

Stratégie d'évitement en maïs grain dans le Ce

Adapter le cycle aux conditions hydriques par la précocité

La stratégie d'évitement consiste à avancer les stades d'élaboration du rendement par rapport aux périodes de restriction d'eau. Les conditions climatiques de 2005 ont été favorables à l'étude de l'évitement dans les essais d'ARVALIS - Institut du végétal en Poitou-Charentes. Ils permettent de dégager différentes stratégies d'évolution de l'itinéraire technique de la culture du maïs pour s'adapter aux moindres disponibilités en eau liées à des restrictions d'irrigation de fin de cycle.

L'évolution du contexte économique et réglementaire de la culture du maïs grain conduit ARVALIS - Institut du végétal à explorer différentes solutions d'adaptation des itinéraires techniques (*voir Perspectives Agricoles n° 319 - janvier 2006 p. 24*). La succession d'années sèches et à restrictions d'arrosage de plus en plus précoces dans plusieurs bassins de production de maïs grain, ainsi que les reconstitutions insuffisantes des ressources en eau en ce

début d'année 2006, accroît l'urgence de la mise en œuvre de stratégies qui limitent les pertes de rendement et les consommations en eau.

Il s'agit dans cet article de rapporter les premiers résultats d'expérimentations conduites en 2005 en Vendée, Poitou et Charentes sur l'intérêt de choix de variétés plus précoces dans un contexte de dates très précoces d'arrêt d'irrigation de fin de cycle et d'épuisement progressif de la réserve hydrique des sols. Les adaptations étudiées méritent d'être validées dans d'autres contextes, mais offrent des alternatives supplémentaires aux irrigants soumis à des contraintes hydriques croissantes.

L'équation économique de la stratégie de dates de semis et de variétés plus précoces, appelée stratégie d'évitement repose d'une part sur le progrès génétique constaté sur les variétés précoces et demi-précoces, et d'autre part par l'économie de séchage, permettant de compenser en partie leurs rendements légère-

ment inférieurs par rapport à des variétés plus tardives habituellement cultivées. Cette stratégie vient compléter la panoplie de solutions techniques expérimentées par ARVALIS - Institut du végétal en matière de gestion de l'eau, et notamment l'utilisation de l'outil de pilotage Irrinov® adapté aujourd'hui à une large gamme de cultures et de régions.

Identifier des stratégies d'évitement du déficit hydrique

En situation de déficit hydrique, l'objectif de l'évitement est, d'une part, d'esquiver la coïncidence de la période de risque de plus grand déficit en eau et la période la plus sensible de mise en place des composantes de rendement et, d'autre part, de raccourcir la période de consommation en eau de la culture. Les choix techniques qui minimisent les pertes de rendement peuvent varier selon les scénarii les plus fréquents de pénurie de ressource en eau. En régions, à arrê



Josiane Lorgeou
j.lorgeou@arvalisinstitutduvegetal.fr

Alain Bouthier
a.bouthier@arvalisinstitutduvegetal.fr

Jean-Paul Renoux
jp.renoux@arvalisinstitutduvegetal.fr

Guillaume Cloute
g.cloute@arvalisinstitutduvegetal.fr

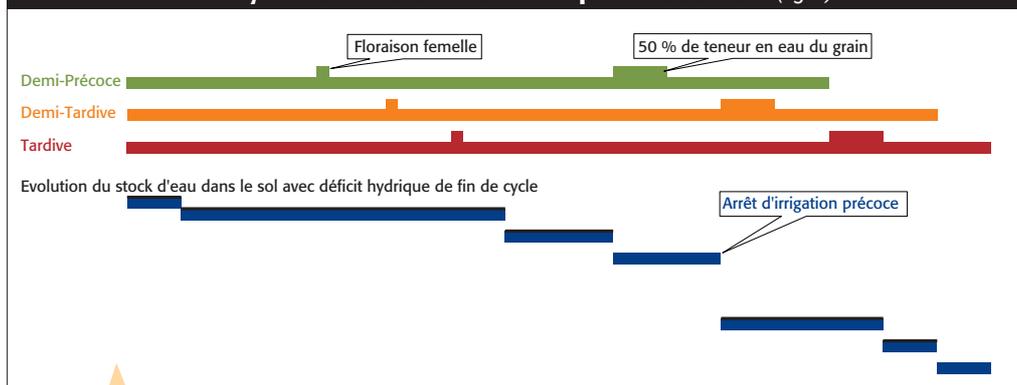
ARVALIS - Institut du végétal

Essais d'"évitement" réalisés par Jean-Pierre Bonnifet et Freddy Faivre

Centre-Ouest

Précipitations sèches ?

Positionnement des stades repères de l'élaboration du rendement de trois types de durée de cycle des variétés face à la disponibilité en eau (fig. 1)



Dans le schéma, la demi-précoce a presque terminé la phase de croissance des grains, alors que l'arrêt d'irrigation intervient en pleine élaboration du poids de mille grains de la tardive.

Estimation des conséquences de stratégies d'évitement basées sur la date de semis et le choix de précocité sur la date médiane de réalisation de quelques stades repères. Données obtenues par analyses fréquentielles climatiques sur la période récente la plus chaude 1990-2005 (tab. 1)

Régions	Poste météo	Type de précocité	Date de semis	Date médiane de floraison	Date médiane du stade 50 % de teneur en eau du grain	Date médiane du stade 30 % de teneur en eau du grain
Sud de la région Centre	Bourges (18)	Précoces	21 avril	11 juillet	20 août	17 septembre
		Demi-précoces	21 avril	15 juillet	25 août	23 septembre
		Demi-tardives	21 avril	23 juillet	6 septembre	10 octobre
Aunis, Plaine de Niort et Vendée	Le Magneraud (17)	Demi-précoces	1 ^{er} avril	7 juillet	17 août	10 septembre
		Demi-précoces	11 avril	10 juillet	19 août	13 septembre
		Demi-précoces	21 avril	13 juillet	22 août	17 septembre
		Demi-tardives	1 ^{er} avril	15 juillet	27 août	23 septembre
		Demi-tardives	11 avril	17 juillet	30 août	26 septembre
		Demi-tardives	21 avril	20 juillet	3 septembre	30 septembre
		Tardives	1 ^{er} avril	19 juillet	4 septembre	30 septembre
		Tardives	21 avril	24 juillet	11 septembre	9 octobre
Plaine de Lyon	Lyon (69)	Demi-précoces	21 avril	6 juillet	13 août	2 septembre
		Demi-tardives	21 avril	13 juillet	22 août	14 septembre
		Tardives	21 avril	17 juillet	27 août	22 septembre
Béarn	Pau (64)	Demi-précoces	21 avril	10 juillet	18 août	11 septembre
		Demi-tardives	21 avril	16 juillet	28 août	22 septembre
		Tardives	21 avril	20 juillet	5 septembre	28 septembre
Vallée de la Garonne	Toulouse (31)	Demi-tardives	21 avril	13 juillet	20 août	10 septembre
		Tardives	21 avril	16 juillet	25 août	16 septembre
		Très tardives	21 avril	20 juillet	31 août	22 septembre

Le réseau d'expérimentation Esquive 2005 en Poitou-Charentes et Vendée (tab. 2)

Sites : commune (département)	Dispositif	Type de sol	Date de semis	Pluie entre 1 ^{er} juin et 30 août	Date dernier apport d'eau sur conduite non limitante sur tout le cycle	Date dernier apport d'eau sur conduite arrêt précoce
Le Magneraud (17)	Essai ARVALIS	Groie profonde	06/04	57	18/08	22/07
St Pierre d'Amilly (17)	Test agriculteur	Groie superficielle	08/04	57	18/08	25/07
Oulmes (85)	Test agriculteur	Groie moyenne	12/04	83	12/08	22/07
Ciré d'Aunis (17)	Test agriculteur	Groie profonde	01/04	78	22/08	18/07
St Martin de Fraigneau (85)	Test agriculteur	Groie moyenne	02/04	83	17/08	23/07
Ste Pexine (85)	Test agriculteur	Limon sableux	01/05	71	23/08	30/07
Bazoches en Pareds (85)	Test agriculteur	Limon	30/04	69	22/08	30/07

précoce de l'irrigation de fin de cycle et de faible pluviométrie estivale, l'évitement consiste à choisir des dates de semis et des variétés plus précoces à cycle de végétation plus court. Il devrait permettre ainsi d'avancer les dates de floraison, qui marquent la phase de définition du nombre de grains par mètre-carré et le début de la croissance des grains vers une période moins déficitaire (figure 1). C'est l'hypothèse retenue de construction des modalités étudiées dans les essais 2005 au vu de la situation hydrologique et climatique la plus fréquente de ces dernières années en Poitou, Charentes et Centre-Ouest.

Ce type d'évitement par rapport au risque de restriction hydrique se justifie moins dans d'autres régions plus chaudes caractérisées par des ressources en eau moins limitées et une plus grande probabilité de retour des pluies en fin d'été.

Installer les composantes de rendement avant les restrictions précoces d'arrêt d'irrigation de fin de cycle

La première étape de l'étude a consisté à apprécier les conséquences de stratégies d'évitement par la précocité sur les cycles de végétation de plusieurs groupes de précocité dans plusieurs régions. Le tableau 1 présente les dates médianes de floraison femelle et de fin de croissance rapide des grains.

Dans les zones de maïs demi-tardif et tardif, l'évitement devient significatif en nombre de jours avec des variétés demi-précoces. Le choix de variétés de fin de groupe demi-précoce C1 ou de début de groupe demi-précoce C2, par rapport aux variétés les plus cultivées actuellement, permet d'avancer le stade 50 % d'humidité du grain de 5 à 10 jours selon les dates de semis et les régions.

Ainsi, pour une variété demi-précoce semée entre le 1^{er}

et le 5 avril en Aunis et Plaine de Niort, la fin de la phase la plus sensible au manque d'eau (c'est-à-dire le stade 50 % d'humidité du grain) est atteinte au 17 août, une année sur deux. Le décalage de cycle se traduit également par un écart d'humidité des grains à la récolte, ce qui permet d'envisager une récolte plus précoce (tableau 1) ou des économies de séchage.

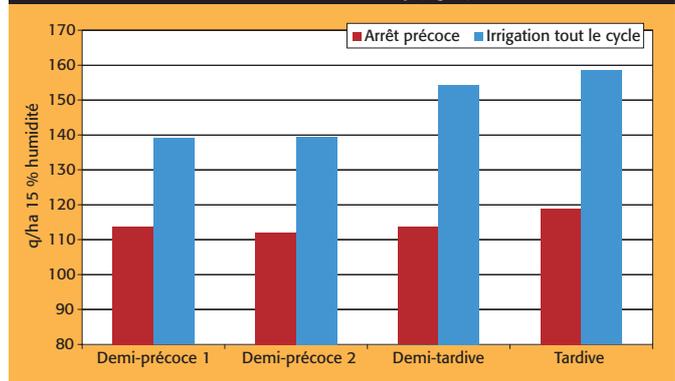
Les décalages de cycles testés expérimentalement par la comparaison de variétés plus précoces dans les essais « Evitements » conduits en 2005 en Vendée et Poitou-Charentes et dans les essais du réseau d'intérêt technique et économique (RITE) confirment ces types d'écarts. En effet, l'objectif a été largement atteint en 2005 comme en témoignent les dates moyennes de réalisation de stades observées sur quelques sites en conditions d'irrigation non limitante. Ainsi, pour des semis de la 1^{ère} décennie d'avril, le stade 50 % était atteint autour du 12 août pour les variétés demi-précoces, soit 7 à 9 jours avant celui des variétés demi-tardives et tardives. Et le 15 septembre, l'écart d'humidité des grains, entre les variétés demi-précoces et les demi-tardives, semées tout début avril, atteignait 8 %, et 12 % avec les variétés tardives, ce qui représentait respectivement 7 jours et 10 jours de décalage de stade.

Les essais RITE du Sud-Ouest, qui comportaient plusieurs types de précocité, montrent aussi, même à des humidités à la récolte très faibles qui estompent les écarts d'humidité du grain, des écarts de 4 à 8 points entre des variétés demi-précoces et respectivement tardives et très tardives.

2005 fournit un scénario idéal pour l'étude de l'évitement

La seconde étape des réflexions sur l'intérêt technique et économique de l'évitement fut la mise en place de plu-

Rendements des 4 variétés selon la conduite d'irrigation (résultats moyens de 2 sites du réseau esquivé 2005, Poitou-Charentes) (fig. 2)



sieurs essais spécifiques combinant des effets de précocité et de régimes hydriques représentatifs des scénarios d'arrêt d'irrigation fréquents en Poitou-Charentes et Vendée.

Les expérimentations, conduites par ARVALIS - Institut du végétal à la station du Magneraud et sur six parcelles d'agriculteurs dans l'Aunis et la plaine de Vendée, portaient sur la comparaison de variétés de référence des groupes demi-précoce, demi-tardif et tardif (variétés qui se sont illustrées en réseau de Post-Inscription), semées début avril en terres de Groies et fin avril en limons selon les conseils de densité en vigueur, et soumises à deux conduites d'irrigation (tableau 2) :

- une conduite d'irrigation non limitante dans le but d'évaluer l'écart de productivité entre groupes de précocité, en l'absence de contrainte hydrique,
- une conduite avec arrêt précoce (dernier apport d'eau entre le 22 et 30 juillet selon les sites, soit 15 à 20 jours après la floraison femelle des variétés demi-précoces) pour tester l'intérêt des variétés plus précoces en situation de restriction hydrique en fin de cycle.

Le déficit hydrique sur la fin du cycle a été, sur l'ensemble des sites, d'une ampleur exceptionnelle en raison d'une pluviométrie quasi nulle et

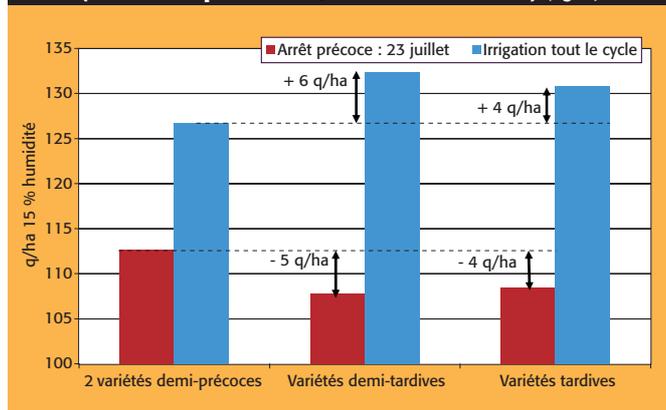
d'une demande climatique élevée, entre le 20 juillet et la fin août. De plus, la pluie de 20 mm enregistrée entre le 20 et 22 août est survenue trop tard, y compris pour les variétés les plus tardives qui étaient alors au stade 40 % d'humidité du grain. Le scénario de pluviométrie de l'année a fourni les conditions les plus dures, donc les plus « favorables » pour exprimer les effets d'une stratégie d'évitement par l'avancement et le raccourcissement du cycle de végétation.

Les figures 2 et 3 montrent respectivement les écarts de rendements brut et net de séchage mesurés sur les deux tests en Groies moyennes et profondes. Toutes les variétés

Avant de conclure sur l'intérêt des différentes stratégies alternatives, il convient de confirmer les références acquises en 2005 sous d'autres scénarii climatiques et de restrictions d'arrosage.



Rendement net de séchage, selon la conduite d'irrigation (réseau esquive 2005, Poitou-Charentes) (fig. 3)



de la modalité "irrigation tout le cycle" ont été irriguées de manière non limitante.

Les niveaux de rendement atteints avec une irrigation non limitante sont élevés. La différence de rendement entre les variétés demi-précoces et les variétés demi-tardives et tardives s'élève en moyenne à respectivement 15 et 19 q/ha (figure 2). Mais compte tenu des écarts d'humidité du grain le jour de récolte (date de récolte identique pour l'ensemble des variétés), les différences de rendement après déduction des frais de séchage diminuent et ne représentent plus que 4 à 6 q/ha (figure 3).

L'arrêt précoce d'irrigation a pénalisé le rendement de 25 à 40 q/ha selon la précocité des variétés (figure 2). Ce qui constitue des pertes conséquentes et confirme encore une fois la bonne valorisation de l'eau par le maïs. Les va-

riétés plus tardives, moins avancées au moment de l'arrêt d'irrigation, ont subi un déficit hydrique plus important et durant la période plus sensible au manque d'eau. Les écarts de rendement brut entre variétés se resserrent par rapport aux données enregistrées dans le régime bien irrigué. Les variétés demi-précoces prennent l'avantage de 4 à 5 q/ha en rendement économique après déduction des frais de séchage (figure 3).

L'avantage des variétés demi-précoces par rapport aux demi-tardives et tardives, en situation d'arrêt précoce, est observé sur l'ensemble des tests, et en particulier dans ceux qui ont subi des restrictions d'irrigation en juillet. La figure 4 montre les résultats de deux tests qui ont reçu moins de 120 mm entre le stade 10 feuilles et fin juillet, alors que les situations correctement irriguées ont reçu

A retenir et recommandations pratiques

Les résultats des essais « Evitement » conduits dans le Centre-Ouest en 2005 mettent en évidence :

- un résultat économique intéressant des variétés demi-précoces qui s'approche, voire dépasse légèrement, celui des tardives en situations de restriction d'irrigation à partir de fin juillet,
- une économie du dernier tour d'eau avec les variétés demi-précoces,
- une économie de frais de séchage qui compense partiellement les pertes de potentiels de rendement due à la précocité,
- la possibilité de récolte plus précoce qui présente aussi un intérêt de gestion de l'interculture et d'implantation d'une culture d'automne en meilleures conditions.

Le domaine de validité des résultats se limite actuellement aux situations suivantes :

- Centre-Ouest,
- sols à réserve hydrique moyenne à bonne qui tamponnent les à-coups,
- restrictions d'irrigation faibles à modérées en juin et juillet, et risque de restrictions fortes à partir de début août,
- potentiels de rendement de l'ordre de 110 à 130 q/ha en l'absence de restriction de fin cycle et avec une irrigation au rythme minimum de 3 à de 3,5 mm/jour selon la profondeur du sol,
- variétés qui ont confirmé des performances agronomiques régulièrement élevées dans les essais de Post-Inscription d'ARVALIS - Institut du végétal.

Il y a nécessité de validation des premiers résultats encourageants au cours de l'année 2006, ce qui implique :

- une confirmation par des données expérimentales dans d'autres scénarios de climats et de restrictions d'irrigation,
- une analyse de l'intérêt de la stratégie dans d'autres régions,
- des tests sur un panel d'hybrides plus large des différents groupes de précocité, car il peut y avoir des différences de comportements entre variétés demi-précoces ou au sein des variétés tardives.

Les solutions pour les maïsiculteurs confrontés à des restrictions d'arrosage en 2006 ?

- cas de scénarios du Centre-Ouest comparables aux essais 2005 : l'évitement par l'adoption sur une grande partie de la sole irriguée de variétés plus précoces de bonne valeur agronomique et la réalisation de semis de début avril, pour les sols qui le permettent, apparaît comme un compromis tant du point de vue économique que de l'impasse du dernier tour d'eau,
- dans les autres cas : les données expérimentales sont encore insuffisantes pour une généralisation. L'intérêt des variétés et des semis plus précoces n'est pas exclu pour autant dans des situations à potentiels moins élevés. Cette alternative mérite d'être tentée sur des petites surfaces.



entre 150 et 180 mm sur cette période.

Ces données suggèrent qu'en cas de restriction forte en fin de cycle (arrêt précoce et année sèche en août), la stratégie d'évitement peut être aussi intéressante dans des situations à débit limitant en juin et juillet. Le domaine d'intérêt d'une telle stratégie apparaît donc plus large que celui supposé *a priori*. Il reste néanmoins à vérifier si ce comportement se confirme dans des conditions hydriques moins sévères en fin de cycle qu'en 2005, avant de proposer cette stratégie dans une plus large gamme de débits d'irrigation.

La stratégie d'évitement contribue aussi à une économie d'eau

L'utilisation de variétés plus précoces laisse *a priori* penser que le besoin en eau peut être moindre, compte tenu du cycle plus court et de rendements inférieurs. La consommation en eau a fait l'objet d'un suivi dans l'essai conduit en 2005 sous les parapluies mobiles de la station du Magneraud. Des analyses périodiques d'humidité du sol ont été couplées à des relevés de tensiométrie, des notations des stades et des mesures d'indice foliaire sur la variété demi-précoce et la variété demi-tardive.

La consommation en eau est équivalente entre les deux variétés jusqu'au stade 50 % d'humidité du grain de la variété demi-précoce, comme le montre la *figure 5*. Les capacités d'extraction d'eau dans le sol se sont avérées comparables. Le décalage de 5 à 7 jours du stade 50 % de la variété demi-tardive conduit à une consommation supplémentaire de 25 à 30 mm, soit l'équivalent d'un tour d'eau. Ceci signifie aussi que le passage à une variété plus précoce ne justifie pas de modification de la conduite de l'irrigation. Les règles proposées par la méthode Irrinov® pour la variété demi-tardive ou tardi-

Sur la station du Magneraud, des analyses périodiques d'humidité du sol ont été couplées à des relevés de tensiométrie, des notations des stades et des mesures d'indice foliaire.



ve sont également applicables à la variété demi-précoce.

Rechercher le meilleur compromis rendement, coût de séchage et densité de culture

L'intérêt économique de variétés plus précoces (au moins d'un groupe de précocité) a été expérimenté dans d'autres régions en 2005.

L'ajout de variétés plus précoces dans plusieurs listes variétales du réseau d'évaluation des variétés en Post-Inscription a permis d'apprécier en 2005 l'effet simultané de la

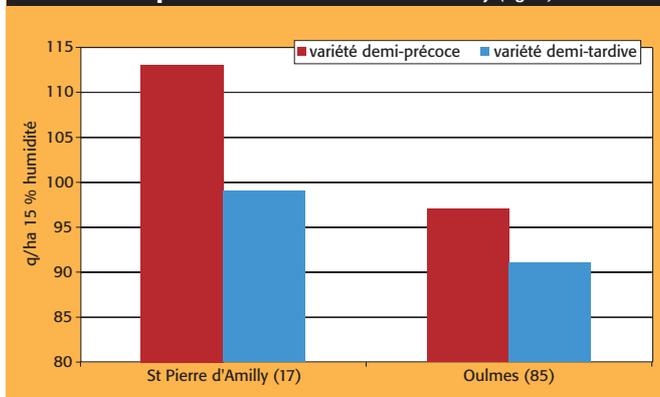
précocité sur le rendement et les coûts de séchage. Les écarts de rendement net (après déduction des écarts de frais de séchage) ne sont pas toujours significatifs. L'ef-

fet précocité n'est pas plus élevé que l'effet de variétés moins productives comparées au sein d'un même segment de précocité.

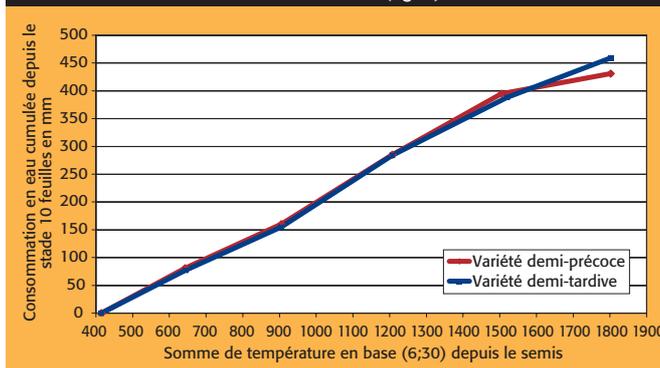
Des essais spécifiques, combinant des effets de groupes de précocité et de densités de culture, visaient à apporter des réponses aux interrogations de nombreux agriculteurs sur l'intérêt d'augmenter la densité de culture de variétés plus précoces pour compenser des surfaces foliaires plus faibles.

Les résultats moyens obtenus sur les 5 essais réalisés dans le Sud-Ouest, en situations d'irrigations peu limitantes, confortent les informations des régimes bien irrigués de l'expérimentation 2005 conduite en Vendée, Poitou et Charentes. Les *figures 6 a, 6 b et 6 c* montrent l'effet de la prise en compte du coût de séchage et des semences sur l'intérêt respectif des différents groupes de précocité. En situations à bon potentiel, le rendement net du coût de séchage (*figure 6 b*) des variétés tardives et demi-tardives est supérieur en moyenne de plus de 10 q/ha (variations de 5 à 20 q/ha selon les essais) à celui des variétés demi-précoces pour des humidités moyennes relativement faibles (écarts de 20 à 27,5 % de teneur en eau du grain sur la *figure 7*), alors qu'il avoisine les 17 q/ha en

Rendements des deux variétés soumises à un arrêt précoce d'irrigation (entre 20 et 25 juillet) sur deux tests conduits en irrigation restrictive en juin et juillet (réseau Esquive 2005, Poitou-Charentes) (fig. 4)

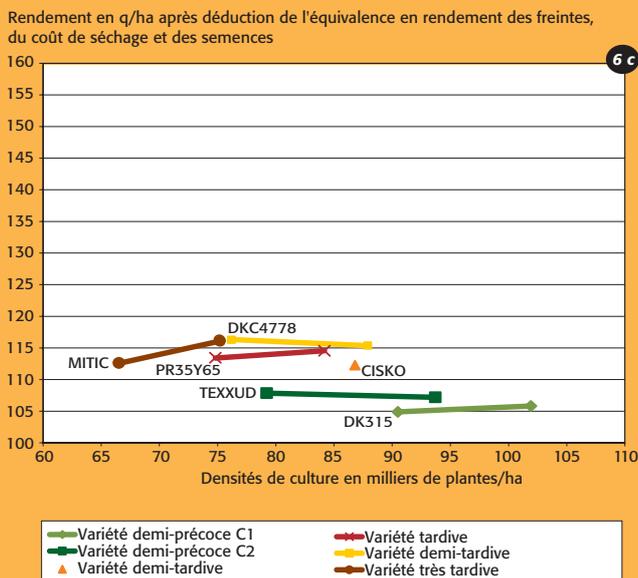
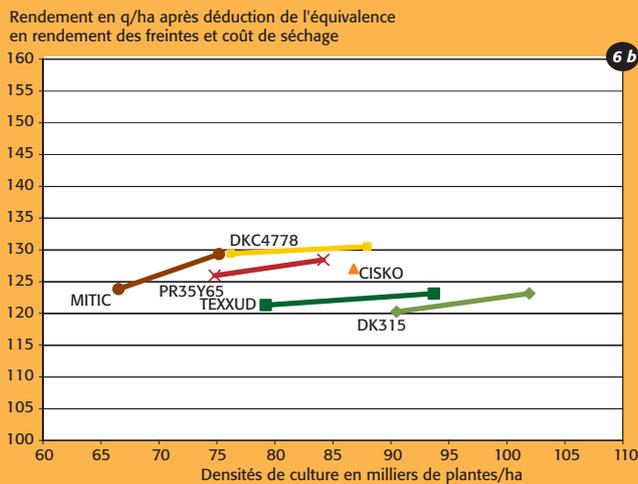
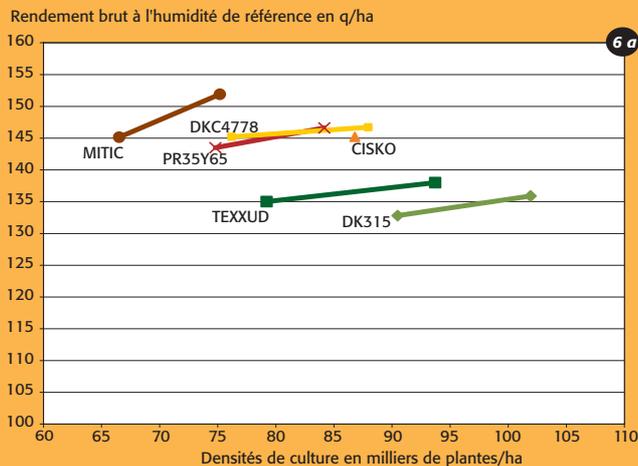


Evolution de la consommation en eau cumulée depuis le stade 10 feuilles dans le régime bien irrigué de l'expérimentation conduite au Magneraud en 2005 : comparaison d'une variété demi-précoce et d'une variété demi-tardive (fig. 5)



Comparaison de rendements biologique et économiques à deux densités de variétés de référence de plusieurs groupes de précocité avec des hypothèses de prix moyens de séchage et semences. Synthèse de 5 essais conduits dans le Sud-Ouest en 2005 (fig. 6)

Essais RITE conduits par les équipes ARVALIS-Institut du végétal du Sud-Ouest
Rendements obtenus en petites parcelles



— Variété demi-précoce C1 — Variété tardive
— Variété demi-précoce C2 — Variété demi-tardive
— Variété demi-tardive — Variété très tardive

rendement biologique (figure 6 a). L'augmentation de 10 000 à 15 000 plantes/ha, bien valorisée en rendement brut (figure 6 a), l'est moins en rendement net (figure 6 c) (hypothèse d'un prix moyen de la dose équivalent entre variétés).

Des références à confirmer dans des scénarii climatiques différents

L'année 2005 fut riche en informations sur la comparaison des effets de facteurs importants de l'itinéraire technique de la culture du maïs.

En situations de déficit hydrique de fin de cycle, une configuration fréquente sur certains bassins de Poitou-Charentes, et Vendée, l'effet de l'irrigation et la valorisation de l'eau par le maïs ont été encore une fois confirmés, avec des écarts de rendement de 25 à 40 q/ha entre les régimes hydriques.

Toutefois, il ressort qu'en cas d'impossibilité de satisfaire correctement les besoins en eau de fin de cycle des variétés habituellement cultivées, des variétés dentées plus précoces, récentes et à bon potentiel de production (se reporter au n° 319 de Perspectives Agricoles) montrent un intérêt indéniable. Utilisation de variétés plus précoces sans changer la date de semis, permet d'avancer les phases critiques de 5 à 10 jours. L'évaluation des effets sur le rendement net de frais de séchage (avec une date de récolte identique entre variétés) montre, sur six essais, que l'utilisation de variétés plus précoces en Vendée, Poitou et Charentes induit une perte de 5 q/ha en situation hydrique favorable en fin de cycle, mais permet un gain du même ordre en cas de restriction hydrique importante. L'intérêt de cette stratégie dépend du contexte hydrique et de l'offre climatique comme le confirment les essais réalisés dans le Sud-Ouest avec des écarts de rendements nets moyens (après déduction des

écarts de frais de séchage et de densités de culture) de l'ordre de 10 q/ha entre des variétés demi-précoces et tardives.

La stratégie d'évitement a abouti en 2005 à un bilan positif en rendement net de frais de séchage et une économie d'un passage d'irrigation.

Avant de conclure sur l'intérêt de cette alternative, il convient de confirmer les références acquises en 2005 sous d'autres scénarii climatiques et de restrictions d'arrosage. En effet, les résultats ne peuvent être dissociés des conditions hydriques extrêmes en 2005, depuis des situations non limitantes jusqu'à des situations sans apport d'eau pendant toute la phase de remplissage de grains. Ils encouragent à poursuivre l'approche expérimentale qui devra être complétée de simulations avec des modèles de culture afin de définir les domaines de validation et de préconisation. ■

Comparaison de teneur en eau du grain à la récolte des essais RITE du Sud-Ouest (fig. 7)

