

Efficacité, durabilité, productivité : la recherche du compromis - Cas du couple pomme de terre-nématode à kyste *Globodera pallida*

Sylvain Fournet, Lionel Renault, Claudia Rouaux, Ronan Le Cointe,
Jean-Paul Dantec, Michel Bozec, Marie-Claire Kerlan

► **To cite this version:**

Sylvain Fournet, Lionel Renault, Claudia Rouaux, Ronan Le Cointe, Jean-Paul Dantec, et al.. Efficacité, durabilité, productivité : la recherche du compromis - Cas du couple pomme de terre-nématode à kyste *Globodera pallida*. Innovations Agronomiques, INRAE, 2011, 15, pp.79-88. hal-02646089

HAL Id: hal-02646089

<https://hal.inrae.fr/hal-02646089>

Submitted on 29 May 2020

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Efficacité, durabilité, productivité : la recherche du compromis - Cas du couple pomme de terre-nématode à kyste *Globodera pallida*

Fournet S.* , Renault L.* , Rouaux C.* , Le Cointe R.** , Dantec J.P.** , Bozec M.** , Kerlan M.C.**

* INRA, UMR 1099 Bio3P-Agrocampus Ouest-Université de Rennes 1, Équipe Biologie et Génétique des Nématodes Phytoparasites, BP 35327, 35653 Le Rheu cedex, France.

** INRA, UMR 118-Agrocampus Ouest-Université de Rennes 1, Équipe Pomme de Terre, Domaine de Kéraiber, 29260 Ploudaniel, France.

Correspondance : sylvain.fournet@rennes.inra.fr

Résumé

L'utilisation de variétés résistantes constitue un idéal à atteindre en termes d'agriculture durable, en particulier vis-à-vis de *Globodera pallida*. Ce nématode, strictement inféodé aux solanacées et plus particulièrement à la pomme de terre, provoque des dégâts tant qualitatifs que quantitatifs. Outre son importance économique, *G. pallida* fait l'objet d'une lutte obligatoire en Europe et dans le monde de par son statut de ravageur de quarantaine. La mise au point de variétés résistantes passe par la recherche du compromis idéal entre efficacité vis-à-vis d'une gamme la plus étendue de populations de *G. pallida*, durabilité en proposant des variétés dont les résistances ne sont pas contournées rapidement et productivité en assurant de hauts niveaux de rendement en présence du parasite. Pour le moment, une seule variété de consommation résistante à ce nématode est inscrite au catalogue français (Îledher). Cette résistance, provenant de *Solanum vernei*, s'avère peu durable : cinq générations permettent de sélectionner des individus virulents et d'observer un début de contournement. Nos objectifs sont donc d'identifier la ou les sources susceptibles de fournir des génotypes pouvant prendre le relais de la variété Îledher et présentant un bon compromis entre caractéristiques agronomiques, efficacité et durabilité des résistances.

Mots-clés : *Globodera pallida*, *Solanum sparsipilum*, *Solanum vernei*, *Solanum spegazzinii*, durabilité.

Abstract: Efficiency, durability, productivity: the search for a compromise. Case study of potato – cyst nematode *Globodera pallida*

Resistant varieties represent a cost effective and environmentally friendly means to control many pests. They are therefore used extensively as a crop protection strategy. Developing such resistant varieties to control potato cyst nematode *Globodera pallida* is of paramount interest, especially because of its quarantine status and the obligate management of infested fields. A good resistant variety is the result of the best trade-off between efficiency (against the widest range of the nematode populations), durability (as the variety must provide an efficient protection during repetitive cropping periods) and yield performance (in particular in the presence of nematodes). Presently, only one *G. pallida* resistant variety, Îledher, is registered in France. Its resistance comes from the related wild species *Solanum vernei* and the evaluation of its durability under laboratory conditions showed that only five nematode generations were sufficient to select virulent individuals. Our main goals are thus to identify among different related wild species of *Solanum* (*Solanum vernei*, *S. sparsipilum* and *S. spegazzinii*), new genotypes that can be used as resistant parents for future varieties that will present the best trade-off between efficiency, durability and agronomical characteristics and also be able to control the virulent populations selected on the variety Îledher, if ever they appeared in the fields.

Keywords : *Globodera pallida*, *Solanum sparsipilum*, *Solanum vernei*, *Solanum spegazzinii*, resistance durability

Introduction

Les cultures de pomme de terre (*Solanum tuberosum* L.) sont attaquées par de très nombreux agents pathogènes, bactéries, virus, champignons et nématodes, contrôlés principalement pour ces derniers par voie chimique. Ce poste phytosanitaire constitue l'une des principales charges pour la production de pomme de terre et à titre d'exemple, 75 % des surfaces cultivées à Noirmoutier reçoivent un traitement annuel de désinfection des sols contre le nématode à kyste *G. pallida* (Stone). Si les analyses de résidus ne révèlent pas la présence des molécules les plus utilisées dans les tubercules, on les retrouve régulièrement dans les sols et les eaux (Vereijken et van Loon, 1991 ; IFEN, 2010). Dans un contexte général où la protection de l'environnement et des consommateurs est devenue une priorité, la filière doit donc composer avec la mise à l'index de nombre de ces molécules, une diminution indispensable, en dose comme en fréquence, des applications de pesticides et le maintien de la qualité d'un produit dont le principal débouché est le marché de frais. L'utilisation de variétés résistantes constituerait donc un idéal à atteindre en termes d'agriculture durable, en particulier vis-à-vis de *G. pallida* qui, outre son importance économique, fait l'objet d'une lutte obligatoire en Europe et dans le monde en raison de son statut de ravageur de quarantaine. En réduisant de manière importante ou même totalement la multiplication du parasite, ces variétés représentent une alternative efficace aux traitements chimiques, réduisent l'impact de la culture sur l'environnement et sont un gage de sécurité tant pour le producteur que pour le consommateur. Elles n'offrent néanmoins pas les mêmes garanties quant à la persistance de leur efficacité dans le temps (i.e. durabilité) : comme pour tout parasite, un contournement des résistances dû à la sélection d'individus virulents (i.e. en mesure de se développer avec succès même en présence du ou des gènes de résistance) est un risque bien réel (Mugniéry *et al.* 2007 ; Castagnone-Sereno *et al.*, 2007). Ce risque est susceptible d'être ralenti ou au contraire accéléré, par les caractéristiques biologiques (fécondité, vitesse de développement, etc.) et génétiques (fréquence des individus virulents) des populations qui influenceront respectivement sur la dynamique des populations et la vitesse du contournement (McDonald et Linde, 2002 ; Barret *et al.*, 2008). Les caractéristiques propres de la résistance utilisée (totale ou partielle), son architecture et son mode d'action, joueront également un rôle important dans l'efficacité et la durabilité de celle-ci (Castagnone-Sereno, 2002 ; Parlevliet, 2002). Le développement de nouvelles variétés résistantes à *G. pallida* devrait donc prendre en compte trois critères majeurs : l'efficacité qui doit être la plus forte possible mais aussi tenir compte de la diversité des populations du ravageur, la durabilité en sélectionnant des génotypes dont la résistance conservera son efficacité dans le temps et enfin la productivité, en sélectionnant des génotypes en mesure de produire un haut niveau de rendement et de le conserver même en présence du parasite.

Il n'existe actuellement qu'une seule variété de consommation, résistant à *G. pallida*, inscrite au catalogue français (variété Îledher). Cette variété est issue d'un croisement entre un géniteur INRA portant une résistance dont l'origine est complexe incluant au moins l'espèce *S. vernei* et une variété commerciale. Des résultats préliminaires, obtenus en laboratoire, suggèrent qu'au champ cette résistance serait moyennement durable, cinq années de sélection récurrente du ravageur permettant de créer des lignées d'individus virulents (i.e. en mesure de se développer sur le matériel végétal résistant) à partir de différentes populations françaises de *G. pallida* (Mugniéry *et al.*, 2007).

La préservation de cette innovation variétale et son remplacement en cas de contournement massif sont des enjeux importants, qui nécessitent au préalable d'identifier les sources de résistance à privilégier et de développer une stratégie de criblage assurant de sélectionner des génotypes présentant le meilleur compromis possible entre efficacité, durabilité et productivité. En d'autres termes, il s'agit (i) de déterminer si la source de résistance *S. vernei*, à partir de laquelle de nombreux géniteurs améliorés sont disponibles, est en mesure de fournir des génotypes plus efficaces et durables que la variété Îledher, et (ii) d'identifier les sources de résistance pouvant contrôler des populations devenues virulentes sur la variété Îledher et susceptibles de la remplacer.

***G. pallida*, un parasite de quarantaine introduit d'Amérique du Sud**

G. pallida (Stone) est strictement inféodé aux solanacées. Il se développe sur pomme de terre, mais également sur tomate ainsi que sur quelques solanacées sauvages comme la douce-amère. La date précise de son introduction en Europe n'est pas connue mais sa zone d'origine est clairement identifiée (Plantard *et al.*, 2008, Grenier *et al.*, 2010) : toutes les populations européennes proviennent d'une seule et même zone, relativement restreinte, dans le sud du Pérou, entre les rives du lac Titicaca et la ville de Cuzco. Le cycle de développement est caractérisé par quatre stades successifs (L2, L3, L4, mâle ou femelle) et se déroule en intégralité dans les racines (Figure 1). L'éclosion des larves de second stade est étroitement liée aux exsudats radiculaires émis par les racines de la plante hôte. Ces larves de second stade (L2) pénètrent ensuite dans les racines, initient un site nourricier et se développent, en passant par les stades L3 et L4, soit en mâles, soit en femelles. Une fois leur développement achevé, les femelles pondent la totalité de leurs œufs à l'intérieur de leur corps. Leur cuticule durcit puis brunit pour former un kyste que l'on retrouvera dans le sol après la récolte. Ces kystes, qui peuvent contenir jusqu'à 1.000 œufs, constituent une forme de résistance particulièrement efficace : les larves (L2) peuvent survivre plusieurs années en l'absence de plante hôte.

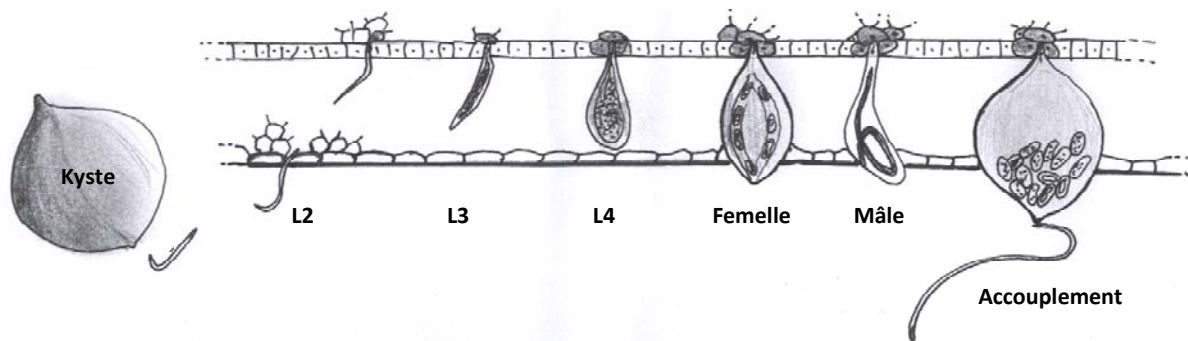


Figure 1 : Cycle de développement de *G. pallida*. © INRA, Fournet, 2011



Figure 2 : Symptôme de piqûres sur tubercules en fonction du niveau de population à la plantation

Les dégâts occasionnés aux cultures de pommes de terre sont extrêmement importants et de deux types : une chute du rendement, proportionnelle au niveau de la population dans le sol au moment de la plantation et pouvant aller jusqu'à 50 % lorsque la contamination est sévère et, en fonction de la variété cultivée, l'apparition de micro-piqûres à la surface du tubercule qui en déprécie la qualité (Figure 2).

Pour l'ensemble de ces raisons et parce que la terre adhérent aux tubercules de semences propage les kystes, *G. pallida* est une espèce de quarantaine contre laquelle la lutte est obligatoire. Malheureusement, la capacité des kystes à protéger les larves durant plusieurs années dans le sol rend la lutte par rotation totalement inopérante, dix années étant nécessaires pour éliminer totalement par mortalité naturelle les nématodes présents dans le sol. La lutte physique (solarisation) est possible mais le résultat est aléatoire car fortement liée aux conditions climatiques de l'année (Chauvin *et al.*, 2008).

La lutte variétale apparaît donc clairement comme une solution idéale, renforcée par la disparition des molécules les plus efficaces.

Les sources de résistance disponibles

Au niveau international, trois sources de résistance sont principalement exploitées pour la résistance au nématode à kyste *G. pallida*. Elles ont pour origine les espèces *S. vernei*, *S. spegazzinii* et *S. sparsipilum*. Elles sont sous contrôle oligogénique pour la source *S. sparsipilum* et polygénique pour *S. spegazzinii* et *S. vernei*. Leur point commun est de posséder un QTL à effet fort (nommé *GpaV_{spi}* chez *S. sparsipilum*, *GpaV_{spg}* chez *S. spegazzinii* et *GpaV_{vm}* chez *S. vernei*), localisé en position colinéaire chez les trois espèces (Bryan *et al.*, 2002 ; Caromel *et al.*, 2003 & 2005 ; Rouppe van der Voort *et al.*, 1998 & 2000), responsable de la masculinisation des nématodes ayant pénétré les racines. Ce phénomène de masculinisation est provoqué par un fonctionnement altéré du site nourricier, entraînant la formation préférentielle d'adultes mâles. La source *S. sparsipilum* se distingue des deux autres par la présence d'un second QTL (*GpaX_{spi}*) qui, quand il est associé au QTL *GpaV_{spi}*, transforme la réaction de masculinisation en un blocage précoce des nématodes, associé à une nécrose marquée (Caromel *et al.*, 2005).

Efficacité et durabilité de génotypes issus de la source *S. vernei*.

La source *S. vernei* est la plus anciennement exploitée : de nombreux génotypes améliorés sont disponibles et les résultats les plus rapides pourraient être obtenus à partir de cette source. L'efficacité, c'est-à-dire l'aptitude de la variété à inhiber la formation des femelles, est évaluée à l'aide d'un test standardisé : les pommes de terre sont plantées dans un sol contaminé artificiellement à l'aide de kystes, à une dose connue. Au bout de trois mois de culture, les kystes néoformés sont extraits du sol et dénombrés. Un pourcentage de résistance est ensuite calculé pour chaque génotype, sur la base du nombre de kystes obtenus pour le témoin de sensibilité Désirée (%R = (100-kystes génotype/kystes témoin)* 100).


Chaque génotype est testé vis-à-vis de plusieurs populations de *G. pallida*, représentatives de la diversité observée à l'échelle européenne (Tableau 1). Les différents génotypes testés montrent des efficacités contrastées. Elles sont très fortes et supérieures à celle d'Îledher pour les génotypes 360.96.21, 94T146.52 et 96F376.16, quelle que soit la population de *G. pallida* utilisée. Elles sont plus faibles pour la variété Îledher et le génotype 91T261.5 avec un effet population marqué.

La durabilité est évaluée par sélection récurrente : les génotypes sont utilisés plusieurs années successives sur des sols contaminés. Après chaque cycle de sélection, les kystes néoformés sont extraits et inoculés à nouveau dans un sol sain sur lequel le même génotype de pomme de terre est cultivé. La virulence (i.e. l'aptitude à se développer même en présence du gène de résistance) des lignées de nématodes correspondant à ces génotypes est évaluée au bout de cinq et huit générations. Elle traduit le niveau d'adaptation de la lignée et par conséquent permet d'estimer la durabilité du génotype utilisé, c'est-à-dire le temps ou le nombre de générations nécessaires pour contourner le gène de résistance. Ce test est réalisé en boîte de Pétri en déposant 10 larves (L2) par racine du génotype utilisé en sélection. Le nombre de femelles développées est évalué au bout de trois semaines et est comparé avec celui obtenu pour la population d'origine non sélectionnée, multipliée dans les mêmes conditions sur le témoin sans résistance Désirée.

De la même manière que pour l'efficacité, les génotypes testés montrent des durabilités extrêmement contrastées (Figure 3). Au bout de cinq générations (5X), la variété Îledher est partiellement contournée, avec plus de 10 % de femelles formées contre 0.5% au départ. Les génotypes 96F376.16 et 94T146.52 conservent au contraire le même niveau d'efficacité. Au bout de huit générations (8X), le

contournement reste faible pour le génotype 96F376.16. Il est partiel pour le génotype 94T146.52 mais total pour Îledher, la valeur obtenue (plus de 70% de femelles développées) étant équivalente à celle que l'on obtiendrait avec la population d'origine testée sur le témoin Désirée.

Tableau 1 : Efficacité de la résistance (par mesure du % de résistance) de différents génotypes et variétés vis-à-vis de cinq populations européennes de *G. pallida* (Chav=Chavornay ; Luf=Luffness, Dud=Duddingston ; Rook=Rookmaker ; EC= Grown East Craigs)

	Population	Chav	Luf	Dud	Rook	GEC
 Solanum vernei	360.96.21	99.03	97.03	99.37	99.10	97.18
	94T146.52	99.50	99.66	99.90	99.60	99.88
	96F376.16	99.11	98.77	99.56	94.86	-
	91T261.5	80.11	73.51	91.54	83.53	99.17
	Îledher	97.43	94.03	99.00	94.64	89.76
	Désirée	0	0	0	0	0

En huit saisons de culture, la résistance de la variété Îledher serait donc totalement inopérante. Par contre, la résistance de génotypes issus de cette même source pourrait être bien plus difficile à contourner : c'est le cas en particulier des génotypes 96F376.16 et 94T146.52 pour lesquels la dynamique de contournement s'avère nettement plus lente, cinq utilisations répétées n'entraînant en laboratoire aucune perte d'efficacité. Le caractère polygénique de la résistance issue de *S. vernei* peut expliquer ce résultat : ces deux génotypes cumulent très probablement un nombre de facteurs de résistance supérieur à celui présent dans la variété Îledher. Leur utilisation, pour aboutir rapidement à une variété, aussi efficace qu'Îledher mais plus durable, peut donc être envisagée.

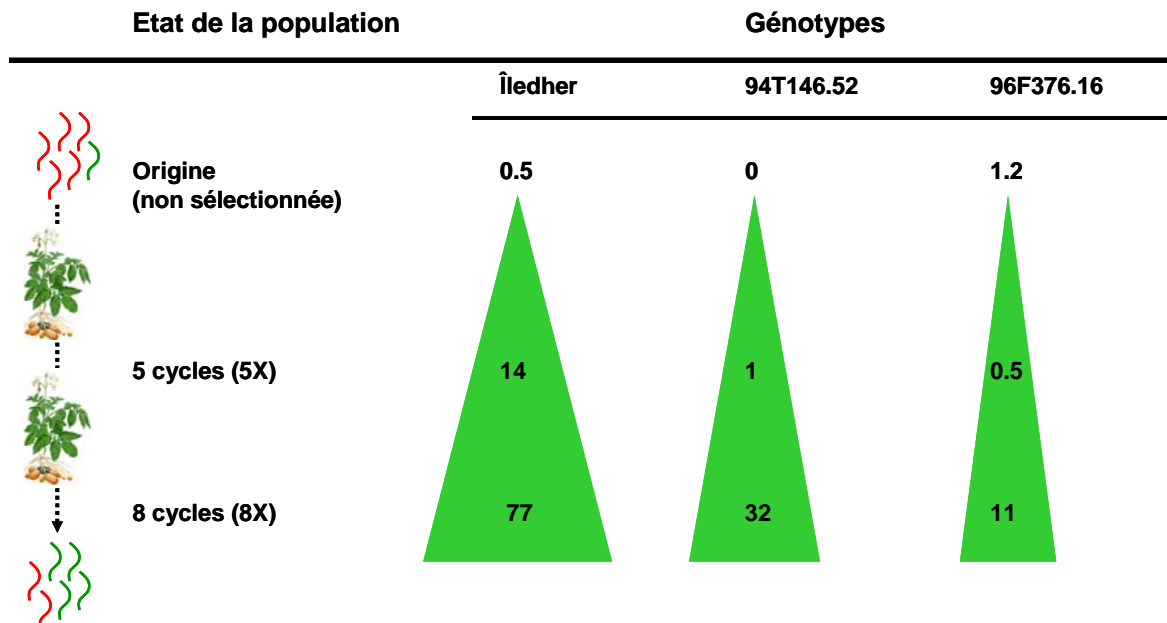


Figure 3 : Évaluation de la durabilité, après cinq et huit cycles de sélection par mesure du % de femelles développées de trois lignées sélectionnées sur la variété Îledher et les génotypes 94T146.52 et 96F376.16

Quelles sources privilégier ?

Si elle est utilisée de manière récurrente, une variété résistante peut être contournée de manière inéluctable, à la condition néanmoins qu'un certain nombre d'individus virulents soient présents dans la population de départ. C'est le cas dans les populations françaises de *G. pallida* vis-à-vis de la variété Îledher et plus largement, nous venons de le voir, vis-à-vis des résistances issues de la source *S. vernei* dont les génotypes testés sont tous contournés, partiellement ou totalement, à plus ou moins brève échéance (Figure 3). Une stratégie de contrôle basée uniquement sur l'utilisation d'une seule et même variété est donc vouée à l'échec. Disposer d'autres résistances est donc une étape indispensable. Se pose néanmoins la question de savoir si ces nouvelles variétés peuvent être uniquement basées sur les mêmes déterminants génétiques (*S. vernei*) ou s'il faut chercher à en exploiter d'autres, seuls ou en association. Dans ce dernier cas, on utiliserait des génotypes issus de croisements entre ces différentes sources.

Pour y répondre, différents génotypes appartenant aux trois sources de résistances disponibles sont testés vis-à-vis de lignées virulentes de *G. pallida* sélectionnées sur la variété Îledher à partir de deux populations, Noirmoutier (N) et Saint Malo (SM). Pour la source *S. vernei*, seuls les génotypes 94T146.52 et 96F376.16 dont la durabilité est supérieure à celle d'Îledher sont conservés. Les génotypes 96D32.77 et 96D31.68 sont utilisés à partir respectivement des sources *S. spgazzinii* et *S. sparsipilum* et, dans les deux cas, disposent de la totalité des QTL identifiés. L'efficacité de ces génotypes est évaluée au laboratoire, en boîte de Pétri en suivant la méthodologie décrite précédemment. L'efficacité vis-à-vis de ces lignées est comparée à celle obtenue vis-à-vis des populations d'origine, non sélectionnées (Figure 4).

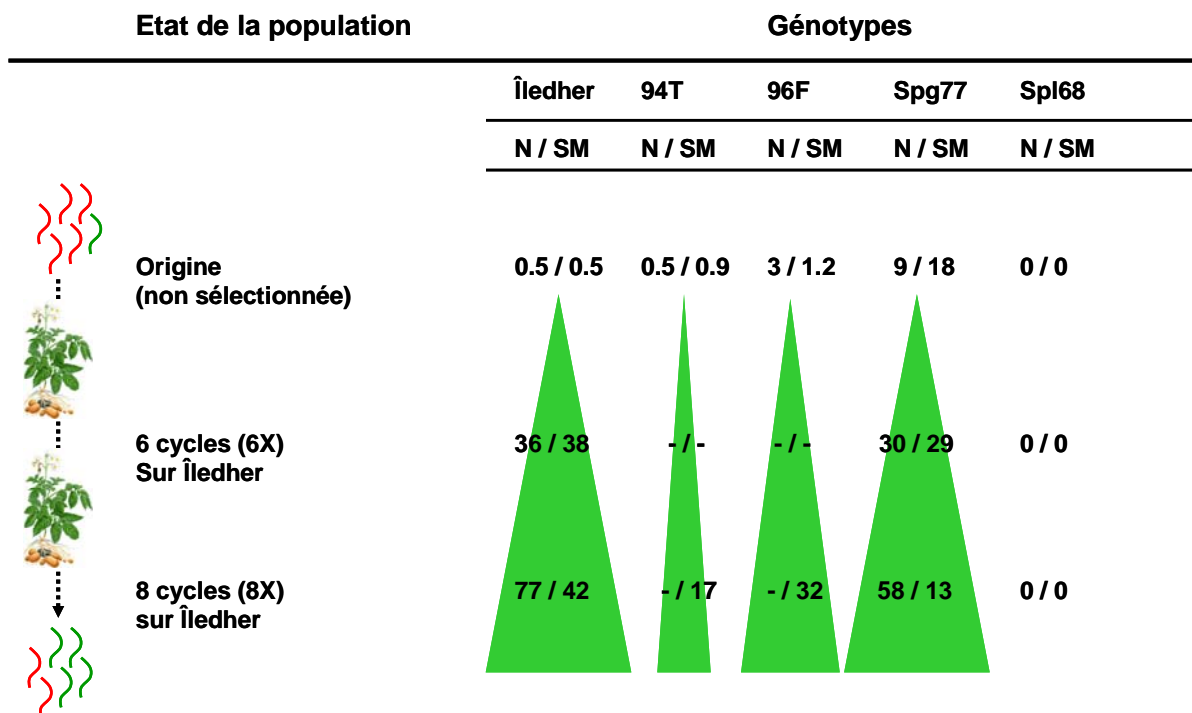


Figure 4 : Évaluation de la virulence sur la variété Îledher et les génotypes 94T146.52 (94T), 96F376.16 (96F), 96D32.77 (Spg 77) et 96D31.68 (Spl 68), par mesure du % de femelles développées pour des lignées issues des populations de Noirmoutier (N) et Saint Malo (SM), à l'origine puis sélectionnées durant 6 ou 8 cycles sur la variété Îledher.

Les deux génotypes issus de la source *S. vernei* sont partiellement contournés par la lignée virulente obtenue à partir de la population de Saint Malo sur la variété Îledher. Le génotype 96D32.77 est lui totalement contourné par la lignée sélectionnée à partir de la population de Noirmoutier. Le génotype 96D31.68, issu de *S. sparsipilum*, conserve la même efficacité, quelle que soit la population d'origine de la lignée.

Ces résultats ne condamnent en rien de futures variétés issues de *S. vernei* et de *S. spegazzinii*. Il sera possible de créer puis d'utiliser des variétés à partir de ces deux sources. Par contre, ils indiquent clairement l'existence d'un phénomène de virulence croisée : la virulence acquise par sélection sur Îledher (*S. vernei*) se transpose en partie sur une autre source de résistance (*S. spegazzinii*). La réciproque, c'est-à-dire, une virulence immédiate sur Îledher de lignées sélectionnées à partir du génotype 96D32.77, est très probable mais devra être vérifiée. L'explication la plus probable réside dans la proximité phylogénétique des deux espèces, qui possèderaient quelques facteurs de résistance communs. Dans tous les cas, les conséquences sont importantes en termes de gestion sur le terrain : une utilisation en alternance de variétés issues de ces deux sources ne permettrait pas la contre-sélection de variants virulents sélectionnés par l'une ou l'autre et aboutirait de manière inéluctable à un contournement des deux systèmes de résistance. Au contraire, la source *S. sparsipilum*, sur la base de ces résultats, serait parfaitement adaptée, les lignées virulentes testées étant totalement contrôlées.

Cribler en même temps les caractères d'intérêt agronomique et l'efficacité de la résistance

Le mode de multiplication végétatif, la tétraploïdie de l'espèce *S. tuberosum*, les difficultés de croisement avec certaines des espèces apparentées et la nécessaire élimination des caractères indésirables (tardivité, teneur élevée en glycoalcaloïdes, faible productivité, forme ou qualité des tubercules, présence de stolons) allongent considérablement le temps moyen d'obtention de variétés utilisables à partir de parents résistants. Classiquement, la résistance est évaluée par les sélectionneurs tardivement dans les schémas de sélection. Cette démarche, si elle a fait ses preuves quant à la création de matériel performant au niveau agronomique peut s'avérer peu efficace en ce qui concerne les caractères de résistance. Cribler précocement et en même temps, caractères d'intérêts agronomiques et efficacité de la résistance, permet d'éliminer le matériel peu productif, trop tardif, stolonifère et ne présentant pas de résistance afin de ne poursuivre le travail de sélection qu'avec des génotypes possédant *a priori* déjà de bonnes combinaisons pour les caractères d'intérêt ciblés.

La réalisation de ce criblage se fait en conditions naturelles (Figure 5), dans des parcelles fortement infestées par *G. pallida*. La précocité, la hauteur des plantes, la présence de stolons, le nombre, la taille, la forme des tubercules et enfin la présence de femelles de *G. pallida* sur les racines sont évalués en juin, pour chaque génotype et pour les témoins sans résistance (Désirée) et résistant (Florijn).

Le matériel issu de *S. vernei* s'avère être, sans surprise, le mieux adapté, avec un nombre important de clones présentant un fort niveau de résistance et des caractères agronomiques favorables. Le matériel issu de la source *S. spegazzinii* est nettement plus primitif, cumule de nombreux facteurs défavorables et son utilisation dans un avenir proche sera conditionnée par la réalisation de nouveaux croisements. Le matériel *S. sparsipilum* se caractérise par un très fort niveau de résistance et plusieurs génotypes s'avèrent bien adaptés. Des clones, issus de croisements entre ces trois espèces, ont également été testés : quelles que soient les combinaisons de sources de résistance, les clones ont globalement un très haut niveau de résistance, mais s'avèrent peu adaptés aux conditions de culture de pomme de terre primeur en souffrant d'un faible niveau de tubérisation. Toutefois, deux croisements permettent de générer du matériel cumulant, à la fois, un haut niveau de résistance et des critères agronomiques favorables (Figure 6) : les croisements entre *S. vernei* et *S. sparsipilum* et les croisements entre *S. vernei* et *S. spegazzinii*. Les combinaisons associant les sources *S. sparsipilum* et *S. spegazzinii*

devront être améliorées pour les caractères agronomiques par un croisement supplémentaire, ce qui rallongera d'autant le temps nécessaire à l'obtention d'un matériel tétraploïde intéressant.

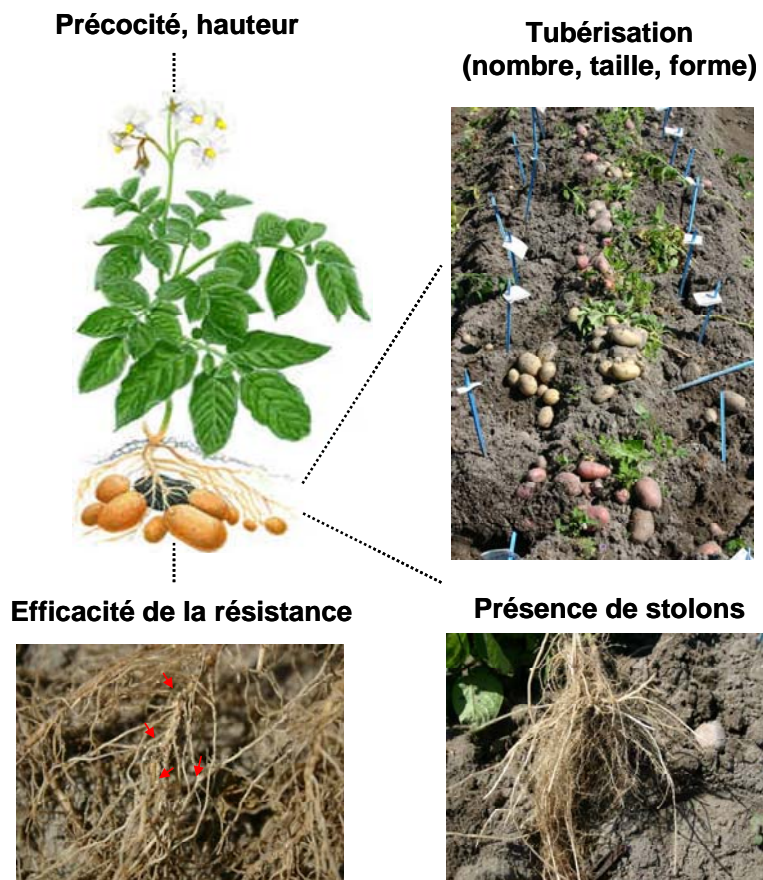


Figure 5 : Évaluation des caractères agronomiques et de la résistance en condition d'infestation naturelle à Noirmoutier

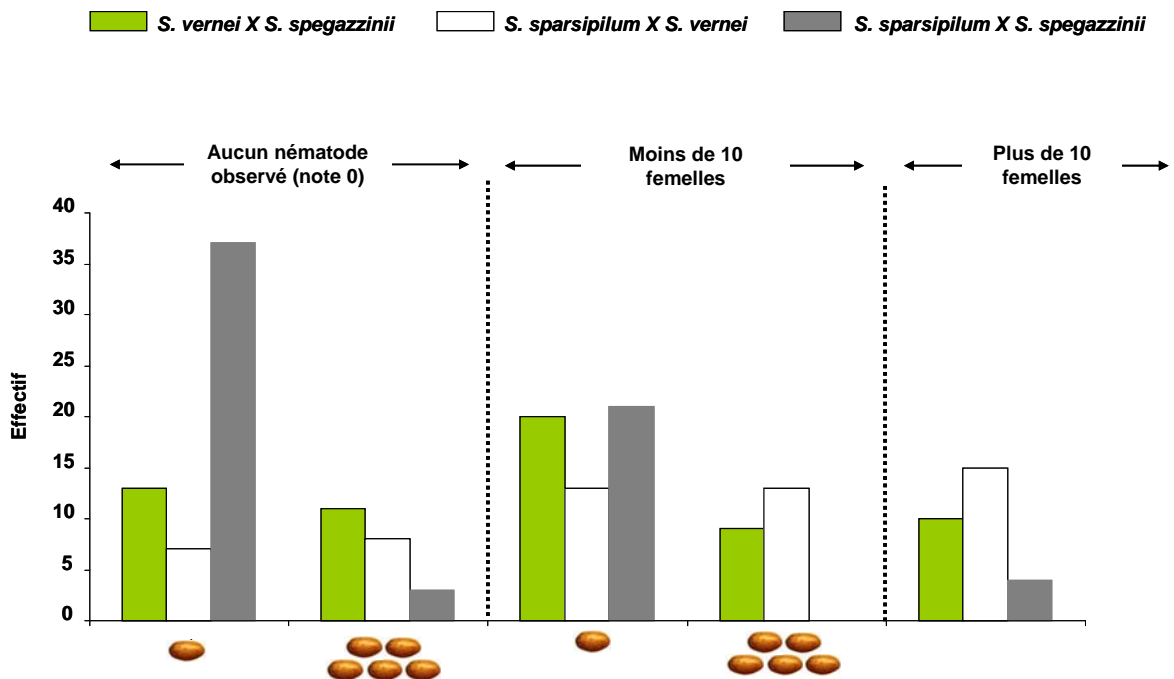


Figure 6 : Nombre de clones en fonction de leur niveau de résistance (absence totale de nématode, moins de 10 femelles, plus de 10 femelles), de leur aptitude à tubériser (faible ou forte) et de leur généalogie.

Vers une gestion durable des résistances

Minimiser le risque de contournement est l'un des enjeux majeurs de la lutte variétale, motivé par des ressources génétiques souvent peu nombreuses et le temps nécessaire à l'obtention de variétés. Dans le cadre strict de l'interaction entre une plante et son parasite, aucune résistance n'est *a priori* totalement durable, la pression de sélection exercée par le ou les gènes de résistance de la plante aboutissant à la sélection d'individus virulents. Le laps de temps nécessaire au contournement, c'est-à-dire à l'envahissement de la population par ces variants pourra être plus ou moins rapide, en fonction des caractéristiques biologiques du parasite (nombre de générations, fécondité, taux de mutation), de son aptitude à se déplacer ou à être dispersé, de son mode de reproduction et des caractéristiques génétiques de ces populations et en particulier de la fréquence, à l'origine, des variants virulents vis-à-vis du gène de résistance considéré. L'absence totale de contournement peut néanmoins être observée : c'est le cas de *Globodera rostochiensis* en Grande Bretagne vis-à-vis du gène H1 (Zaheer *et al.*, 1993). Néanmoins, cet exemple relève peut-être plus du cas particulier : *G. rostochiensis* est une espèce introduite, en situation insulaire. Les variants virulents n'étaient peut-être pas présents dans la population d'origine sud-américaine, ou ne sont pas parvenus à s'adapter après l'introduction ; l'insularité n'a pas favorisé les échanges (flux de gènes) avec des populations d'Europe continentale, où des contournements de ce même gène sont observés (Huijsman, 1961 ; Janssen *et al.*, 1993).

D'une manière générale, faire l'hypothèse d'une absence totale de contournement est donc un pari risqué, rendant indispensable le développement de stratégies d'utilisation durable des résistances. En cela, l'action de l'homme peut avoir un impact fort : ces résistances seront d'autant plus durables que leur utilisation se fera en combinaison avec d'autres méthodes de lutte, sans exclure la lutte chimique. Dans le cas de *G. pallida* et de la pomme de terre, l'utilisation des variétés devra être raisonnée en fonction de l'estimation de leur durabilité, qui déterminera le nombre d'utilisations efficaces sur une même parcelle, de la source de résistance qui influera sur le choix de la variété pouvant être utilisée en alternance, de l'utilisation d'autres méthodes de lutte (lutte physique par solarisation, culture piège) permettant de ne pas utiliser une variété résistante de manière systématique et peut-être, des choix variétaux réalisés à l'échelle du bassin de production, afin de minimiser l'effet des flux de gène (déplacement de kystes par le biais du matériel agricole) dans les populations.

Remerciements

Ces travaux ont reçu le soutien financier du Ministère de l'Agriculture et de la Pêche (C07-01-Pomme de terre), le soutien technique et financier des coopératives maraichères des îles de Ré et Noirmoutier et du GROCEP. Merci à D. Mugniéry pour ses commentaires.

Références bibliographiques

- Barret L. G., Thrall P.H., Burdon J.J., Linde C.C., 2008. Life history determines genetic structure and evolutionary potential of host-parasite interactions. *Trends in Ecology and Evolution* 23, 678-685.
- Bryan G.J., McLean K., Bradshaw J.E., Jong W.S., Phillips M., Castelli L., Waugh R., 2002. Mapping QTLs for resistance to the cyst nematode *Globodera pallida* derived from the wild potato species *Solanum vernei*. *Theoretical and Applied Genetics*. 105, 68-77.
- Caromel B., Mugniéry D., Kerlan M.-C., Andrzejewski S., Palloix A., Ellissèche D., Rousselle-Bourgeois F., Lefebvre V., 2005. Resistance QTLs originating from *Solanum sparsipilum* act independently on the sex-ratio of *Globodera pallida* and together for developing a necrotic reaction. *Molecular Plant-Microbe Interactions* 18, 1186-1194.
- Caromel B., Mugniéry D., Lefebvre V., Andrzejewski S., Ellissèche D., Kerlan M.C., Rousselle P., Rousselle-Bourgeois F., 2003. Mapping QTLs for resistance against *Globodera pallida* (Stone) Pa2/3 in a diploid potato progeny originating from *Solanum spegazzinii*. *Theoretical and Applied Genetics* 106, 1517-1523.

- Castagnone-Sereno P., 2002. Genetic variability of nematodes: a threat to the durability of plant resistance gene? *Euphytica* 124, 193-199.
- Castagnone-Sereno P., Bongiovani M., Wajnberg E., 2007. Selection and parasite evolution: a reproductive fitness cost associated with virulence in the parthenogenetic nematode *Meloidogyne incognita*. *Evolutionary Ecology* 21, 259-270.
- Chauvin L., Caromel B., Kerlan M-C., Rulliat E., Fournet S., Grenier E., Ellissèche D., Mugniéry D., 2008. La lutte contre les nématodes à kyste de la pomme de terre *Globodera rostochiensis* et *G. pallida*. *Cahiers Agricultures* 14, 368-374.
- Grenier E., Fournet S., Petit E., Anthoine G., 2010. A cyst nematode 'species factory' called the Andes. *Nematology* 12, 163-169.
- Huisjman C.A., 1961. The influence of resistant potato varieties on the soil population of *Heterodera rostochiensis* Woll. *Nematologica* 6, 177-180.
- IFEN (Institut Français de l'Environnement), 2010. Les pesticides dans les milieux aquatiques 26. 50 p.
- Janssen R., Bakker J., Gommers F.J., 1991. Mendelian proof for a gene-for-gene relationship between virulence of *Globodera rostochiensis* and the H1 resistance gene in *Solanum tuberosum* spp. *Andigena* CPC 1673. *Revue de Nématologie* 14, 213-219.
- McDonald B.A., Linde C.C., 2002. Pathogen population genetics, evolutionary potential and durable resistance. *Annual Review of Phytopathology* 40, 349-379.
- Mugniéry D., Plantard O., Fournet S., Grenier E., Caromel B., Kerlan M.C., Picard D., Ellisseche D., 2007. Évaluation de l'efficacité et de la durabilité des résistances à *Globodera pallida* PA2/3, provenant de *Solanum vernei*, *S. Spegazzinii* et *S. sparsipilum*. *Nematologia Mediterranea* 35, 143-153.
- Parlevliet J., 2002. Durability of resistance against fungal, bacterial and viral pathogens; present situation. *Euphytica* 124, 147-156.
- Plantard O., Picard D., Valette S., Scurrah M., Grenier E., Mugniéry D., 2008. Origin and genetic diversity of Western European populations of the potato cyst nematode (*Globodera pallida*) inferred from mitochondrial sequences and microsatellite loci. *Molecular Ecology* 17, 2208-2218.
- Roupe van der Voort J.N.A.M., Lindeman W., Folkertsma R., Hutten R.C., Overmars H., Van der Vossen E., Jacobsen E., Bakker J., 1998. A QTL for broad-spectrum resistance to cyst nematode species (*Globodera* spp.) maps to a resistance gene cluster in potato. *Theoretical and Applied Genetics* 96, 654-661.
- Roupe van der Voort J.N.A.M., van der Vossen E, Bakker E., Overmars H., van Zandvoort P., Hutten R., Klein Lankhorst R., Bakker J., 2000. Two additive QTLs conferring broad-spectrum resistance in potato to *Globodera pallida* are localized on resistance gene clusters. *Theoretical and Applied Genetics* 101, 1122-1130.
- Vereijken P., van Loon C.D., 1991. A strategy for integrated low-input potato production. *Potato Research* 34, 57-66.
- Zaheer K., Fleming C.C., Turner S.J., 1993. Distribution and frequency of occurrence of potato cyst nematode pathotypes in Northern Ireland. *Plant Pathology* 42, 609-616.