

Amélioration variétale du riz pour la France méditerranéenne

Guy Clément¹
Didier Louvel²

¹ Cirad
Département Bios
UMR AGAP
TA A-108/01
Avenue Agropolis
34398 Montpellier cedex 5
France
<guy.clement@cirad.fr>

² Centre français du riz
Mas du Sonnailler N° 80,
VC 108 de Gimeaux
13200 Arles
France
<louvel.cfr@wanadoo.fr>

Résumé

En France, le riz est principalement cultivé en zone méditerranéenne, en Camargue. La riziculture irriguée, avec semis direct, y est majoritairement contrainte par l'occurrence de périodes froides et le risque de salinisation des sols. S'y ajoutent des périodes de vent du nord, froid et sec, qui peuvent intervenir tout au long du cycle cultural (avril-mai à septembre-octobre). Depuis 1988, le Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement (Cirad) et le Centre français du riz (CFR), conduisent en Camargue un programme d'amélioration variétale. Il vise à créer des cultivars satisfaisant les producteurs (niveau et régularité de la production), les riziers (rendement industriel et transformation) et les consommateurs (qualités de cuisson et de goût). Les riz cultivés en Camargue appartiennent à la sous-espèce *japonica* d'*Oryza sativa*. L'hybridation constitue la base de création de variabilité. Les descendance sont sélectionnées selon la méthode généalogique associée ou non à l'haplodiploïdisation appliquée à la première génération. La sélection assistée par marqueurs a été récemment introduite afin d'améliorer l'efficacité de la sélection vis-à-vis de contraintes comme les maladies cryptogamiques dont l'occurrence, en rapport avec le climat, est erratique. Vingt-cinq (25) variétés ont été inscrites au Catalogue officiel, parmi lesquelles 5 ont connu un succès certain auprès des producteurs. Les avancées obtenues pour l'aptitude à la levée en conditions anaérobies, la tolérance à la pyrale, le format et le caractère aromatique du grain sont discutées. Les perspectives en lien avec l'évolution des objectifs, tels que le contrôle des adventices ou l'adaptation au changement climatique, sont exposées.

Mots clés : France ; inscription des variétés ; *Oryza sativa* ; riz irrigué ; sélection.

Thèmes : méthodes et outils ; pathologie ; productions végétales ; ressources naturelles et environnement.

Abstract

Rice varietal improvement for Mediterranean France

In France, rice is grown mainly near the Mediterranean Sea, in the Camargue. An irrigated system based on direct seeding on wet land is used. Occurrence of cold periods throughout the crop cycle (April/May-September/October) and the risk of soil salinization are the most important constraints. Since 1988, CIRAD and CFR have been implementing a rice breeding program for the Camargue. It aims at creating cultivars fitting the needs of rice farmers (yield potential and stability), the rice industry (milling and processing qualities) and consumers (cooking and taste qualities). Varieties grown in the region belong to the *japonica* subspecies of *Oryza sativa*. Hybridization is the basis for creation of variability. Progenies are selected using the pedigree method associated or not with haploidiploïdisation applied to the first generation. Marker-assisted selection has recently been introduced to improve selection efficacy for resistance to fungal diseases occurring erratically in relation to climate. So far, 25 varieties have been registered in the European Official Catalogue, of which 5 have proven particularly successful among farmers. Progress achieved for germination in anaerobic conditions, resistance to stem borers, grain shape

Tirés à part : G. Clément

doi: 10.1684/agr.2013.0647

Pour citer cet article : Clément G, Louvel D, 2013. Amélioration variétale du riz pour la France méditerranéenne. *Cah Agric* 22 : 459-65. doi : 10.1684/agr.2013.0647

and other qualities, including aroma, are presented. Prospects in relation to new objectives such as weed control and adaptation to climate change are also presented.

Key words: France; irrigated rice; *Oryza sativa*; plant breeding; plant certification.

Subjects: natural resources and environment; pathology; tools and methods; vegetal productions.

En France, la riziculture est pratiquée aujourd'hui sur environ 20 000 hectares, essentiellement localisés dans le delta du Rhône, près de la Méditerranée. Sans être la zone rizicole européenne la plus septentrionale, la Camargue est l'une des plus sujettes aux variations climatiques estivales, du fait de sa position au sud du sillon rhodanien qui l'expose à des vents du nord froids et secs (Clément *et al.*, 2001). Bien que les préjudices directs occasionnés par les basses températures concernent surtout les stades germination, installation et floraison, les périodes froides intervenant à d'autres stades peuvent aussi avoir des répercussions négatives sur le rendement : limitation du tallage, faible disponibilité de l'azote, moindre efficacité des substances herbicides, allongement du cycle, augmentation de l'incidence de certaines maladies comme la fusariose. Le mistral peut aussi renforcer les problèmes de salinité en induisant la remontée par capillarité du sel dissous dans la nappe phréatique ; ce phénomène est surtout marqué quand les sols sont exondés temporairement en début de cycle pour les oxygéner. Les événements climatiques sont en grande partie à l'origine de la variabilité des rendements moyens (5,6 à 6,4 t/ha).

La riziculture camarguaise est irriguée et mécanisée. L'implantation est faite en semis direct, entre le 20 avril et le 10 mai pour une floraison attendue entre le 20 juillet et le 10 août, période où le risque d'occurrence d'une période froide est le plus faible. Le semis est effectué dans l'eau à la volée, pour minimiser le temps requis, ce qui ne permet pas toujours de maîtriser les densités de peuplement. Cette irrégularité d'implantation est liée à divers éléments : nombre d'années de monoculture du riz, situation abritée/plein vent, qualité de la semence, aptitude

variétale à la germination en conditions anaérobies, réalisation d'un faux semis, ainsi que les températures ou la force du vent, paramètres climatiques dont la prévision au-delà de la semaine reste aléatoire. La récolte débute à partir des 10-15 septembre et peut durer jusqu'à fin octobre en fonction de la précocité des variétés ou de la fréquence et de la force des pluies à cette période.

La riziculture camarguaise coexiste avec un Parc naturel régional vis-à-vis duquel elle s'est engagée dans une démarche de pratiques agricoles respectant l'environnement. Avec son rôle de maintien des équilibres hydriques (apport d'eau douce pendant l'été), elle constitue une composante importante de la préservation de l'écosystème local, mais cela induit aussi des contraintes (prohibition des traitements aériens).

On retrouve en Camargue l'ensemble des ravageurs et pathogènes signalés dans les autres zones rizicoles européennes. Toutefois, et en partie du fait d'un climat changeant d'une année sur l'autre, l'occurrence d'infestations ou d'épidémies pénalisantes reste limitée (trois campagnes à pyriculariose ou à maladies à sclérotés et deux campagnes à fusariose en 20 ans). Cette situation, avantageuse sur le plan agricole, constitue, sauf pour la pyrale dont la pression parasitaire est significative une année sur deux, un inconvénient en termes de sélection puisque les possibilités de criblage *in situ* pour la tolérance sont faibles.

La production camarguaise de riz répond à un marché européen qui a évolué. L'Europe cultivait autrefois des variétés à grain rond adaptées à la réalisation de plats traditionnels comme le risotto ou la paella. Depuis la fin des années 1980, le marché demande plus de riz de format long mince, blanchi ou étuvé. De ce fait, l'obtention de variétés répondant à ce

type commercial est devenue un objectif de sélection important. Ultérieurement, se sont ajoutées des demandes d'industriels portant sur les taux et qualités d'amylose.

Le programme de sélection mis en place vise donc à créer des cultivars satisfaisant les producteurs (niveau et régularité des rendements), les riziers (rendement industriel et transformation) et les consommateurs (qualités de cuisson et de goût). Ce programme initié par l'Institut national de la recherche agronomique (Inra) en 1946 a été repris par le Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement (Cirad) à partir de 1988 et est mené conjointement avec le Centre français du riz depuis 2002.

Matériel et méthode

Matériel végétal

La base génétique disponible pour la Camargue comprend l'ensemble des variétés adaptées à la riziculture sous climat tempéré. Ces variétés appartiennent à la sous-espèce *japonica* d'*Oryza sativa*. Les introductions à partir de zones subtropicales, voire tropicales, ainsi que la participation à des réseaux européens de ressources génétiques du riz, ont permis d'enrichir la gamme disponible en termes de variétés *japonica* et exceptionnellement de variétés *indica* ou « *basmati/sadri* ». Plusieurs études analysant des caractères phénotypiques (Clément *et al.*, 1996) ou des données moléculaires (Luce *et al.*, 1999 ; Courtois *et al.*, 2012) ont montré que les variétés *japonica* de la collection rassemblée en Camargue pouvaient être subdivisées en trois groupes : l'un composé plutôt de variétés originaires des États-Unis, d'Argentine ou d'Australie, et les

deux autres, relativement proches sur le plan moléculaire, composés plutôt de variétés originaires de pays tempérés européens et asiatiques. Le format de grain et la longueur du cycle constituant les principaux caractères discriminant ces groupes ; ce sont aussi les caractères les plus travaillés par les programmes de sélection européens.

La composante tempérée de la sous-espèce *japonica*, a été élargie par introgression de gènes d'intérêt détectés dans des variétés *japonica* tropicales (pour la tolérance à certaines maladies) ou *japonica* tempérées utilisées en zone tropicale d'altitude (pour la tenue au froid). La précocité du parent tropical dans son milieu de culture constitue un critère de choix important pour éviter toute tardiveté excessive dans les descendance. Enfin, pour améliorer le caractère aromatique du grain, le programme s'est intéressé aux variétés *indica* et « *basmati/sadri* », en dépit des difficultés rencontrées dans l'exploitation des croisements génétiquement distants.

Méthode

Le programme de sélection du riz se base sur un triple choix : celui des géniteurs, celui de la création de variabilité et enfin celui de la conduite des descendance.

Les géniteurs sont choisis en fonction de la complémentarité des caractères, de leur origine géographique et de leur aptitude à la combinaison pour un, ou un ensemble de caractères. Les bases d'un tel choix demandent que les caractéristiques des variétés concernées soient précisément décrites mais aussi que leur valeur en croisement soit connue, information qui s'améliore parallèlement à l'implication effective des géniteurs dans les jeux de croisements successifs.

La création de variabilité repose essentiellement sur l'hybridation dirigée ; à l'occasion, d'autres méthodes comme la mutagenèse induite, l'exploitation de la variation protoclonale/somaclonale ou l'utilisation de populations récurrentes sont utilisées.

Pour sélectionner les descendance, la méthode généalogique conventionnelle est utilisée, le choix étant basé sur la valeur propre de la plante en F2, puis sur la valeur combinée plante/

lignée en F3, et enfin sur la valeur combinée lignée/famille à partir de la F4. Entre la culture de la F1 et l'inscription éventuelle d'un génotype au Catalogue européen, il faut compter 10 à 12 campagnes de sélection/fixation du matériel et deux années d'épreuves visant à inscrire au Catalogue européen et/ou à obtenir un certificat d'obtention végétale (COV). Dans certains cas, la méthode généalogique est simplifiée par l'utilisation de l'haplodiploïdisation appliquée dès la F1 ; le produit est alors directement sélectionné sur la base de la valeur en lignée puis en famille en raison de son homogénéité théorique (Courtois, 1988). Parallèlement, les tests d'aptitude à la production de paddy ou à la valeur industrielle peuvent être entrepris, permettant de limiter le temps nécessaire à la fixation des lignées et donc d'aborder rapidement les étapes expérimentales. Étant donné la nécessité d'évaluer la régularité des performances face à variabilité des conditions environnementales, l'haplométhode appliquée en F1 n'a pas toujours permis de raccourcir le temps nécessaire pour une inscription éventuelle. Enfin, puisque la production doit satisfaire des exigences technologiques et commerciales multiples, une série de tests est appliquée dès que le niveau d'homogénéité le permet, soit au plus tôt sur la F4 ; ces analyses concernent le rendement industriel, le taux d'amylose, la courbe d'empesage et le comportement à la cuisson. Cela permet une prédiction du positionnement industriel et commercial du produit.

Résultats

Variétés inscrites au Catalogue

Vingt-cinq variétés (25) ont été inscrites au Catalogue officiel européen, dont 15 ont été ou sont utilisées en culture et 5 ont connu une utilisation large et durable. Le *tableau 1* présente les caractéristiques de ces variétés.

Les inscriptions ont concerné tous les types de grain, de rond à long B, et même jusqu'à long C (standard Surinam), ainsi que des variétés aromatiques. Toutes sont des *japonica*. La plupart de ces variétés sont issues de

l'hybridation dirigée. La seule variété obtenue par mutagenèse est Couachi, qui est le premier mutant de variété *indica* cultivé, inscrite au Catalogue tropical des riz européens pour culture en Guyane française. Si l'utilisation de la variation protoclonale/somaclonale s'est révélée fort intéressante sur le plan de la variabilité génétique, elle n'a pas donné de résultats allant jusqu'à des variétés inscrites, les variants ne présentant pas assez de différences qualitatives avec la variété source pour pouvoir répondre au critère de spécificité lors de l'inscription. Enfin, l'usage de la méthode récurrente est trop récent pour avoir des retombées en termes d'inscription. Parmi les 25 variétés inscrites, 14 sont issues de sélection généalogique conventionnelle et 11 d'haplodiploïdisation. Si une grande partie de l'effort de sélection a porté sur les riz à grain long B, une veille a été maintenue sur les autres catégories de grain, mais aussi sur de nouvelles qualités de grain afin d'anticiper les évolutions et les diversifications de la demande. Les variétés effectivement multipliées et ayant connu une carrière agricole durable (plus de 4 années de culture) représentent 20 % environ des inscriptions au Catalogue.

Avancées sur l'amélioration de caractères spécifiques

Aptitude à la levée en conditions anaérobies

La technique du semis dans l'eau, avec de la semence prégermée ou non, ne permet pas de prévoir, aussi bien qu'en semis en sec, la densité de peuplement qui sera obtenue. Quand les conditions climatiques ou parasitaires sont très agressives (froid tardif, vent violent, parasitisme important), la faiblesse des densités à la levée impose un resemis. Parmi les déterminants de la densité de peuplement, l'aptitude variétale à la levée en conditions anaérobies est un facteur important. Des méthodes, basées sur le comportement des génotypes face à l'occurrence ciblée d'un stress (froid, salinité) après germination, ont été mises au point pour déterminer la tenue au froid d'une série de génotypes (Puard et Clément, 1995 ; Torres, 2004) mais sont lourdes à conduire pour de grands effectifs. Nous avons réservé ces

Tableau 1. Caractéristiques des variétés inscrites au Catalogue officiel.

Table 1. Characteristics of the varieties registered in the Official Catalogue.

Catégorie (format du grain)	Nom de variété	Année d'inscription	Indice (1)	Variété(s) témoin(s)	Impact de la variété (2)
Rond	Gageron	2010	103,0	Selenio, Cigalon	+ (multipliée)
Medium	Carillon	1995	101,6	Lido	-
Long A	Arelate	2001	103,1	Ariete	++ (multipliée)
	Tamarin	2004	106,7	Ariete	-
	Faraman	2005	96,0	Ariete	-
	Sirbal	2007	107,9	Ariete	+
Long B étuvé cuisson rapide	Inca	1995	100,7	Thaïbonnet	++
	Ruille	2002	114,4	Thaïbonnet	++
	Soulanet	2003	118,3	Thaïbonnet	+
	Sambuc	2004	105,9	Thaïbonnet	-
	Mistral	2005	102,8	Thaïbonnet	-
	Albaron	2008	113,6	Thaïbonnet, (Ruille)	+
	Vaccares	2008	109,4	Thaïbonnet, (Ruille)	-
	Vigueirat	2010	109,9	Adret, (Ruille)	+
	Gines	2011	110,4	Adret	++ (multipliée)
	Seyne	2011	104,4	Adret	++ (multipliée)
Long B étuvé RHF	Gallis	2001	100,8	Thaïbonnet	+
	Guixel	2001	99,9	Thaïbonnet	-
	Adret	2007	107,0	Ruille, Thaïbonnet	++ (multipliée)
	Barcarin	2007	114,8	Ruille, Thaïbonnet	-
Long C	Carinam	1997	75,7	Thaïbonnet	-
	Aurelia	2004	101,4	Ruille, Thaïbonnet	-
Aromatique	Fidji	2001	82,4	Thaïbonnet	+
	Aychade	2000	97,0	Thaïbonnet	+
Long B péricarpe coloré	Tam Tam	2002			++ (multipliée)

(1) : l'indice de production est exprimé en % du témoin ; (2) : l'impact est noté selon le code : « + », diffusion limitée (2 à 3 années de culture, quelques centaines d'hectares emblavés) ; « ++ », diffusion substantielle (culture présente pendant plus de 4 campagnes et/ou plusieurs milliers d'hectares emblavés) ; et « - », pas de diffusion ou diffusion restreinte à une année ; multipliée : variété encore utilisée en 2013.

Format de grain : long A : long large (longueur blanchi \geq 6 mm, rapport facial $<$ 3 ; long B : long mince (même longueur mais rapport facial $>$ 3) ; long C : très long mince (longueur blanchi \geq 8 mm).

Tableau 2. Taux de levée et peuplements obtenus pour des variétés récemment inscrites.

Table 2. Seedling survival rate and plant density of recently registered varieties as compared to reference varieties.

Type de grain	Variété	Essais variétaux		Peuplement moyen (plantes/m ²)	Taux de levée (%)	Taux de densité > 200 pl./m ²
		Années	Nombre			
Long B – taux amylose élevé	Thaïbonnet (R)	2005-2009	31	161	23	25
	Adret	2005-2009	43	230	33	63
Long B - taux amylose bas	Ruille (R)	2006-2009	48	303	43	70
	Albaron	2006-2009	35	344	49	89
Long A	Ariete (R)	2004-2010	53	250	36	68
	Sirbal	2004-2010	41	301	43	83
Rond	Selenio (R)	2008-2010	22	258	38	56
	Gageron	2008-2010	22	313	46	93

La densité de semis était de 700 graines/m². (R) : variété de référence.

évaluations au phénotypage de variétés de collection (donc au choix des géniteurs) ou à la détermination de la tenue de lots semenciers.

La sélection des descendances s'effectue donc sans criblage autre que celui, de nature imprévisible, attaché aux conditions de sélection au cours des différentes campagnes. Cette méthode, pour passive qu'elle soit, a permis une amélioration substantielle de l'aptitude à la levée en conditions anaérobies (tableau 2). Chez les riziculteurs, les nouvelles variétés expriment effectivement une aptitude améliorée à la levée en conditions anaérobies : la densité recherchée d'au moins 200 plantes/m² est atteinte dans 82 % des cas en moyenne, contre 55 % pour les variétés de référence. De ce fait, les recommandations de dose de semis des nouvelles variétés sont de 160 à 180 kg/ha, contre 200 kg/ha et au-delà pour la variété de référence Ariete.

Tolérance à la pyrale foreuse de tige

La pyrale (*Chilo suppressalis*) est un des principaux insectes ravageurs du riz en Camargue. Les dommages peuvent être soit directs (panicules blanches, stérilité, diminution du poids de grain), soit indirects (verse et difficulté de récolte), compromettant les rendements en paddy et à l'usinage. L'effet des dégâts directs a été chiffré entre 1,5 et 1,8 t/ha,

soit 25 % du rendement en paddy, et à 5 % environ du rendement en grains entiers blanchis (Goarant *et al.*, 1996). La lutte chimique contre ce ravageur a longtemps constitué l'option principale de contrôle.

Une source de tolérance, imputable à l'établissement graduel d'une couche sclérenchymateuse dure au niveau des nœuds constituant une barrière à la colonisation des tiges par les chenilles du ravageur, a été identifiée. Le transfert de ce mécanisme de tolérance à la pyrale a été facilité par l'héritabilité élevée du caractère (0,83) permettant l'obtention de variétés exprimant une tolérance à la pyrale le plus souvent proche du niveau de la référence Thaïbonnet (figure 1).

Grains aromatiques

En raison de la faveur dont les riz aromatiques bénéficient auprès des consommateurs français (environ 30 % du volume), une sélection de variétés aromatiques adaptées aux conditions de la France méditerranéenne a été entreprise à partir de croisements visant à exploiter la base génétique des variétés aromatiques (*japonica* type Azucena ou Della, *basmati/sadri* et *indica* thaïlandais). Ce travail a permis l'inscription au Catalogue de deux variétés aromatiques – Fidji et Aychade – qui ont connu un succès certain en culture.

Ces deux variétés dérivait de croisements impliquant les types Azucena ou Della, plus aisés à travailler du fait de leur proximité génétique avec les variétés locales et de leur compatibilité avec les conditions camarguaises. Par ailleurs, plusieurs lignées, présentant pour la plupart un faible potentiel de rendement lié à une très faible compacité paniculaire et un grain léger, ont été sélectionnées à partir de croisements génétiquement distants, utilisant une variété de type *basmati* (Basmati C621) introduite par le réseau riz méditerranéen de la FAO, la seule à compléter son cycle en Camargue. Les géniteurs *indica* de Thaïlande n'ont pu être utilisés faute d'adaptation aux conditions climatiques camarguaises.

La sélection pour le caractère aromatique du grain a confirmé la prédominance de la part additive dans le déterminisme génétique du caractère. En effet, le caractère aromatique du grain résulte, pour l'essentiel, de l'accumulation d'acide 2-Acétyle-1-pyrroline, 2-AP (Petrove et Faure, 1996), contrôlé par un gène majeur récessif (Lorieux *et al.*, 1996). Une large gamme d'autres composés, secondaires, agit sur les nuances aromatiques.

Commercialisés par la société Cap Camargue, émanation du Syndicat des riziculteurs de France et Filière, et reconnus « Saveur de l'année 2001 », les riz aromatiques camarguais ont été comparés aux standards internationaux (Maraval *et al.*, 2008).

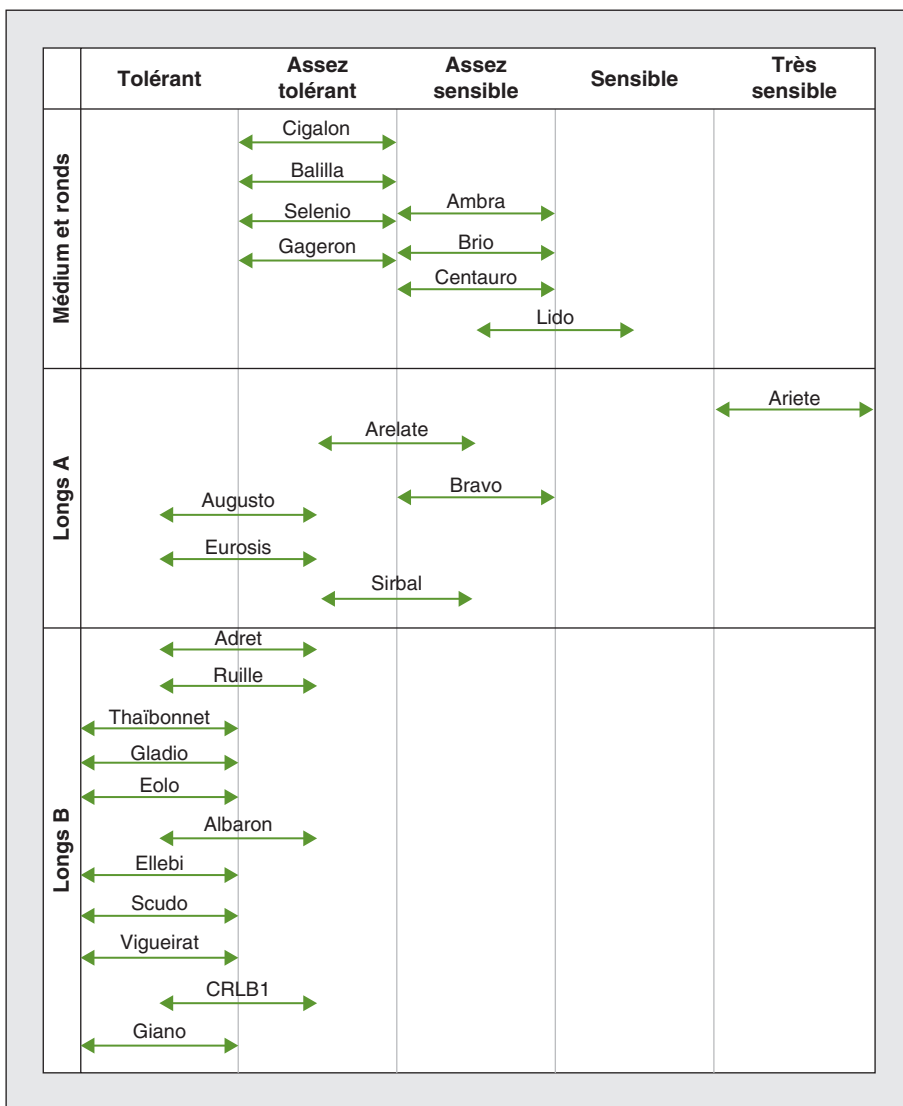


Figure 1. Sensibilité à la pyrale des variétés cultivées en Camargue.

Figure 1. Susceptibility of Camargue rice varieties to stem borer.

Le *tableau 3* donne les indices olfactifs pour les 11 composés les plus discriminants des quatre variétés considérées. Comme attendu, les teneurs en 2-AP discriminent les trois variétés aromatiques (Aychade, Fidji, et la variété thaïlandaise) de la variété non aromatique (Ruille). D'autres composés, particulièrement le (EZ)-deca-2-4-dienal ou le 4-vinylphénol, discriminent les cultivars aromatiques. Boulanger (communication personnelle) a confirmé ce résultat à partir d'un échantillon plus étoffé où un riz basmati vient compléter le panel de variétés testées. Aychade et Fidji

sont bien identifiées comme étant des variétés aromatiques équivalentes aux standards mondiaux en la matière.

Perspectives

Les points d'améliorations possibles du programme concernent essentiellement la capacité à sélectionner de manière régulière, et donc avec une efficacité accrue, les caractères variétaux de tolérance aux contraintes biotiques ou abiotiques dont l'occurrence est faible à l'échelle de la durée

de 10 à 12 années de sélection/expérimentation des descendances d'un croisement.

La sélection assistée par marqueurs peut représenter un outil pertinent pour autant que l'on puisse la mettre en phase avec une évaluation phénotypique prédictive des comportements au champ. Par exemple, pour la recherche de variétés tolérantes à la pyriculariose, le transfert assisté par marqueurs de gènes de résistance déjà engagé constitue, dans la situation d'irrégularité des épidémies, la solution la plus fiable pour garantir le niveau et la durabilité de la tolérance. L'évolution de la riziculture camarguaise vers des systèmes à bas niveau d'intrants chimiques (Mailly *et al.*, 2013) et les changements climatiques amènent à intégrer de nouveaux objectifs et critères de sélection. Le problème d'enhancement est exacerbé par la diminution rapide de la liste des produits herbicides utilisables. Une des options de contrôle des adventices est de différer la date de semis actuelle (fin avril-début mai) à fin mai-début juin. Cela permettrait de diminuer la population potentielle d'adventices par la répétition, avant semis, de cycles de mise en germination/destruction mécanique des adventices. La mise en œuvre de cette option suppose la disponibilité de variétés dont les performances sont peu ou pas affectées par un semis différé. De ce fait, nos demandes d'inscription en cours privilégient les variétés au spectre d'utilisation calendaire large, rendant leur gestion technique plus aisée.

Même si les auteurs sont partagés sur la nature du changement climatique, ils s'accordent sur l'augmentation des températures et la diminution des précipitations qui devrait connaître le pourtour méditerranéen (Blondel, 2010). L'augmentation des températures sera probablement accompagnée d'importantes variabilités interannuelles. C'est ainsi que la dernière décennie a été marquée par une année caniculaire (2003) et une année froide et sèche (2010), avec le parasitisme spécifique associé. Il faut donc que les variétés puissent se comporter convenablement dans des conditions contrastées. La permanence de la sélection dans un lieu donné représentatif de la zone d'utilisation est à même de prendre en compte cette variation et de

Tableau 3. Indices olfactifs de 11 composés volatils du grain de riz pour quatre variétés.

Table 3. Olfactory index of 11 volatile grain components in four rice varieties.

Composé volatile	Seuil de détection (µg/L)	Indice olfactif (OAV)			
		Aychade	Fidji	Thaïlandais	Ruille
2-Acétyle-1-pyrroline	0,10	2 150,00	2 640,00	1 880,00	n.d.
(EZ)-Deca-2-4-dienal	0,07	2 328,57	1 671,43	357,14	257,14
2-Methoxy-4-vinylphenol	3,00	124,35	54,67	187,67	10,87
4-Vinylphenol	10,00	112,70	107,90	n.d.	98,20
(EE)-Nona-1.4-cienal	0,09	74,43	35,21	18,23	38,52
Decanal	2,00	46,00	30,50	53,50	46,00
Hexanal	5,00	13,94	12,27	24,39	8,47
Vanilline	20,00	13,00	6,95	19,95	11,10
Oct-2-enal	3,00	16,00	n.d.	n.d.	n.d.
Indole	140,00	1,80	0,77	0,49	2,81
Acide butanoïque	240,00	1,38	0,91	1,15	0,44

(OAV) : la valeur de l'indice olfactif est le rapport entre la concentration du composé dans le riz cuit et le seuil de détection. n.d : non déterminé, car concentration en dessous de la limite de détection quantitative (d'après Maraval *et al.*, [2008]).

retenir les lignées dont l'aptitude à la production est élevée et la moins affectée par ces variations. L'utilisation comme géniteurs de variétés tropicales *japonica*, a priori mieux adaptées à l'évolution prévisible du climat, a été parallèlement envisagée. ■

Références

- Blondel J, 2010. *Enjeux de la biodiversité face aux changements globaux*. Actes du Forum scientifique "40 ans de recherche au service de la gestion en Camargue", 24 septembre. 40^e anniversaire de la création du Parc Naturel Régional de Camargue, Arles (France).
- Clement G, Delbosc G, Aguilar-Portero M, Ballesteros R, Martins Da Silva L, *et al.*, 2001. Diversités génétiques et ancrage socioculturel : les riz européens veulent valoriser leurs atouts. *Perspectives Agricoles* 264 : 72-81.
- Clement G, Seguy JL, Balal MS, Alionte G, Baeta J, Ballesteros R, *et al.*, 1996. La diversité variétale dans les pays rizicoles de la ceinture Méditerranéenne. Activités de recherche sur le riz en climat méditerranéen. *Cahiers Options Méditerranéennes* 24 : 75-87.
- Courtois B, 1988. La culture *in vitro* pour l'amélioration du riz. *Agronomie Tropicale* 43 : 307-15.
- Courtois B, Frouin J, Greco R, Bruschi G, Droc G, Hamelin C, Ruiz M, *et al.*, 2012. Genetic diversity and population structure in a European collection of rice. *Crop Science* 52 : 1663-75.
- Goarant G, Andre F, Clement G, Betbeder-Matibet M, 1996. La pyrale du riz en Camargue : "nuisibilité". *Phytoma - La Défense des Végétaux* 479 : 26-9.
- Lorieux M, Petrov M, Huang N, Guiderdoni E, Ghesquiere A, 1996. Aroma in rice: genetic analysis of a quantitative trait. *Theoretical and Applied Genetics* 93 : 1145-51.
- Luce C, Risterucci AM, Noyer JL, Feyt H, Tharreau D, Glaszmann JC, 1999. *Microsatellites in rice : characterizing genetic resources for varieties adapted to European conditions*. Proceedings of the Second Temperate Rice Conference. 13-17/06. Sacramento, California (USA). 671-672. Los Baños (Philippines) : IRRI.
- Maily F, Delmotte S, Schaller N, Mouret JC, Lopez-Ridaura S, Barbier JM, 2013. Un modèle de décision d'assolement en riziculture conventionnelle et biologique pour prédire les usages des sols sous différents scénarios : cas de la Camargue (Sud de la France). *Cahiers Agricoles* 22 : 424-31. doi : 10.1684/agr.2013.0662
- Maraval I, Mestres C, Pernin K, Robeyre F, Boulanger R, Guichard E, Gunata Z, 2008. Odor-active compounds in cooked rice cultivars from Camargue (France) analysed by GC-O and GC-MS. *Journal of Agriculture and Food Chemistry* 562 : 5291-8.
- Petrov M, Faure J, 1996. Le parfum des riz, comment reconnaître et caractériser les arômes ? *Agriculture et développement* 9 : 30-6.
- Puard M, Clément G, 1995. *Rice (Oryza sativa) adaptations to environmental stresses of the Camargue (France)*. XIV meeting EUCARPIA "Adaptation in plant breeding", 31 July-4 August, Jyväskylä (Finlande), Poster.
- Torres E, 2004. Evaluación de la capacidad de emergencia de genotipos de arroz (*Oryza sativa* L.) en condiciones de bajas temperaturas. *Foro* 10 : 26-9.