végétative classique diminue d'autant les risques. Dans le cas d'un matériel de départ contaminé, la contamination persiste chez les plantes multipliées *in vitro*. La thermothérapie appliquée à ces plantes ou à leurs tubercules, associée ou non à la culture

(11) G. Morel, C. Martin.

J.F. Mueller, *Ann. Physiol. Veg.*, /0, 112, 1968.

(12) F. Quak et al., in *Applied and fundamental aspects of plant cell, tissue and organe culture*,

J. Reinert et V.P.S. Bajaj (eds), Springer Verlag, 1977, p. 598 et p. 616.

(13) R. Nozeran et al., *Bull. Soc. Bot. Fr.*, 129, 107, 1982.

(14) R. Nozeran et al., *C.R. Acad. Sci. Paris*, 285, 37, 1977.

(15) L. Rossignol-Bancilhon et al., *Réunion Eucarpia CNRS Versailles*, 1980, p. 62.

L'INDUSTRIE DE LA POMME DE TERRE

Les premiers industriels de la pomme de terre furent sans doute les Indiens des Andes, comme le constatèrent au XVI^e siècle les Espagnols qui découvrirent le Pérou. Ils avaient mis au point deux modes de conservation : les tubercules étaient exposés la nuit au froid glacial régnant sur les hautes terres de la Cordillère et se trouvaient en quelque sorte surgelés. Ils pouvaient aussi être déshydratés au soleil et au vent et devenaient imputrescibles pour les consommer, il suffisait de les faire tremper dans l'eau comme des légumes secs. Aujourd'hui dans l'industrie de la pomme de terre, si les techniques ont évolué, les principes sont restés les mêmes : frites surgelées et purées déshydratées, auxquelles se sont ajoutées d'autres formes de conservation, par friture et cuisson-extrusion.

La pomme de terre sert aussi de matière première à d'autres transformations industrielles, en particulier à partir d'un de ses éléments, l'amidon, également appelé féculé. Facile à extraire et à purifier, l'amidon est utilisé tel quel ou **dépolymérisé** sous forme de dextrine (« amidon modifié ») dans diverses industries alimentaires : comme substitut de farine pour alléger les pâtes dans la biscuiterie, la biscotterie, la pâtisserie ; comme épaississant et stabilisant dans les entremets glacés, les potages, les sauces. Enfin, les eaux de vie, comme la vodka ou l'aquavit, sont des alcools de féculé de pomme de terre. Dans l'industrie pharmaceutique, la féculé sert souvent d'excipient q.s. pour les cachets et les comprimés.

L'amidon peut également subir des traite-

ments physiques ou chimiques, qui permettent son emploi dans de nombreuses branches de l'industrie. Traité par l'eau chaude, il donne l'empois, ou gel d'amidon, qui sert dans la blanchisserie pour emperer les vêtements et le linge, dans le textile pour donner de l'apprêt aux tissus. Présenté en paillettes d'amidons gonflants ou pré-gélatinisés, l'empois est utilisé dans la fabrication des pâtes à papier, la fabrication du papier couché, de papier kraft, dans la cartonnerie, dans l'industrie du contreplaqué et des panneaux agglomérés. L'empois sert aussi, comme agent flocculant, dans les mines de potasse, dans les forages pétroliers. On le trouve, enfin, employé en quantités faibles mais nécessaires, dans toutes sortes d'industries, depuis les allumettes, le cirage, la ficelle, le caoutchouc jusqu'à la photographie ou les feutres pour chapeaux. Les modifications chimiques de l'amidon fournissent d'autres possibilités encore. On peut citer l'éthérisation, qui produit des **polyéthers** pour la fabrication des mousses de polyuréthane ou l'action de la soude, qui donne du xanthate d'amidon, employé dans le traitement des eaux usées pour piéger les métaux lourds (cuivre, nickel) ou comme flocculant sélectif pour récupérer le vanadium dans la métallurgie du plomb et du cuivre.

La transformation industrielle de la pomme de terre ne concerne toutefois que 10 % de la production en France, alors qu'elle est de 50 % aux Etats-Unis.

Pernette Langley-Danys

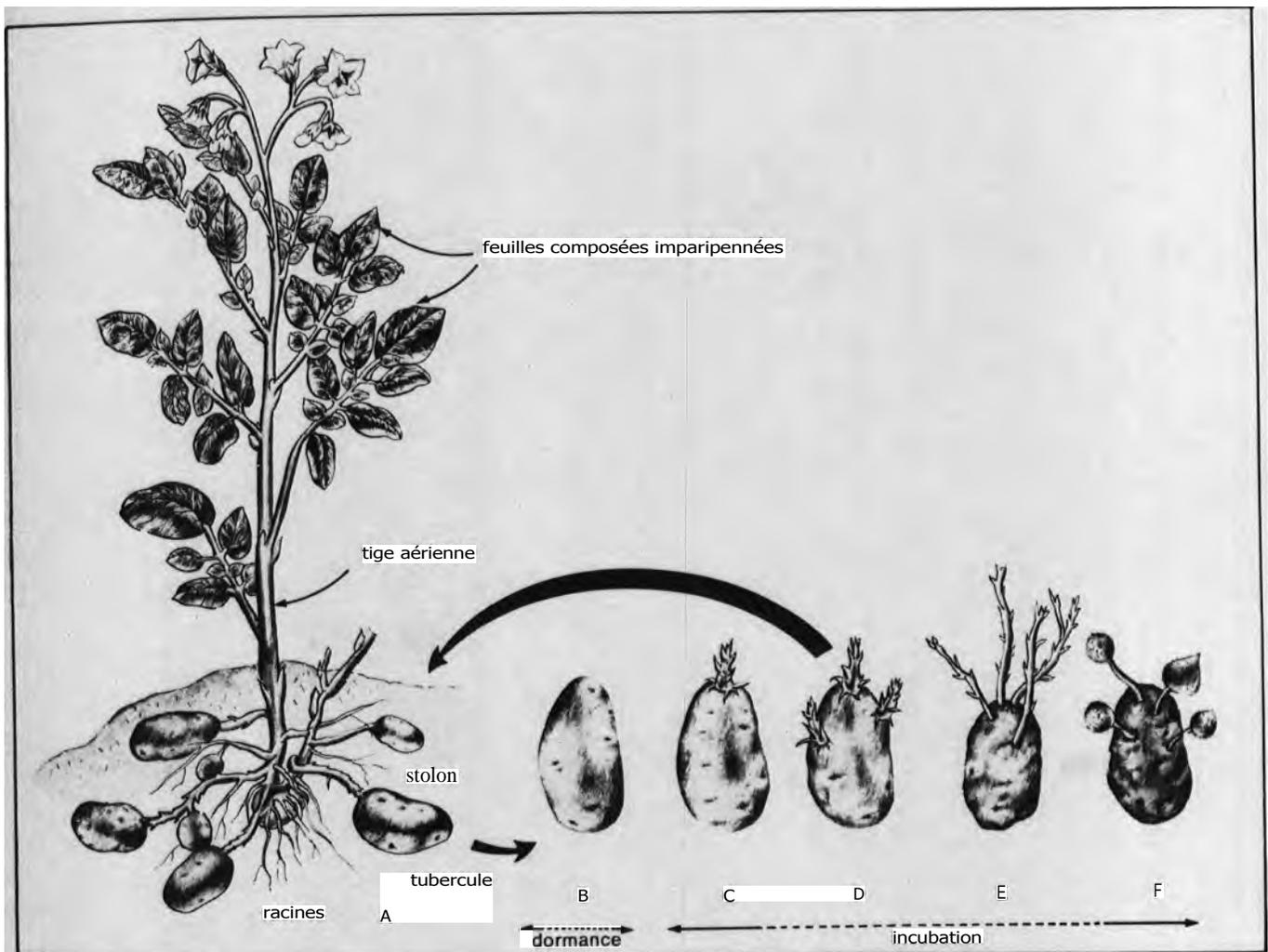


Figure 3. La pomme de terre cultivée dans nos régions se propage normalement par multiplication végétative. Ce mode de reproduction asexuée s'effectue à partir du tubercule qui provient du renflement d'extrémités de tiges souterraines modifiées, ou stolons (A). Le nombre de stolons, donc de tubercules, peut être augmenté par l'opération de buttage qui consiste à faire un amas de terre au pied de la plante, lequel a pour autre intérêt d'éviter le verdissement des tubercules. Une fois récoltés, les tubercules sont d'abord en état de dormance (B). Au cours du stockage, ils subissent une évolution physiologique interne (phénomène d'incubation) qui influence à tout moment le devenir des germes issus des bourgeons situés au niveau des yeux du tubercule : un seul germe se développe (C), puis trois ou quatre (D), stade auquel le tubercule est généralement planté. Avec la poursuite de l'incubation, un nombre de plus en plus élevé de germes par tubercule démarrent ; ils s'allongent et se ramifient (E) puis tubérisent (F). Une fois les tubercules mis en terre, au stade physiologique adéquat, leurs germes se transforment en tiges herbacées, pourvues de feuilles composées imparipennées. Les bourgeons axillaires aériens peuvent se développer en rameaux qui, comme l'axe principal, sont capables de porter des fleurs chez certaines variétés. Les bourgeons souterrains produisent des stolons qui se ramifient et forment à leurs extrémités des tubercules.

d'apex ou au **microgreffage**, permet d'assainir le matériel (fig. 4).

Cette méthode de multiplication végétative *in vitro* permet donc, d'une part, la propagation accélérée et conforme du matériel de départ et, d'autre part, l'élimination de virus. Bien que nous l'ayons mise au point dès 1973, les producteurs de plants de pomme de terre n'ont pas vu tout de suite l'intérêt qu'ils pourraient en tirer. Son application à grande échelle s'est faite à la faveur d'un événement particulier : la sécheresse de 1976 qui fournit les conditions écologiques favorables à une pullulation de pucerons porteurs de virus. Une extension des maladies virales submergeant les dispositifs de protection s'ensuit, aux conséquences catastrophiques pour la production de tubercules de semences. A l'époque, les établissements Clause et la Fédération nationale des producteurs de plants de pomme de terre (FNPPPT) se sont intéressés à notre méthode

et ont décidé de l'expérimenter sur une plus grande échelle, ce qui a été effectué en 1976-1977. Le résultat a clairement montré son utilité, moyennant quelques ajustements : après les ravages de 1976, tous les tubercules de l'année suivante issus de la culture *in vitro* se sont révélés parfaitement sains⁽¹⁵⁾. Depuis cette date, la France s'est dotée d'un ensemble d'installations, notamment à Hanvec en Bretagne, qui permettent de recourir aux méthodes *in vitro* dès que l'état sanitaire des tubercules devient défectueux. Les semenciers peuvent ainsi se dégager, pour une large part, des contingences écologiques. Le procédé est également largement utilisé pour le lancement de variétés nouvelles. Celles-ci sont encore exclusivement créées (tout au moins en Europe) par les voies classiques de la sélection, mais la rapidité et la puissance de la multiplication *in vitro* autorise leur mise sur le marché dans des délais extrêmement

courts. Cette méthode est également en cours d'adaptation dans différents pays, dont des pays en voie de développement, comme le Viêt-nam, Cuba ou l'Algérie.

Les collections de plantes ont aussi bénéficié des avantages de cette méthode qui permet de stocker, dans un espace restreint, un grand nombre de variétés ou d'espèces. Pour chacune d'entre elles quelques individus en tubes suffisent. Lorsque cela est nécessaire, ces individus peuvent produire, en un temps très court, une quantité importante de plantes.

Reste un inconvénient qui dérive de l'efficacité même de la technique. Le rythme étant très rapide, les repiquages doivent être très fréquents (tous les 45 jours). Pour tourner cette difficulté, il faut réduire, voire même supprimer la croissance et le développement des plantes en tubes. Plusieurs traitements permettent d'aboutir à ce résultat : la culture des noeuds munis de bourgeons en atmo-

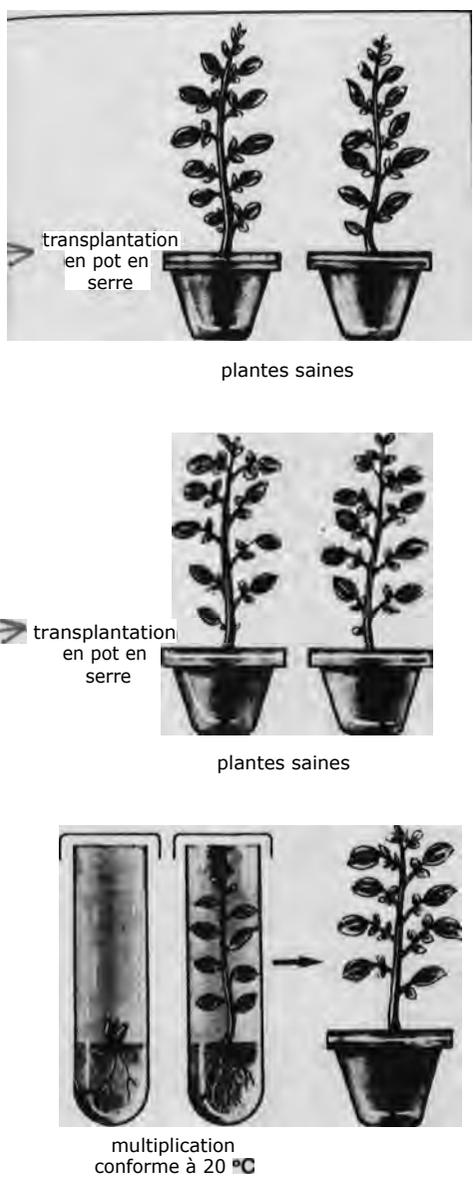


Figure 4. Dans le cas de la pomme de terre qui se reproduit naturellement par multiplication végétative, les tubercules d'une plante envahie par un virus sont contaminés et condamnent la descendance. Cette contamination persiste chez les plantes issues de culture *in vitro* par bouturages successifs de noeuds (fig. 5). L'action de la chaleur peut à elle seule éliminer certains virus. Par exemple en plaçant de jeunes individus en tubes durant 3 mois dans une enceinte éclairée maintenue à 36° C, on peut facilement se débarrasser de virus comme le virus Y ou celui de l'enroulement (PLRV) (A). Cependant, chez certaines variétés, ce traitement thermo-thérapique a dû être fractionné pour ne pas tuer les plantes. Chez d'autres, il s'est montré plus efficace lorsqu'il est pratiqué sur de jeunes tubercules (B). Pour certains virus, tels que X ou S, la thermo-thérapie seule reste sans effet. Une autre méthode est possible : on sait en effet que le méristème apical — un petit massif de cellules situé à l'extrémité des tiges qui assure la croissance de la plante et donne naissance à ses différents organes — reste généralement indemne de toute contamination. Prélevé sur une plante malade, il peut donner une nouvelle plante parfaitement saine. Dans la pratique, on prélève l'apex (C) (qui comprend le méristème apical et quelques ébauches foliaires) sur de jeunes individus en tubes avant subi une thermo-thérapie préalable de 8 à 15 jours (C). Le greffage de ces apex sur des portions de tiges enracinées (D) provenant de plantes saines produites *in vitro* amène un développement plus rapide des jeunes plantes. Les plantes guéries sont ensuite multipliées selon la méthode décrite dans la figure 5.

obtenu des plantes dont le rendement en tubercules était significativement plus important. D'autres résultats concernaient le caractère précoce ou tardif de la tubérisation. Enfin, nous avons également produit par cette méthode des clones ayant une sensibilité moindre à certains champignons, comme le mildiou ou le *Verucillium*. Bien entendu, ces modifications ne sont exploitables que dans la mesure où nous pouvons vérifier qu'elles restent stables lorsqu'elles sont transmises végétativement aux générations suivantes.

Aussi, pour pouvoir apprécier la stabilité éventuelle des clones néoformés, nous avons conduit des essais expérimentaux dans des conditions agronomiques réelles ou proches de la réalité, entre 1981 et 1984. Ces analyses ont été effectuées le plus possible à l'abri des contaminations virales, pour éviter une interférence éventuelle avec les modifications qu'entraînerait l'intervention d'un ou plusieurs virus. Les deux premières années, les essais ont été menés à Orsay et à Hanvec en Bretagne. Ils nous ont permis de conclure à la stabilité de la plupart des variations apparues au cours des quatre cycles végétatifs successifs étudiés. Ces résultats confirment d'ailleurs l'essentiel de ceux obtenus par J.F. Shepard à une plus grande échelle à partir de clones issus de **protoplastes**. Le groupe de Shepard travaille sur la variété Russet-burbank et a montré l'existence de fréquents changements morphologiques et physiologiques stables et, plus rarement d'une moindre sensibilité ou d'une résistance à certaines maladies fongiques (mildiou, alternariose). Parallèlement à ces essais, nous avons continué à produire d'autres clones qui,

après un nouveau tri, ont fait l'objet d'expérimentations en 1983 et 1984 en Bretagne.

Les résultats obtenus à ce jour, en particulier par l'équipe de J.F. Shepard et notre laboratoire, indiquent par conséquent que les techniques de culture *in vitro* constituent une voie originale pour l'amélioration de la pomme de terre. Plus précisément, elles peuvent être envisagées non pour créer une variété totalement nouvelle, mais plutôt pour corriger certaines faiblesses chez des variétés déjà existantes. Cependant, à l'heure actuelle, aucun des résultats obtenus par cette voie n'est passé dans la pratique agronomique, ceci en France comme à l'étranger. (Une **Eersteling** à peau rouge et une Désirée à peau blanche sont cependant issues de variations somoclonales apparues de façon spontanée — et non induites par les techniques de culture —, lors de la multiplication en tubes de ces variétés). Certains problèmes concernant la variation somoclonale induite subsistent. Nous avons ainsi constaté que l'apparition d'une résistance aux parasites est parfois associée à des modifications morphologiques ou physiologiques défavorables, telle qu'une baisse de rendement. Dans ce cas, le recours au génie génétique permettra sans doute à l'avenir le transfert direct des seules variations intéressantes, en « greffant » à une plante le ou les gènes concernés isolés.

Des erreurs à l'origine des variations.

L'origine des variations produites en cultures *in vitro* a naturellement préoccupé les expérimentateurs. De nombreux travaux, notamment ceux du groupe américain de J.F. Shepard, ont montré que les caractéristiques génétiques — le génotype — de la plante jouent un rôle important. Ainsi, l'utilisation de variétés comme la « Russet-burbank » ou la « Maris Piper », surtout cultivées aux États-Unis pour la première et en Grande-Bretagne pour la seconde, a abouti à d'intéressantes variations avec la technique de culture de protoplastes. En revanche, d'autres variétés, analysées par les mêmes chercheurs (comme la « Bison » nord-américaine, à tubercules à peau rouge) se sont révélées relativement réfractaires à l'application de ce procédé. La variété « BF₁ », qui a servi de support à nos travaux, permet d'obtenir, à partir de protoplastes, des cals ayant une bonne aptitude à la néoformation. Mais là encore le génotype intervient, puisque les dihaploïdes répondent mieux à cette technique que les tétraploïdes.

Il est donc possible que le génotype des plantes étudiées influence la fréquence et les types de variations. Mais à quoi sont dues ces variations ? Si elles résultent de différences génétiques déjà présentes chez les plantes, ces différences pourraient être révélées par les conditions de culture. De plus, il est clair que les processus de culture sont eux-mêmes

in vitro. La comparaison des clones néoformés issus de cals provenant d'explants divers et de protoplastes est en cours de réalisation.

Les nombreux clones obtenus par la première méthode citée (cals issus de fragments de plantes) ont été l'objet d'un premier tri en laboratoire pour éliminer les plus aberrants. Les autres ont servi à la préparation de boutures en presse-mottes, utilisées pour des essais préliminaires en conditions non contrôlées à Orsay en 1979, puis contrôlées au Phytotron de Gif-sur-Yvette un an plus tard (dans le premier cas, les paramètres du milieu — température, humidité, lumière, etc. — n'étaient pas imposés ; ils l'étaient dans le second cas). Diverses modifications morphologiques ont été observées. Elles portaient sur l'appareil aérien et souterrain, sur la physiologie (précocités ou tardivités particulières, potentialités différentes de floraison ou de tubérisation) et même sur la phytopathologie. Parmi les caractéristiques les plus intéressantes, nous avons

à l'origine de modifications. Dans l'état actuel des connaissances, il est difficile de savoir si l'un ou l'autre des phénomènes est à lui seul responsable des variations obtenues. On peut également imaginer qu'ils agissent conjointement. Ce qui est sûr, c'est que la néoformation des plantes passe par la production d'un cal, résultat d'une perturbation cellulaire extrêmement importante. Cette phase anarchique constituerait un choc pour la cellule qui favoriserait l'apparition d'« erreurs », à l'origine des variations observées. En règle générale, le pourcentage de variations est d'autant plus important que la phase cal a été prolongée, confirmant l'importance de cette étape dans leur apparition⁽¹⁸⁾.

Ceci nous amène à poser une question fondamentale : quelles sont les « erreurs » qui sous-tendent les variations observées ? Autrement dit, quelle est la source de la variabilité induite par les techniques de culture *in vitro* ? Force nous est de dire que l'on en est encore au stade des hypothèses. Deux voies de recherches sont actuellement explorées. En premier lieu, des modifications portant sur le nombre de chromosomes ou leur structure (délétions, translocations, inversions, etc.) ont été mises en évidence dans les cellules des plantes néoformées. Les travaux récents du groupe de K.S. Ramulu sur la variété « Bintje » montrent en particulier la présence de nombreux accidents génétiques — tels que la polyploidie ou l'aneuploidie (gain ou perte de chromosomes) — qui se produisent dès les premiers stades du développement des protoplastes jusqu'à la phase cal⁽²²⁾. Une deuxième catégorie de modifications a été décrite portant soit sur l'expression (le fonctionnement) du matériel génétique et impliquant divers mécanismes (amplification de certains gènes, transposition de séquences d'ADN, etc.), mais pas à notre connaissance chez la pomme de terre ; soit sur des modifications du génome cytoplasmique (en dehors du matériel génétique contenu dans le noyau, différents organites du cytoplasme tels que les mitochondries possèdent eux aussi de l'ADN). Ainsi, J.F. Shepard a mis en évidence des variations au niveau du génome des mitochondries⁽²³⁾. Mais l'étude de ces différentes modifications et des mécanismes en jeu s'avère particulièrement difficile. D'une part, il n'est pas toujours aisé de faire le lien entre une modification et son expression ; il est même vraisemblable que, dans certains cas, plusieurs mécanismes soient impliqués. D'autre part, la pomme de terre n'est probablement pas le meilleur matériel pour étudier ce type de problèmes. Le niveau tétraploïde, le nombre et la petite taille des chromosomes, les difficultés d'hybridation rendent en effet difficile l'étude de sa génétique. La possibilité actuelle de travailler sur du matériel génétique plus simple (au niveau dihaploïde voire diploïde ou haploïde), ouvre cependant de nouvelles perspectives⁽²⁴⁾.

Pour nous résumer, et très schématiquement,

disons que des altérations du matériel génétique, qui restent à identifier avec précision, seraient induites ou révélées par certaines techniques de culture *in vitro*. Elles se traduiraient par des variations dans le phénotype (les caractères apparents) des plantes régénérées en culture. L'élucidation de ces différents déterminismes est la préoccupation fondamentale des équipes travaillant dans ce domaine.

De la fusion de protoplastes au transfert de gènes.

Pour terminer, nous citerons d'autres applications nées des techniques de culture *in vitro*. La néoformation de plantes entières peut aussi s'envisager à partir de cultures de cellules sexuelles, mâles ou femelles. Les individus qui en résultent sont donc exclusivement d'origine paternelle (androgénèse) ou maternelle (gynogénèse). Ils ne possèdent qu'un seul jeu de chromosomes provenant de l'un des parents. Si les plantes de départ sont tétraploïdes (4x), les individus nés de ce procédé seront donc dihaploïdes (2x) ; si l'expérience est réalisée sur un clone déjà dihaploïde (2x) on aboutit à des plantes haploïdes (x). Dans ce dernier cas, le doublement artificiel du nombre de chromosomes (par la colchicine) produit un matériel diploïde (2x). Mais ce dernier a la particularité d'être homozygote (les jeux de chromosomes sont identiques). La technique d'androgénèse est actuellement exploitée par le groupe de Wenzel au Max Planck Institut, en République fédérale d'Allemagne qui l'associe à la culture de protoplastes⁽²⁵⁾.

Ces derniers peuvent également être utilisés d'une autre façon que celle décrite précédemment. Il s'agit, nous l'avons dit, de cellules dépourvues de paroi. Il est donc possible de les fusionner avec d'autres protoplastes. Dès lors, on peut envisager l'hybridation d'espèces différentes, difficile voire impossible à réaliser par voie sexuée. Des hybrides de pomme de terre et de tomate (la « pomate » et la « topate ») obtenus par cette voie sont un exemple célèbre, mais sans valeur agronomique car stériles⁽²⁶⁾. De façon moins spectaculaire, on peut toutefois espérer progresser dans l'amélioration de la pomme de terre. La technique permet en effet de transférer d'un individu à un autre des caractères intéressants, comme les gènes de résistance présents chez certaines espèces sauvages. Des équipes soviétiques, américaines et hollandaises sont ainsi parvenues à produire des hybrides entre une variété cultivée de *S. tuberosum* et des espèces sud-américaines^(26,27). Ces réussites ouvrent la voie à une exploration plus complète des espèces sauvages. Enfin, signalons que les protoplastes peuvent être utilisés pour introduire directement du matériel génétique étranger, sous la forme de gènes isolés. Cette approche est actuellement tentée par différentes équipes, aux Pays-Bas, en Grande-

Bretagne, et en République fédérale d'Allemagne. De nombreuses difficultés apparaissent car il s'agit non seulement d'introduire le matériel génétique, de réussir son intégration dans le génome de la plante et son expression dans la descendance. Encore faut-il que l'introduction par cette méthode de caractères intéressants ne soit pas « neutralisée » par des variations importantes et incontrôlées qui peuvent survenir lors de la culture de protoplastes. Pour éviter cela, il existe théoriquement une alternative. Elle consiste à déclencher le développement de plantes à partir de cals, en passant non par la formation de bourgeons (comme précédemment), mais par celle d'embryons somatiques. Cette méthode appelée « embryogénèse somatique » garantit en effet une absence de variabilité ou, au minimum, une variabilité réduite. Mais pour l'instant, elle ne peut être appliquée à la pomme de terre.

Et demain ?

Toutes ces techniques sont, nous l'avons dit, actuellement explorées dans divers pays d'Europe et d'Amérique. Dans ce domaine, la France a pris un certain retard. Si elle ne veut pas être dépendante de l'étranger pour la fourniture de semences et de variétés, elle se doit de investir dans ces nouvelles techniques. Notre pays a certes été à l'origine de méthodes de multiplication *in vitro* qui permettent une propagation accélérée de la production végétale et une sélection sanitaire irréprochable. Mais il a, en revanche, un peu trop délaissé la sélection variétale si bien que les variétés étrangères, notamment hollandaises, anglaises et allemandes, se sont progressivement imposées pour aujourd'hui sur le marché. Ainsi, les variétés françaises ne représentent plus que 10 à 15 % de variétés inscrites au catalogue national. Et seulement 10 à 15 % de variétés nouvelles sont françaises.

Quelles perspectives peut-on envisager actuellement ? S'il convient d'exploiter mieux les nouvelles possibilités offertes par l'utilisation des cultures *in vitro*, doit-on pour autant renoncer aux méthodes de sélection ? La réponse est évidemment non. La meilleure preuve en est jusqu'à maintenant, pratiquement aucune nouvelle variété de pomme de terre n'a été créée par l'intermédiaire des techniques de culture *in vitro*. Il est probable cependant que la variation somatique permettra prochainement de corriger et d'élargir le spectre d'utilisation de variétés existantes. Dans l'immédiat, la culture *in vitro* est déjà largement utilisée pour l'assainissement de variétés. L'accroissement de la multiplication et la constitution de collections.

Comment peut-on raisonnablement envisager la sélection de la pomme de terre de demain ? Sans doute par l'hybridation et l'intégration à la fois de techniques de sélection et de culture

(21) G. Wenzel et al., *Theor. Appl. Genet.*, 55, 49, 1979.

(22) K.S. Ramulu et al., *Plant. Science Letters*, 36, 79, 1984.

(23) K.J. Kemble et J.F. Shepard, *Theor. Appl. Genet.*, 69, 211, 1984.

(24) M.J. Tempelaar et al., *Z. Pflanzenzüchtg.*, 95, 193, 1985.

(25) J.G. Roddick et G. Melchers, *Theor. Appl. Genet.*, 70, 655, 1985.

(26) R.G. Butenko et A.A. Kucho, *Advances in protoplast. research*, Pergamon Press, 1980.

(27) T.L. Barsby et al., *Plant. Cell. Reports*, 3, 165, 1984.

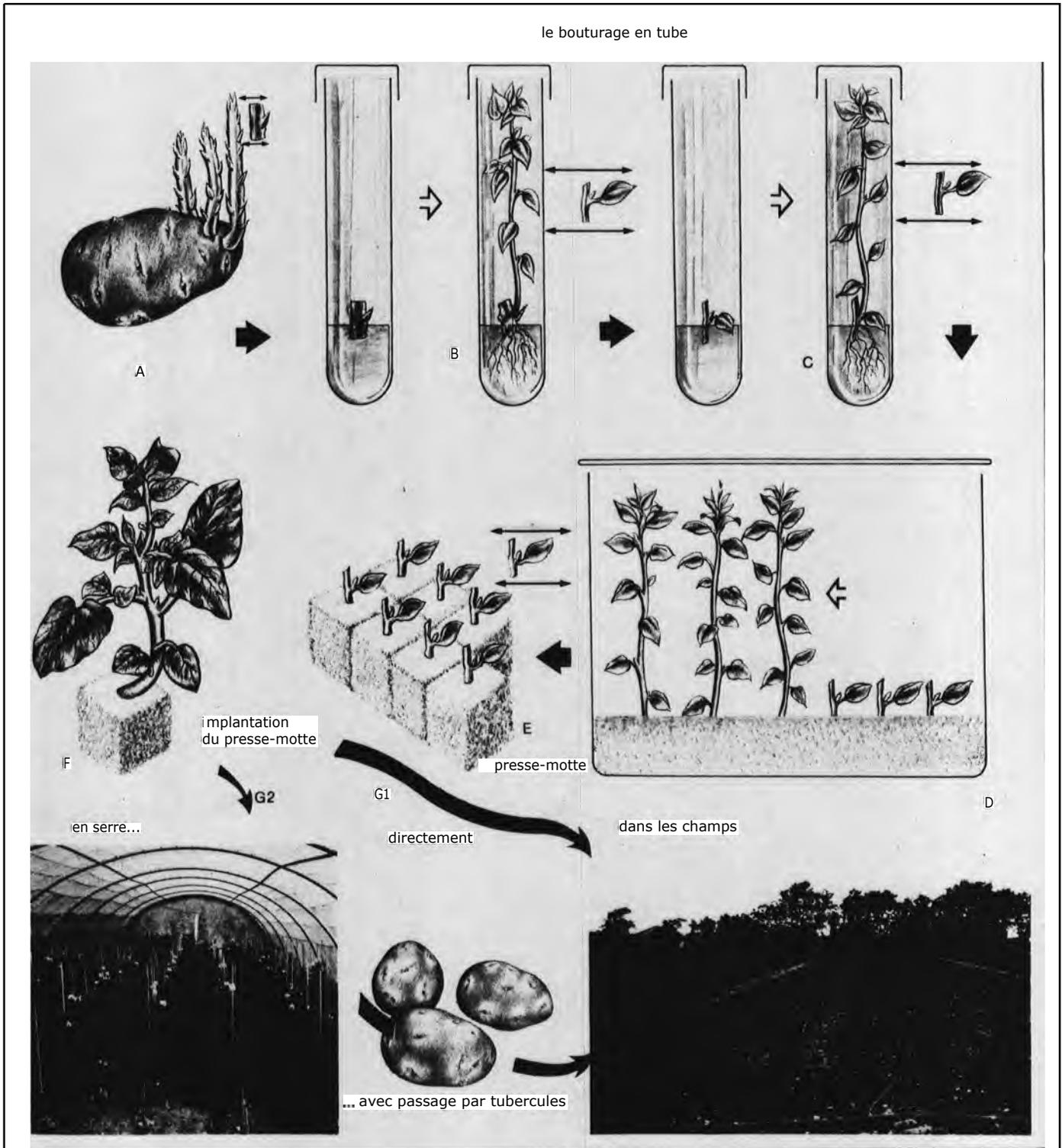


Figure 5. La multiplication en tubes in vitro de la pomme de terre permet d'obtenir aisément en moins d'un an environ 2 millions de plantes à partir d'un seul bourgeon. Par comparaison, il faut 7 à 8 ans pour arriver au même résultat avec le mode habituel de propagation. Après stérilisation, les germes sont sectionnés en fragments comportant chacun un noeud muni d'une petite feuille et d'un bourgeon. Chaque fragment est implanté en tube dans un milieu de culture approprié, sans régulateur de croissance, et placé dans des conditions favorables (20° C, 18 h de lumière par jour) (A). Le bourgeon donne alors naissance à une tige présentant des caractéristiques de la plante adulte (feuilles pouvant être composées), mais de moins grande vigueur (B). Les tiges sont à nouveau sectionnées en fragments comportant une feuille et un bourgeon axillaire. Ces boutures sont ensuite repiquées sur un milieu de culture neuf et vont à leur tour fournir de nouvelles boutures, etc. Au bout de quelques repiquages, le bourgeon des boutures donne une plante qui présente une morphologie rappelant, par certains traits, les premiers stades de développement à partir d'une graine : tige grêle, feuilles simples et petites (phase dite de rajeunissement) (C). A partir de ce moment-là peut s'opérer le sevrage, que l'on peut aussi pratiquer après une phase de multiplication en tubes plus importante. Les plantes obtenues d'abord en tubes donnent des boutures qui sont implantées dans des bacs transparents, en conditions non stériles. Ces bacs sont garnis d'un support synthétique inerte, arrosé d'une solution peu nutritive qui limite les risques de contamination et permet aux plantes de garder leurs caractéristiques juvéniles (D). Ces plantes sont à leur tour fragmentées en boutures comportant chacune un noeud et une feuille. Elles sont mises dans des presse-mottes qui sont des petits cubes de terre riche constituée d'un mélange de tourbe de sable et d'engrais (E). Sur ce substrat et avec les conditions écologiques favorables d'une serre (20° C, 18 h de lumière, bonne humidité), les boutures donnent naissance à des plantes robustes, passant rapidement à la phase adulte (F). Les presse-mottes pourvues de plantes vigoureuses peuvent être distribuées directement dans les sillons du champ (G1). Mais en opérant ainsi on prend, avec ce matériel plus délicat que les tubercules, de sérieux risques (gelées tardives, sécheresse...). Il est moins osé de placer les presse-mottes en serre pourvue de filet anti-puceron, où l'on peut effectuer plusieurs cycles par an. Ce sont les tubercules récoltés en serre qui servent de plants de base (G2). (Clichés auteurs)

Comment créer de nouvelles variétés en tube ?

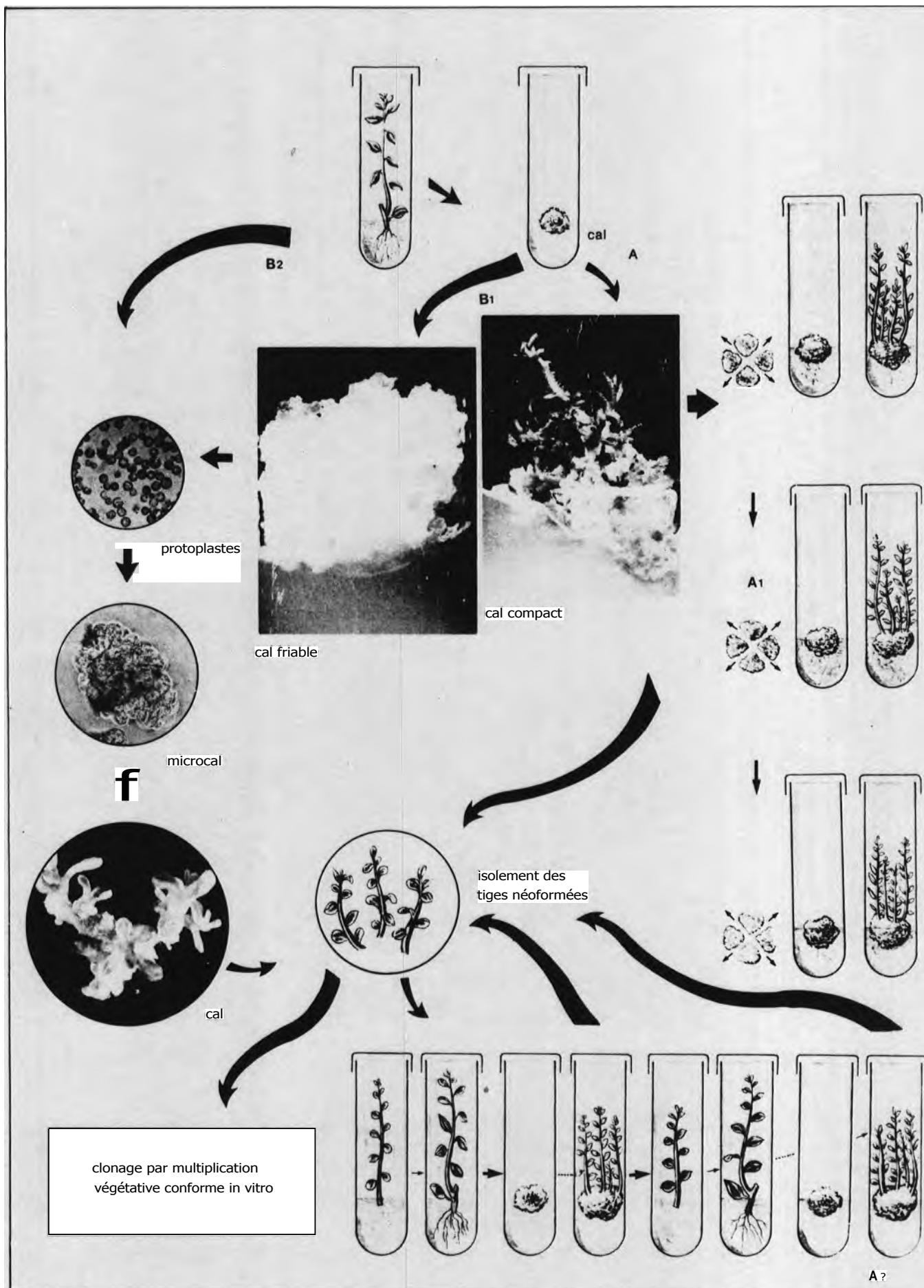


Figure 6. Certaines conditions de culture peuvent favoriser l'apparition d'individus nouveaux, différents de la plante-mère. Cette méthode peut être utilisée pour améliorer les variétés existantes de pomme de terre. Deux voies ont été explorées dans notre laboratoire. La première a été appelée A sur l'illustration (à droite). A partir de divers fragments (entre noeuds, noeuds sans bourgeons et sans feuilles, feuilles) provenant de jeunes plantes cultivées in vitro, on obtient, par addition d'hormones végétales, une désorganisation cellulaire suivie d'une phase de multiplication anarchique qui aboutit à la formation d'une masse nommée cal. Deux types de cals existent : des cals friables incapables de donner naissance à des néoformations, à l'inverse des cals compacts. Ces derniers peuvent être fragmentés ; chaque fragment repiqué sur un milieu de culture neuf donne naissance à de jeunes tiges débarrassées des tiges qu'ils portent, les cals peuvent être à nouveau sectionnés et repiqués, etc. (A1). Pour accentuer encore le phénomène d'anarchie, plusieurs passages par le cal sont effectués (A2) ; les tiges néoformées sont isolées, multipliées en tubes, puis à partir de fragments des plantes ainsi produites, on réalise un deuxième passage par le cal, un troisième passage par le cal, etc. La seconde voie (B) passe par la production de **protoplastes**, c'est-à-dire de cellules isolées dépourvues de leur paroi. Les **protoplastes** proviennent soit de cals friables dissociés (B1), soit directement de fragments de plantes (feuilles, tiges, racines) soumis à une action enzymatique (B2). Les **protoplastes** se divisent, forment un **microcal**, puis un cal qui, sous certaines conditions bien précises et dans un certain nombre de cas, sont susceptibles de donner naissance à des tiges néoformées. Les tiges néoformées, qu'elles proviennent de la voie A ou de la voie B, sont ensuite isolées et clonées selon la méthode de multiplication in vitro décrite dans la figure 5. Elles donnent ainsi naissance à un ensemble d'individus qui sont testés pour sélectionner des clones intéressants. (Clichés auteurs)

Les schémas actuellement proposés font appel à des techniques nouvelles : sélection au niveau **dihaploïde**, **androgenèse**, fusion de **protoplastes**. Leurs résultats sont certainement à attendre dans un avenir proche. A plus longue échéance, le transfert de matériel génétique peut être envisagé avec des chances de réussite pour deux raisons : les bonnes aptitudes à la culture *in vitro* de la pomme de terre et le réservoir important de matériel héréditaire disponible dans les espèces sauvages. ■

Pour en savoir plus

- P.M. Harris (ed.) *The potato Crop*. Halsted Press, 1978.
- I.K. Vasil, W.R. Scowcroft et K.J. Frey (eds.), *Plant improvement and somatic cell genetics*. Academic Press, 1982.
- P.V. Ammirato, D.A. Evans, W.R. Sharp et Y. Yamada (eds.), *Potato in Handbook of plant cell culture*, vol. 3, *Crop species*. Macmillan Publishing Co., 1983, p. 291.
- J.P. Helgeson et B.J. Deverall (eds.), *Use of tissue and protoplasts in plant pathology*. Academic Press, 1983.
- *La pomme de terre française*, revue bimestrielle, 14 rue Cardinal-Mercier, 75009 Paris.
- Pour une bibliographie plus complète voir page 242.

PRIX LOUIS JEANTET DE MÉDECINE 1987

Les prix annuels de la Fondation Louis **Jeantet** de Médecine seront attribués à nouveau en 1987.

Un, deux ou trois prix seront décernés pour un montant global de 1,5 million de francs suisses (environ 5,3 millions de francs français).

Ces prix permettront de soutenir des projets de recherche biomédicale (fondamentale ou clinique) de très haut niveau.

Des candidatures pour les « Prix Louis **Jeantet** de Médecine, année 1987 » sont sollicitées dès à présent : les candidats, qu'il s'agisse d'individus ou de groupes de recherche, doivent être proposés par des scientifiques, des médecins ou des institutions qui connaissent bien les travaux des candidats.

Les points suivants doivent être respectés :

1. Les propositions soumises directement par des candidats ne seront pas prises en considération par le Comité Scientifique.
2. Les prix ne seront décernés qu'à des chercheurs travaillant dans l'un des pays suivants :
Allemagne Fédérale, Autriche, Belgique, Danemark, Espagne, Finlande, France, Grande-Bretagne, Grèce, Hollande, Irlande, Italie, Norvège, Portugal, Suède, Suisse, Yougoslavie.
mais il n'est pas nécessaire que ces chercheurs soient eux-mêmes citoyens de l'un ou l'autre de ces pays.
3. Toutes les propositions doivent être soumises, sous pli confidentiel, à l'aide du formulaire que l'on peut obtenir auprès du :

Secrétaire du Comité Scientifique
Fondation Louis **Jeantet** de Médecine
Case postale 140
CH-1211 Genève 17 — **Malagnou**
Suisse

Des informations complémentaires seront envoyées avec le formulaire.

4. La date limite de réception des propositions a été fixée au 10 mars 1986. Les prix seront annoncés en 1987.