

Des itinéraires techniques à bas niveaux d'intrants pour des variétés rustiques de blé tendre : une alternative pour concilier économie et environnement

**Bernard Rolland^a, Christine Bouchard^b, Chantal Loyce^b, Jean-Marc Meynard^c,
Hervé Guyomard^d, Philippe Lonnet^e, Gérard Doussinault^a**

^a INRA, UMR Génétique et Amélioration des plantes, BP 35327, 35653 Le Rheu cedex
brolland@rennes.inra.fr

^b INRA, UMR Agronomie Grignon

^c INRA, département Systèmes agraires et Développement

^d INRA, département Économie et Sociologie rurales

^e Florimond Desprez, Cappelle-en-Pévèle

Depuis la première réforme de la Politique agricole commune en 1992, les grandes cultures (céréales, oléagineux et protéagineux) sont confrontées à une nouvelle donne avec le découplage des aides publiques vis-à-vis du volume produit à l'hectare. Le prix de vente des céréales a connu une forte baisse (de l'ordre de 40%) associée à une quasi-stabilité du prix des intrants chimiques (engrais et produits phytosanitaires) et une pression sociétale accrue pour une réduction des pollutions liées à l'agriculture intensive. Dans ce contexte, il convient de se poser la question de l'optimalité des couples « variétés productives-itinéraires techniques intensifs » utilisés majoritairement à ce jour. Plus que la seule désintensification des itinéraires techniques à variétés inchangées, il convient surtout d'examiner dans quelle mesure le choix de nouvelles variétés multirésistantes et d'itinéraires techniques plus économes en intrants chimiques correspondraient, ou non, au nouvel optimum économique pour l'agriculteur.

L'objet de cet article est donc de comparer différents couples « variété-itinéraire technique » en utilisant pour cela les résultats du réseau d'essai « itinéraires techniques pour des variétés rustiques de blé tendre », créé en 1999 à l'initiative de l'INRA, des sélectionneurs du groupement d'intérêt économique (GIE) Club 5 (C.C. Benoist, Florimond Desprez, Serasem et Verneuil Nickerson) et de l'ITCF, devenu depuis Arvalis - Institut du végétal.

De « nouvelles » variétés rustiques

À l'initiative de quelques pionniers, au premier rang desquels figure Gérard Doussinault (1998), l'INRA lançait, dès la fin des années 1960, un programme d'amélioration génétique du blé tendre visant à remplacer les traitements fongicides par l'utilisation de variétés résistantes aux maladies. Ces travaux d'amélioration variétale ont augmenté la diversité génétique du blé par introduction de résistances aux rouilles et au piétin-verse en utilisant une graminée sauvage, *Aegilops ventricosa* (Doussinault *et al.*, 2001). La première variété née de ce programme a été Roazon, inscrite au catalogue en 1976. Au début des années 1980, l'INRA entreprit d'associer la filière céréalière, via les sélectionneurs privés, à ces recherches. Anticipant la demande et aidée en cela par les modalités d'inscription au catalogue des variétés qui octroient un bonus aux variétés tolérantes aux maladies (Mistou, 2001), la sélection a abouti à l'inscription de Renan en 1989. Cette variété n'a pas eu un fort développement parce que son potentiel de rendement est insuffisant en conduite intensive à un niveau élevé de charges opérationnelles. On notera toutefois que Renan est aujourd'hui la première variété de blé tendre cultivée en Agriculture biologique (AB) en France et qu'elle est, aussi, bien diffusée en Allemagne et en Autriche. C'est à partir de 1995 que sont apparues de nouvelles variétés qu'il est possible de qualifier de réellement rustiques : ce nouveau type variétal associe, comme jamais auparavant, résistances aux maladies et à la verse à une productivité élevée. Font partie de ce groupe, dans l'ordre chronologique d'inscription au catalogue français, les cultivars Balthazar, Oratorio, Folio, Virtuose, Farandole, Forban, Aubusson, Vercors, Caphorn... Quand débute notre étude, en 1999, ces variétés restent encore très peu cultivées ; ainsi elles représentaient, en 2000, à peine 5% de la sole française de blé (enquête ONIC, juin 2000).

De nouveaux itinéraires techniques

La mise au point d'itinéraires techniques adaptés au nouveau type variétal s'est appuyée essentiellement sur les travaux menés depuis une vingtaine d'années par l'INA Paris-Grignon et l'INRA. Ceux-ci ont montré qu'un recours moindre aux traitements fongicides était d'autant moins risqué que l'on réduisait simultanément la fertilisation azotée précoce et la densité de plantes, facteurs favorisant le développement des maladies comme le piétin-verse, la septoriose et l'oïdium (Meynard, 1985, 1991 ; Meynard et Girardin, 1993 ; Saulas et Meynard, 1998 ; Leleu *et al.*, 2000). Ces réductions de la fertilisation azotée et de la densité de semis concourent également à diminuer le recours aux intrants et contribuent à renforcer la résistance à la verse. Meynard (1991) a montré comment l'utilisation de modèles agronomiques simples pouvait permettre de définir des réductions équilibrées des différents intrants en fonction de l'objectif de rendement. Loyce (1998) a mis au point des itinéraires techniques adaptés aux exigences de la production d'éthanol de blé : pour un prix du blé très bas (7,6 € par quintal) et des contraintes environnementales fortes, les itinéraires techniques sélectionnés associent : (1) variétés multirésistantes aux maladies, (2) doses d'engrais réduites, (3) densité de semis plus faible, (4) suppression des traitements fongicides et (5) suppression des régulateurs de croissance.

Au début des années 1990, plusieurs programmes de recherche et développement ont été mis en place pour étudier si la baisse des prix provoquée par la réforme de la PAC ne pouvait pas être compensée par une réduction des intrants dans le cadre de systèmes agricoles intégrés. « Un système intégré correspond à une approche globale de l'utilisation du sol pour la production agricole, qui cherche à réduire l'utilisation d'intrants extérieurs à l'exploitation (énergie, produits chimiques) en valorisant au mieux les ressources naturelles et en mettant à profit des processus naturels de contrôle et de régulation » (Viaux, 1999).

En d'autres termes, il s'agit d'une agriculture (plus) autonome, (plus) économe et (plus) respectueuse de l'environnement. Le terme de système intégré peut être source d'un grave malentendu : nous y revenons dans l'encadré n°1.

Les premiers résultats des études mises en place au début des années 1990 furent mitigés. Pour une large part, cela est dû au fait que l'offre variétale était encore insuffisamment diversifiée. Les systèmes à niveaux d'intrants réduits étaient donc le plus souvent conduits avec les mêmes variétés que les systèmes intensifs. Dans les essais suivis par la chambre d'agriculture de Charente-Maritime dans des terres superficielles à faible potentiel, Soissons, qui n'est pas une variété rustique, était testé à trois niveaux d'intensification pendant 4 ans :

objectif de rendement normal (ITK1), objectif de rendement ITK1-10% (ITK2) et objectif de rendement ITK1-20% (ITK3). Avec un prix de vente du blé de 12,2 €/q, dans 21 cas sur 24, les marges obtenues en ITK2 étaient supérieures à ITK1 (Dubois et Delphin, 1996). En Normandie et Picardie, un important dispositif pluriannuel d'essais, mené par l'ITCF et les chambres d'agriculture, 27 essais avec 4 niveaux d'intensification de 1989 à 1993, avait bien montré l'intérêt croissant des conduites économes en intrants, dans un contexte de baisse du prix du blé, mais sans jouer sur le paramètre « variété » (Viaux, 1999). Mais, à la fin de la décennie 1990, il n'est pas exagéré de dire que peu avaient déjà perçu la nécessité de réfléchir simultanément en termes de réduction des intrants et de nouvelles variétés. À titre d'illustration, ni l'étude de Desoubry (1999) sur les réductions d'intrants, ni l'étude de Bodson *et al.* (2000) sur la protection fongicide intégrée ne se placent dans une perspective d'exploitation simultanée de la diversité variétale.

En 1999, il nous est apparu que l'existence de nouvelles variétés rustiques associées à des systèmes de cultures intégrés pouvait offrir une alternative à une fonction de production céréalière héritée des années 1980, qui associe une variété à très haut potentiel, en l'absence de facteurs limitants, à une conduite de culture reposant sur des intrants administrés dans le cadre d'une stratégie d'assurance. C'est en vue de comparer les performances économiques et environnementales de ces deux manières contrastées de cultiver le blé et, plus généralement, de déterminer, dans différentes régions, les combinaisons « variété-itinéraire technique » les plus intéressantes selon le double point de vue économique et environnemental, que l'INRA, les sélectionneurs regroupés dans le GIE « Club 5 », et Arvalis - Institut du Végétal ont mis en place un réseau d'expérimentation et pluriannuel.

Conception d'itinéraires techniques adaptés aux variétés rustiques

La variété est le pivot d'une conduite de culture basée sur une approche globale de la gestion de l'itinéraire technique. On cherche ici à minimiser les utilisations des intrants en jouant sur le système de production lui-même, pour réduire, entre autres, les risques parasitaires. Par exemple, une maladie foliaire comme l'oïdium régresse dès que la fumure azotée est rationnée.

Encadré n°1

Intégré, un adjectif qui peut fâcher

Dans leur lexique des qualificatifs de l'agriculture, Pervanchon et Blouet (2002) précisent un grand nombre de définitions. Le concept d'agriculture intégrée trouve son origine dans l'expression « lutte intégrée » qui qualifie, *en productions végétales*, un type de lutte alliant la lutte biologique à des moyens de lutte chimique raisonnés (Ferron, 1999). Ensuite, la lutte intégrée a été élargie à la « protection intégrée » par l'ajout de mesures phytotechniques pour réguler les populations de ravageurs. En ajoutant l'ensemble des techniques de production ainsi que la gestion de l'exploitation à la notion de protection intégrée, est née l'expression « production intégrée » élargie à celle d'« agriculture intégrée ».

Le malentendu vient de la connotation très négative de l'adjectif intégré quand il s'applique aux *productions animales*. L'élevage intégré est vu comme le stade ultime de l'industrialisation, l'éleveur de volailles ou de porcs n'y étant qu'un travailleur à façon, privé de toute initiative. Selon le public auquel on s'adresse, il paraît utile de clarifier quelques définitions pour dépassionner le débat.

En pratique, on recherche une cohérence globale au niveau des règles de décision qui définissent l'itinéraire technique : semis (assez) tardif et clair (60% de la densité de semis recommandée régionalement) d'une variété rustique ; ce semis clair couplé à la suppression de l'apport d'azote au tallage (mal valorisé par les plantes et donc potentiellement polluant) et à une réduction de la dose totale d'azote apporté (de 30 à 60 kg/ha) permet de supprimer le régulateur de croissance ; variété multirésistante, réduction du peuplement et de la fertilisation azotée permettent de limiter la pression parasitaire et donc d'alléger, voire parfois de supprimer, la protection fongicide ; enfin, l'apport d'azote tardif, au stade gonflement ou épiaison, vise à préserver la qualité technologique des grains (en maintenant une teneur en protéines satisfaisante).

En revanche, selon la logique interne des systèmes intensifs, où l'objectif est d'atteindre un rendement maximisé, tout est organisé pour faire disparaître les facteurs limitants par un recours important aux intrants.

Description des itinéraires techniques

Quatre itinéraires techniques (ITK) sont comparés (tab. I) :

- **ITK1** : itinéraire potentiel où l'on cherche à atteindre le rendement maximum permis par le sol et le climat (atteint 2 années sur 10), en levant toutes les contraintes par une stratégie d'assurance. En fait, on y reproduit la conduite des essais du Comité technique paritaire de la sélection (CTPS) pour l'évaluation de la productivité des variétés, qui servent de base à l'inscription au catalogue (essais VAT pour la conduite « traitée » contre les maladies).

L'itinéraire de référence **ITK2** : intensif raisonné (ou conseillé), qui vise un rendement élevé avec un objectif calé sur le rendement régional atteint une année sur deux, selon les recommandations d'Arvalis et/ou des chambres d'agriculture. C'est la conduite régionale conseillée pour des variétés à haut potentiel (Isengrain, Trémie).

- **ITK3** : itinéraire intégré où l'on vise une diminution des intrants dans une logique de réduction calculée des risques (verse, maladies) et où la baisse du rendement est acceptée (l'objectif de rendement est réduit de 10 q/ha par rapport à celui de l'ITK2).

- **ITK4** : itinéraire extensif, avec une réduction très importante des intrants correspondant à la recherche d'une maximisation de la marge pour un prix du blé avoisinant le cours mondial (de l'ordre de 76 € par tonne).

Dans tous les itinéraires techniques, une teneur en protéines supérieure à 10,5% est visée par un apport d'azote au stade gonflement. Travail du sol, désherbage et protection contre les insectes sont communs à toutes les conduites. D'une année et d'un lieu à l'autre, les niveaux d'intrants pour un même itinéraire technique peuvent être différents mais les règles de décisions sont communes.

Tableau I. Les 4 itinéraires techniques testés

	itinéraire	Dose semis Grains/m ²	Azote Kg/ha	Nombre d'applications			Charges opérationnelles***		Objectif rendement
				N	régulateur	fongicide	moyennes	écart type	
ITK1	potentiel	250 à 350*	ITK + 30	3	1	3	458	54	100
ITK2	intensif	250 à 350*	90 à 250**	3	1	2	379	61	90
ITK3	intégré	60% ITK2	ITK 2-30	2	0	1	254	58	80
ITK4	extensif	60% ITK2	ITK 2-60	2	0	0	184	53	70

*dose de semis recommandée, variable selon les lieux ; **variable selon les lieux, calcul par méthode du bilan ; ***en euros/hectare.

Choix des variétés

L'organisation du réseau se fait avec deux niveaux de références variétales. D'une part, une référence nationale représentée par 3 variétés témoins présentes dans tous les essais et, d'autre part, une référence régionale représentée par des variétés communes à tous les essais d'une même région.

Les témoins nationaux (présents sur tous les sites) sont deux variétés très productives, bien adaptées à l'intensification et largement cultivées, Isengrain et Trémie, et une variété rustique, Oratorio, choisie pour la stabilité de sa productivité (elle donne le plus faible écart de rendement entre les traitements « traité contre les maladies » et « non traité contre les maladies » après Renan). Ces témoins correspondent, à l'échelle nationale, à un compromis « acceptable » entre précocité, productivité et rusticité. Les autres variétés étudiées (2 ou 3 par site) sont considérées comme potentiellement rustiques au vu des résultats du CTPS : Apache, Balance, Balthazar, Caphorn, Cézanne, Charger, Farandole, Forban, Ornicar, Rumba, Séquoia, VH97-115 (hybride) et Virtuose. Le choix des variétés rustiques est régionalisé : Nord et Picardie (Cappelle-en-Pévèle et Prèmesques, Estrées-Mons), Bretagne et Bassin Parisien (Bignan, Rennes, Orgerus, Verneuil), Est (Dijon), Centre (Lusignan, Le Louroux, Thizay et Clermont-Ferrand) et Sud-Ouest (Toulouse) - voir la figure 1, ci-dessous, pour la localisation de ces sites.

Dispositif expérimental

Après une première année pilote, destinée à caler l'expérimentation, le réseau d'essais a été structuré en 1999/2000. Les 13 sites expérimentaux se répartissaient entre les 3 partenaires : INRA (6 essais), GIE Club 5 (4 essais) et Arvalis-Institut du végétal (2 essais), et une implantation de la Chambre d'Agriculture du Morbihan.

Dans chacun des 13 sites, 2 ou 3 variétés, supposées adaptées aux conduites à intrants réduits, sont comparées avec les trois témoins nationaux sur les quatre itinéraires techniques. Variétés et itinéraires techniques sont croisés dans le dispositif expérimental retenu, chaque combinaison variété-itinéraire technique étant répétée 3 fois, dans un essai en split-plot¹. Pour des raisons de faisabilité, une seule date de semis (moyenne, pas trop précoce) et un seul type de travail du sol sont retenus pour chaque essai, ainsi qu'un même désherbage de post-levée.

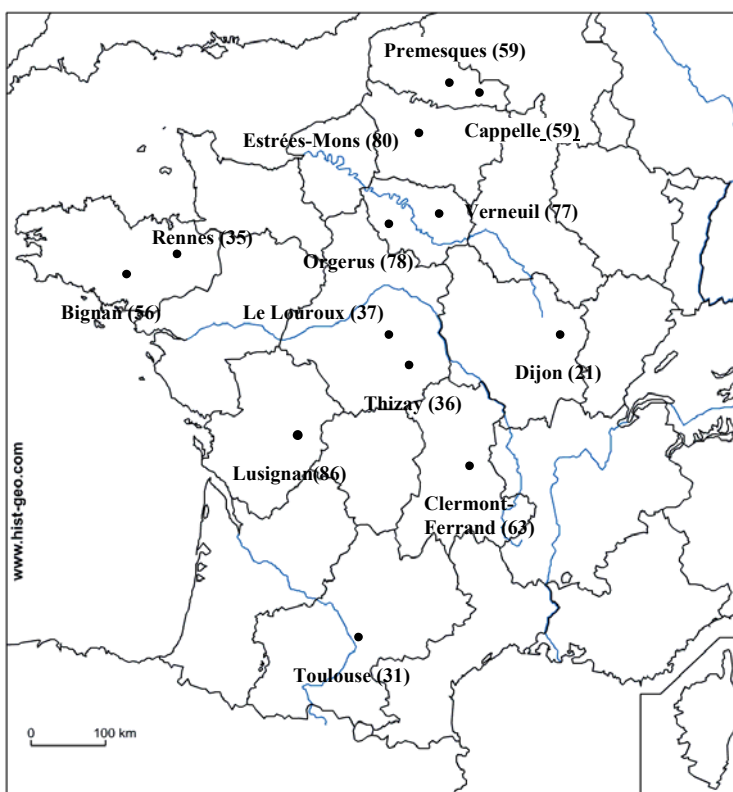


Figure 1. Le réseau d'essais (1999-2002)

¹ Voir, par exemple, Probabilité et Statistique pour le DEA Biosciences, par Avner Bar-Hen, à www.imep-cnrs.com/avner/Dea_u3/Dea_u3.html

Un tiers des essais n'a pu être retenu pour la synthèse des résultats du fait de facteurs limitants à l'origine d'hétérogénéités mal contrôlées par le dispositif expérimental (levée irrégulière, stress hydrique...). Ces essais peu précis, dont l'écart type résiduel sur la variable « rendement » est supérieur à 5 q/ha, ont été éliminés du regroupement. Au final, 22 essais ont été conservés : 7 en 2000, 8 en 2001, 7 en 2002.

Résultats agronomiques : un bon comportement des variétés rustiques sous intrants réduits

Sans régulateur de croissance et sans fongicide, les variétés rustiques permettent une maîtrise correcte de la verse et des maladies.

Ceci est clairement illustré par l'essai 2001 de l'INRA de Rennes. En 2001, la pression parasitaire provoquée par le piétin-verse, *Tapesia yellundae*, fut forte en ce lieu. Néanmoins, la maîtrise des maladies a été aussi efficace par la résistance génétique que par la lutte chimique : en ITK3 et ITK4, pour Oratorio et Virtuose, qui possèdent le gène majeur de résistance Pch1, le développement du piétin-verse fut équivalent à celui observé en ITK1 avec application d'un fongicide anti-piétin-verse spécifique sur les variétés sensibles Isengrain, Ornicar et Trémie (fig. 2).

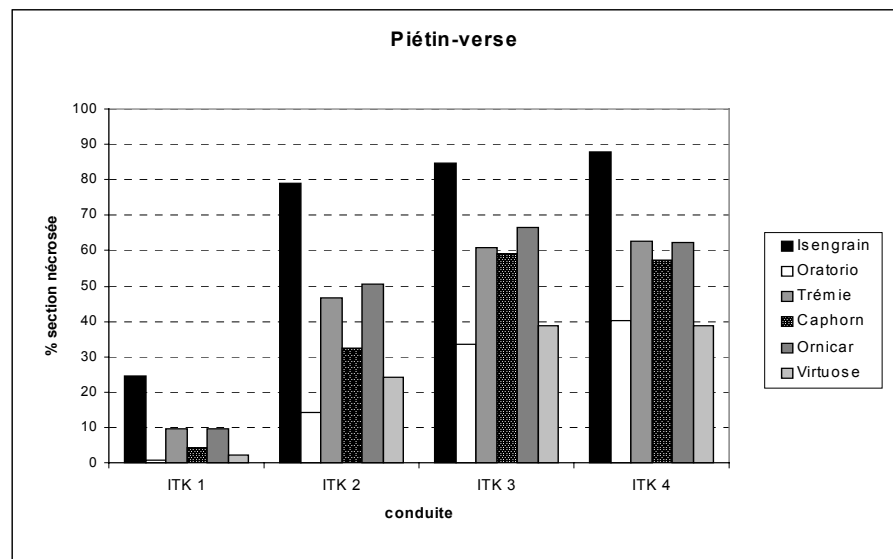


Figure 2. Notes de piétin-verse selon les variétés et les itinéraires techniques (Rennes, juin 2001)

À Lusignan, en 2002, pour une notation d'attaque parasitaire réalisée début juin (fig. 3), la réduction de la protection fongicide, d'ITK2 en ITK4, se traduit par une augmentation des dégâts sur toutes les variétés. Toutefois, en ITK3, le fongicide unique associé à la résistance variétale permet un bon contrôle de la septoriose (causée par *Septoria tritici*) pour Apache, Caphorn, Farandole et Oratorio (notes d'attaques par les maladies inférieures ou égales à 4 sur une échelle de 1 à 9). Sans fongicide en conduite 4, Farandole et surtout Oratorio restent encore à des niveaux de développement de la maladie (notes inférieures ou égales à 5) sans conséquences sur le rendement. En l'absence de traitement, Oratorio n'est pas plus touchée que ne le sont Isengrain et Trémie dans les conduites intensives avec deux ou trois fongicides (fig. 3). Le même constat peut être fait pour les rouilles jaune et brune. Enfin, la stratégie d'assurance de l'ITK1 en matière de protection fongicide, avec trois

Encadré n°2 Échelle des notes visuelles de sensibilité aux maladies et à la verse

Piétin-verse, de 0 (pas de symptômes) à 4 (100% de la tige nécrosée)

Septoriose, de 1 (pas de symptômes) à 9 (100 % du feuillage nécrosé)

Verse, de 1 (pas de symptômes) à 9 (100 % de la parcelle versée)

applications, n'apporte pas de plus par rapport à l'ITK2 et ses deux traitements.

À Verneuil, en 2000, la variété Oratorio présente une résistance élevée à la verse mécanique. Chez les autres variétés, la sensibilité à la verse décroît de la conduite 1 à la conduite 4, la réduction conjointe de la densité de semis et de la fertilisation azotée permettant l'impasse sur le régulateur de croissance (fig. 4).

Au total, il apparaît que la réduction coordonnée des intrants (dose de semis, engrais azoté, régulateur de croissance, fongicide) présente peu de risques agronomiques si elle s'accompagne de l'emploi de variétés multirésistantes telles que Oratorio, Farandole ou Virtuose.

La liaison bien connue entre niveau d'intrants et rendement est confirmée. Plus les apports d'intrants sont faibles, plus les rendements sont bas. Il y a donc, pour une même variété, diminution du rendement quand on passe de l'ITK1 à l'ITK4. Cette tendance générale n'est pas uniforme selon les variétés. Le passage de l'ITK1 à l'ITK4 se traduit par une baisse du rendement plus forte pour les deux variétés témoins productives, Isengrain et Trémie, que pour la variété rustique, Oratorio (fig.

5). Pour les deux variétés productives, la baisse est significative quand on passe de ITK2 aux ITK moins consommateurs d'intrants. Il y a, en outre, une forte variabilité de cette diminution selon le lieu et l'année : de 5% à 45% selon la variété, le lieu et l'année. En conditions extrêmes, très favorables aux maladies et à la verse, Trémie peut perdre plus de 40 q/ha, comme à Estrées-Mons et à Rennes, en 2000.

En présence de forts facteurs limitants « maladies », les variétés multirésistantes ont une meilleure aptitude à maintenir leur rendement. L'interaction sur le rendement entre conduites et variétés est observée pour 4 essais sur 7 en 2000, 6 sur 8 en 2001 et 6 sur 7 en 2002. Ainsi, à Orgerus en 2001, avec une forte attaque de rouilles jaune et brune, le choix variétal a eu une incidence significative sur les résultats des conduites, les rendements d'Isengrain, Balance et Ornicar perdent 20 q/ha en intrants

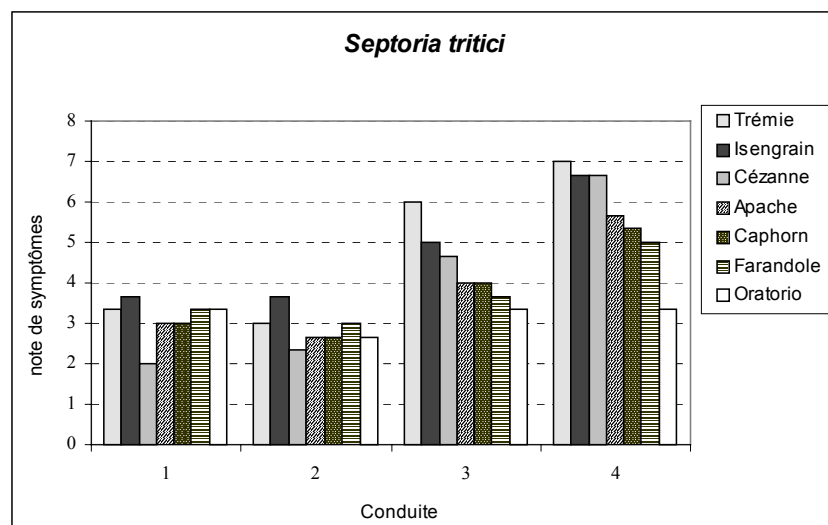


Figure 3. Notes de septoriose selon les itinéraires techniques et les variétés (Lusignan, juin 2002)

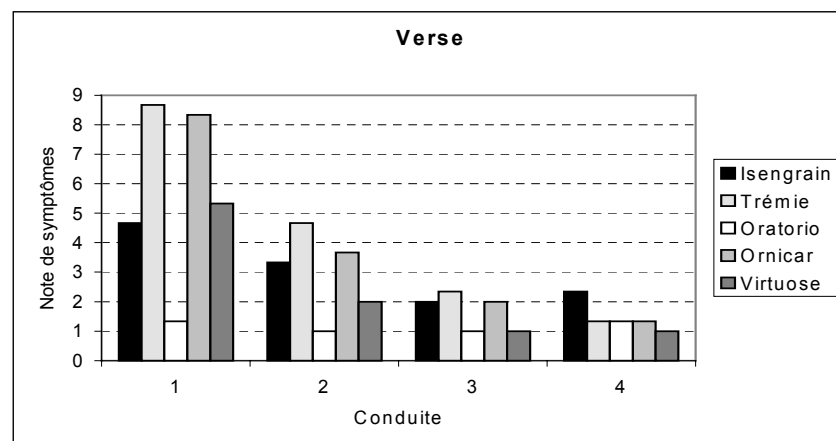


Figure 4. Verse mécanique selon les itinéraires techniques et les variétés (Verneuil, juin 2000)

réduits (ITK3 et 4). La hiérarchie des variétés est alors modifiée entre les itinéraires intensifs (ITK1 et 2) et intrants réduits (ITK3 et 4). À l'opposé, Clermont-Ferrand et Dijon sont des lieux où la pression parasitaire est faible, le rendement entre conduites y est peu variable et les classements variétaux ne sont pas bouleversés entre les conduites (fig. 6).

La qualité technologique des grains est appréciée au travers d'un seul paramètre, la teneur en protéines des grains. L'une des critiques parfois adressées aux itinéraires techniques à bas niveaux d'intrants est la mauvaise qualité technologique des grains, à savoir l'obtention de teneurs trop faibles en protéines, inférieures au seuil de 10,5% en dessous duquel le blé tendre n'est plus considéré comme « interventionnable ». Lors de la campagne pilote 1998-1999, le rationnement de l'azote pour les ITK3 et 4 avait eu pour conséquence une diminution de la teneur en protéines. Par la suite, un apport tardif (avant l'épiaison) et systématique de 40 kg/ha d'engrais azoté a permis d'obtenir des teneurs acceptables dans la plupart des sites. Les teneurs en protéines sont sous la triple influence de la génétique, des itinéraires techniques et des conditions pédo-climatiques : comparé à Isengrain et Trémie, Oratorio a des teneurs plus élevées (2000 et 2002) ou, plus rarement, égales (2001 avec Isengrain) ; les conduites intensives (ITK1 et ITK2) ont des niveaux supérieurs aux conduites à niveaux d'intrants réduits (ITK3 et ITK4) ; à la récolte 2001, les teneurs obtenues sont particulièrement faibles (fig. 7, ci-après).

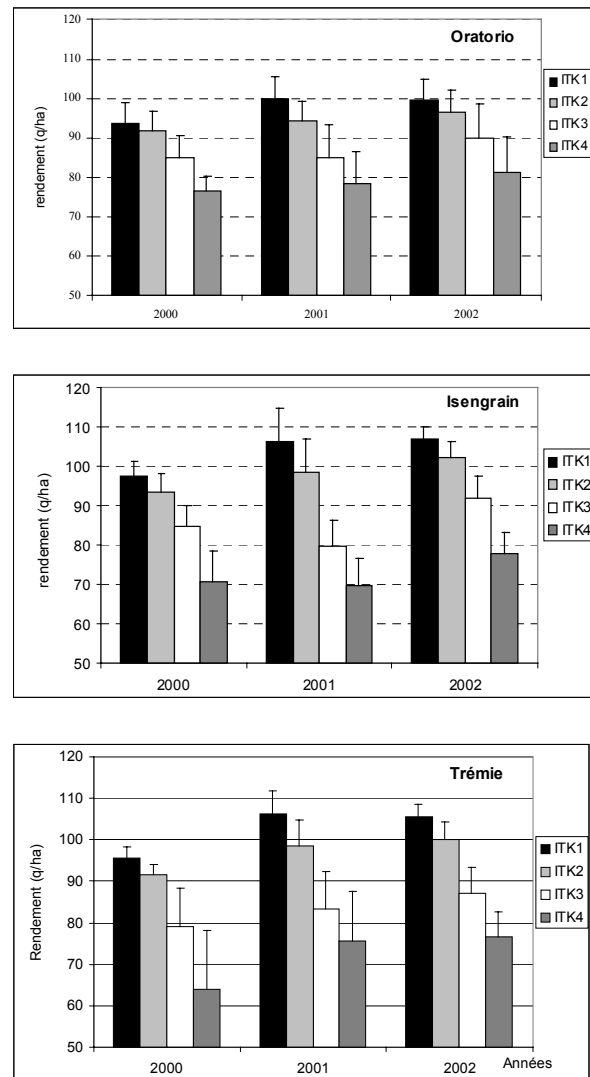


Figure 5. Évolution du rendement en fonction de la conduite pour les trois témoins

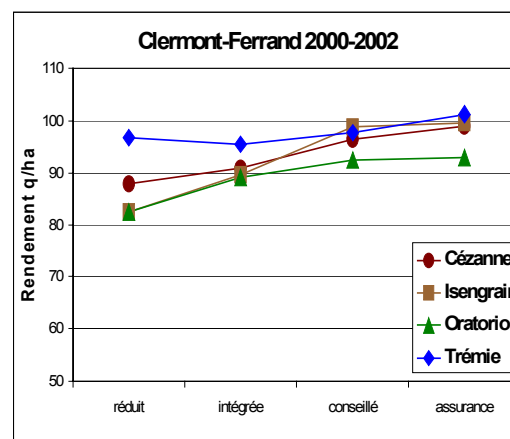
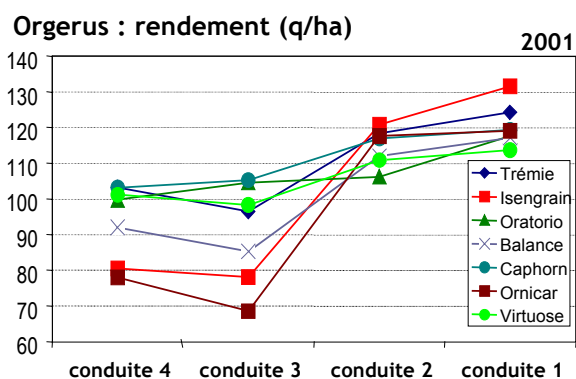


Figure 6. Évolution du rendement dans 2 essais en fonction de la variété et de la conduite

Enfin, concernant la qualité sanitaire des grains, les analyses des teneurs en mycotoxines réalisées par Arvalis, en 2002, sur les récoltes de Thizay et du Louroux semblent montrer qu'il n'y a pas de risque sanitaire accru dans un itinéraire technique dont les intrants sont réduits : les teneurs en désoxynivalénone (DON) ne varient pas significativement selon les itinéraires techniques.

Des résultats économiques encourageants pour des conduites à bas niveaux d'intrants

Le calcul des charges opérationnelles est basé sur un référentiel national commun pour les prix des intrants et les coûts des passages. Pour chaque couple « variété-itinéraire technique », les marges brutes ont été calculées par différence entre le produit par hectare - quantité récoltée x (prix annuel - réfections protéines et poids spécifique) - et les charges opérationnelles. La réduction des charges est forte d'un itinéraire technique à l'autre (tab. I) : par rapport à la référence ITK2, la réduction est de 35% pour l'ITK3 et de 50% pour l'ITK4 ; par rapport à ITK1, elle est de 50% pour l'ITK3 et de 65% pour l'ITK4 (fig. 8).

Il faut signaler que les niveaux de charges opérationnelles (semences, azote, produits phytosanitaires et coût des passages) sont proches de la réalité des exploitations agricoles².

Si les règles de décision sont communes à tout le réseau d'essai, les niveaux de charges opérationnelles diffèrent parfois fortement d'un site à l'autre. Ainsi en 2002, l'essai d'Orgerus (78), où le précédent est une pomme de terre et où les problèmes de mauvaises herbes sont importants, a été beaucoup plus consommateur d'intrants que l'essai de Rennes, implanté après une féverole, sur une parcelle avec peu de flore adventice. À 335 €/ha, les charges de l'ITK1 de Rennes sont équivalentes à celles de l'ITK4 d'Orgerus.

² Une comparaison entre l'itinéraire de référence ITK2 et les chiffres disponibles pour la Bretagne et pour le Poitou le confirment, en effet les écarts sont inférieurs à 30 € (source Cogedis, site Internet : www.cogedis.com).

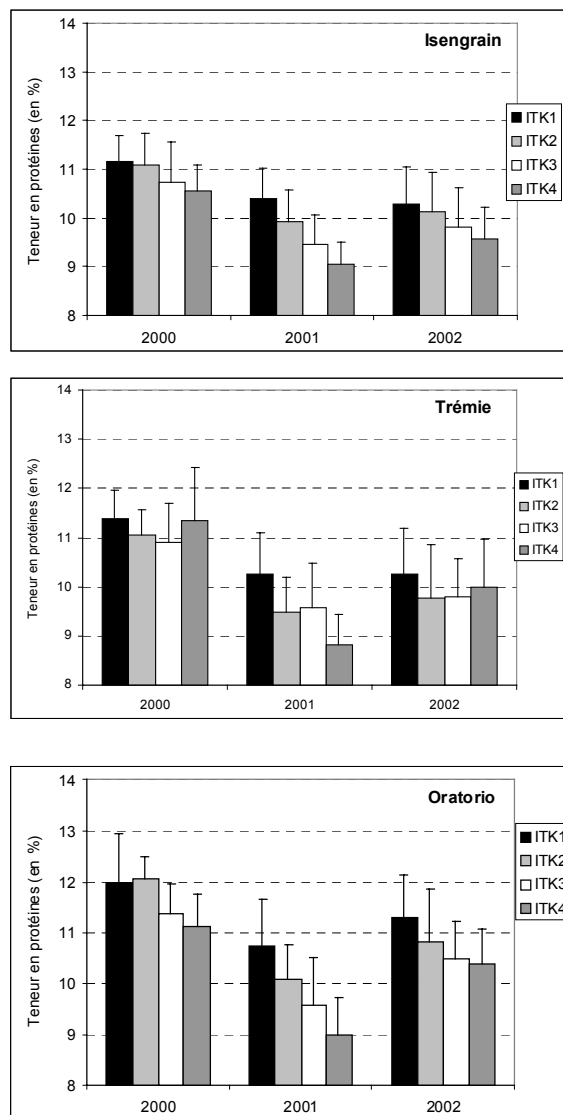


Figure 7. Évolution de la teneur en protéines en fonction de la conduite

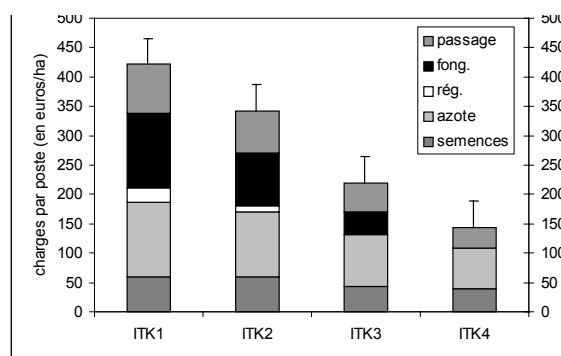
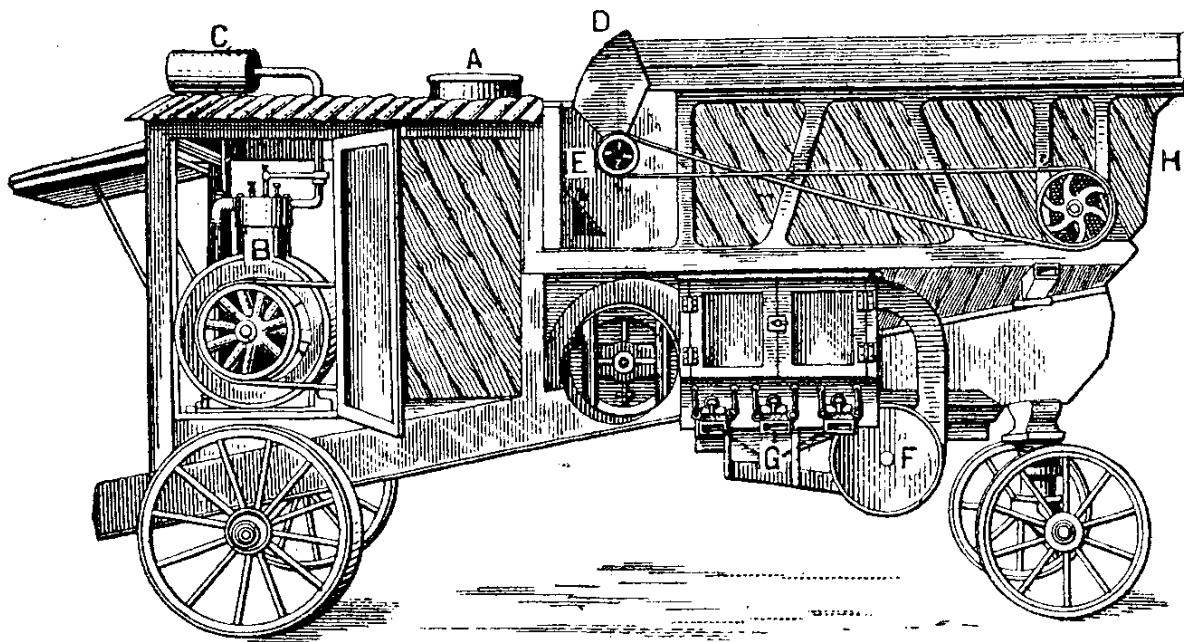


Figure 8. Charges opérationnelles en fonction de la conduite (2001)

Les couples variété-itinéraire qui donnent la meilleure marge brute varient selon les années et les lieux. Toutefois, il est possible de dire que l'association variété rustique-itinéraire à bas niveaux d'intrants donne des résultats aussi bons que les autres associations. La figure 9 (ci-après) illustre ce point. Sur un total de 66 marges brutes maximales (22 x 3), 45 correspondent à une association variété rustique-ITK3 (conduite intégrée) ou variété rustique-ITK4 (conduite extensive). Les résultats de l'association variété rustique-itinéraires à faibles intrants ont été tributaires des mauvaises conditions hivernales de l'année 2001, notamment dans le Nord-Ouest, qui ont pénalisé les conduites à bas niveaux d'intrants pour lesquelles les compensations (tallage...) sur les différentes composantes du rendement, qui font la force des céréales d'hiver, n'ont pas joué à plein. Les ITK1 et ITK2 obtiennent alors les meilleures marges 14 fois sur 24 (Félix *et al.*, 2002). Dans le groupe variétal du témoin Oratorio, plusieurs cultivars rustiques se signalent lorsqu'ils sont associés aux itinéraires à intrants réduits : Balthazar, Caphorn, Farandole, Ornicar, Séquoia, Virtuose. Le critère de jugement de la rusticité est ici la combinaison entre rendement et qualité appréciée par la marge brute.



5 — Motobatteuse pour petite et moyenne culture.

A Réservoir à essence ; B. Moteur ; C. Pot d'échappement des gaz ; D. Entrée des gerbes ;
E. Batteur, F Ventilateur ; G. Sortie des graines ; H. Sortie de la paille.

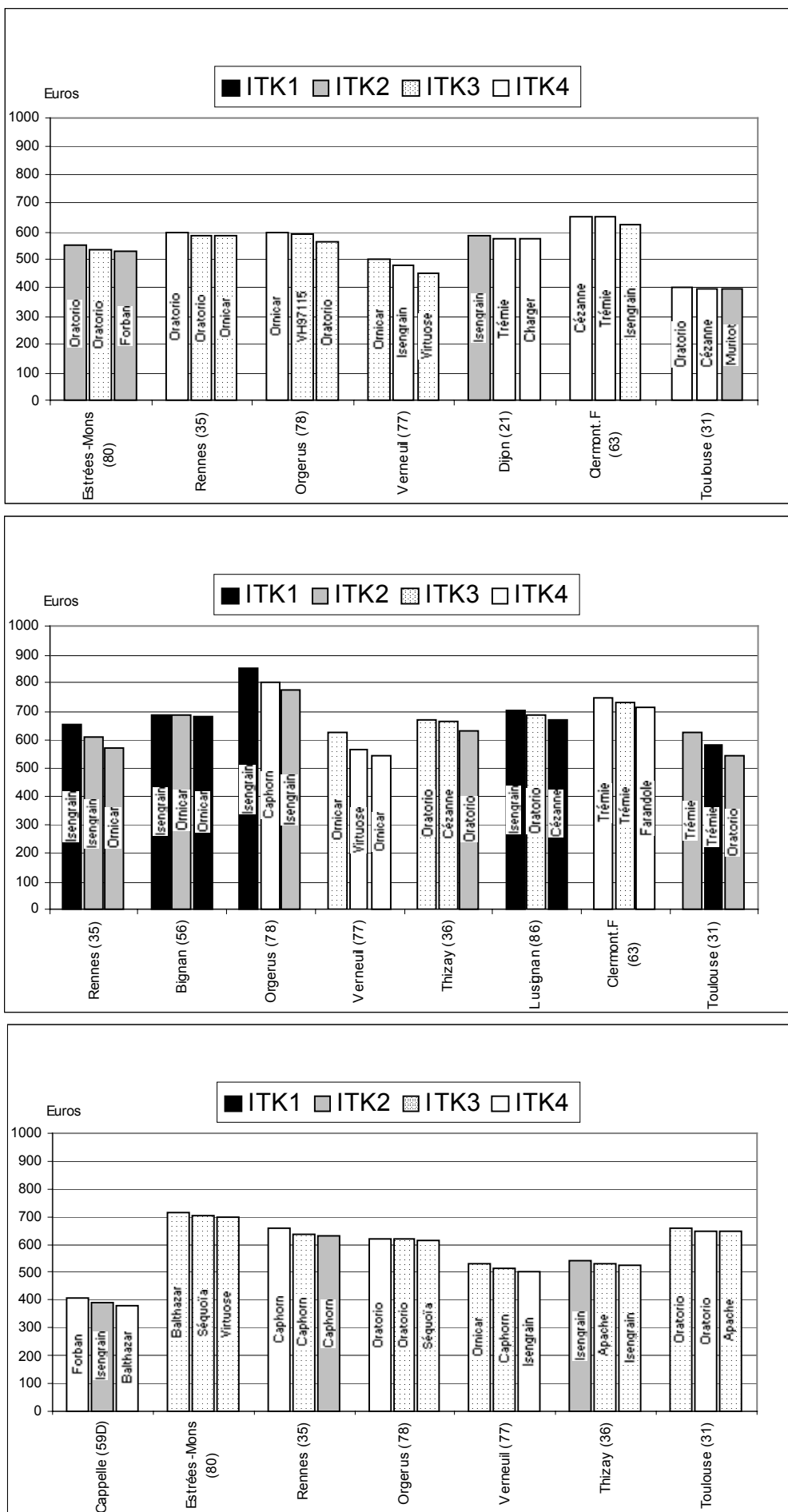


Figure 9 : Marges brutes des 3 meilleurs couples dans chaque site récoltes de 2000, 2001 et 2002

L'analyse des meilleures marges pour un prix du blé observé peut être complétée par une étude de sensibilité menée en faisant varier le prix du blé. De manière générale, il apparaît que l'intérêt du couple « variété rustique-itinéraire avec bas niveaux d'intrants » est d'autant plus grand que le prix du blé est faible, toutes choses égales par ailleurs.

Pour différents prix de vente du blé (13,7 €/q, prix du début des années 1990, 9,4 €/q, prix moyen 2000-2002, et 7,6 €/q, cours mondial), si on s'intéresse à la fréquence d'obtention (sur 22 essais) de la meilleure marge pour douze couples variétés-conduite (3 témoins et 4 conduites) pendant les 3 années, l'intérêt pour les variétés rustiques croît avec la baisse du prix du blé. Ainsi, à 76 €/t, Oratorio en conduites ITK3 et ITK4 est 17 fois sur 22 essais parmi les meilleures marges et distance Isengrain (fig. 10). La marge brute obtenue avec Oratorio est intéressante pour différents contextes de prix. Ce que l'on observe pour Oratorio est également vrai pour les autres variétés rustiques (Loyce *et al.*, 2001 ; Félix *et al.*, 2002 ; Félix *et al.*, 2003). Quand les prix baissent, l'avantage des variétés rustiques n'en est que plus grand.

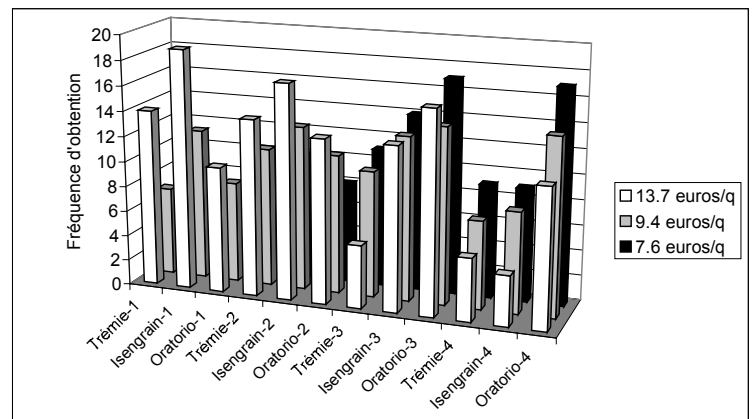


Figure 10. Fréquence d'obtention de la meilleure marge pour les 12 couples « variété-conduite » et pour différents prix du blé (2000, 2001 et 2002)

Bilan environnemental

Au plan environnemental, pour évaluer les risques de pertes azotées et de dispersion des pesticides dans l'environnement, nous avons utilisé respectivement les indicateurs I-N (qui correspond à la valeur minimale des pertes par volatilisation de l'ammoniac, par lessivage de nitrate et par dénitrification) et I-PHY (qui considère les pertes de produits phytosanitaires par volatilisation, ruissellement et lessivage) issus de la méthode INDIGO (Girardin et Bockstaller, 1997). Cette évaluation est en cours d'élaboration : nous en illustrons ici les premiers résultats pour 6 sites (Dijon, Rennes, Clermont-Ferrand, Orgerus, Estrées-Mons et Lusignan), en 2001.

Pour tous les sites, la valeur la plus faible d'I-N (à savoir celle avec les risques de pollution les plus élevés) est attribuée à la conduite 1 tandis que les conduites 2, 3 et 4 présentent des valeurs d'I-N très proches entre elles (fig. 11). Ces classements reflètent directement le classement des risques de lessivage de nitrate. Des différences entre lieux sont également observées : Rennes, Dijon et Clermont-Ferrand présentent de forts risques de pertes, avec des valeurs d'I-N très inférieures au seuil minimal acceptable (7), à cause d'une grande sensibilité du milieu au lessivage hivernal de nitrate.

Les résultats d'I-PHY, en tenant compte des herbicides et insecticides (identiques pour un site donné d'une conduite à l'autre), montrent que les impacts environnementaux sont comparables entre conduites (fig. 12, ci-après). L'absence de différence entre conduites provient du mode d'agrégation

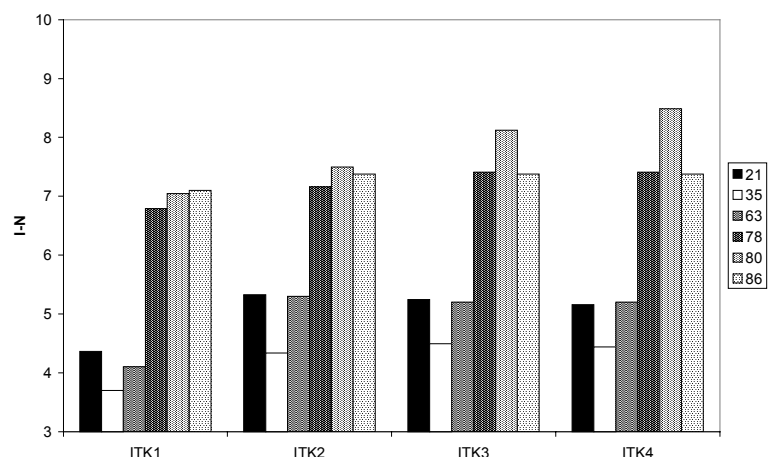


Figure 11. Résultats d'I-N par conduite et par site

d'I-PHY qui a retenu pour chaque site (sauf pour Orgerus) le minimum des valeurs des matières actives utilisées. Ainsi, un excès ou un mauvais choix d'herbicides conduit à une homogénéisation des impacts environnementaux des conduites. La valeur d'Orgerus est expliquée par le cumul des risques et nous observons un gradient de l'impact environnemental décroissant de la conduite 1 à la conduite 4. Ainsi, à l'exception d'Orgerus, l'impact environnemental des herbicides est tel qu'il masque les effets des fongicides et des régulateurs de croissance.

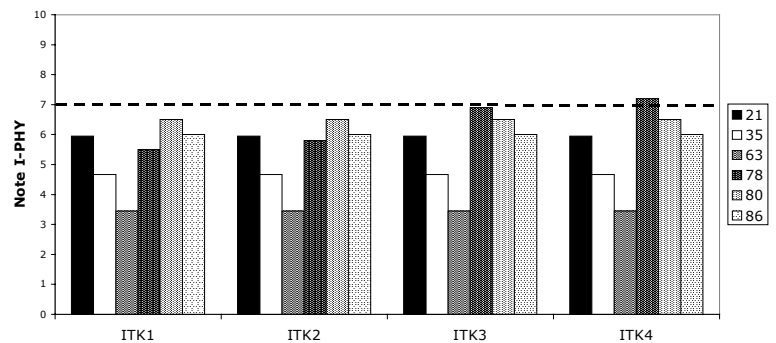


Figure 12. Résultats d'I-PHY par conduite et par site, en tenant compte des herbicides et des insecticides

En conclusion

Si ces travaux confirment des études antérieures (Meynard, 1985 ; 1991 - en Picardie ; Limaux et Meynard, 1992 - en Lorraine ; Saulas et Meynard, 1998 - en Île-de-France ; Loyce, 1998 - en Champagne ; Viaux, 1999 - en Normandie et Picardie ; Nolot, 2002 - en Midi toulousain), de manière générale, nos analyses montrent qu'il est possible de faire face à la baisse du prix des céréales décidées dans le cadre des réformes de la PAC de 1992 et de 1999 par une double adaptation, le choix de variétés rustiques multirésistantes, d'une part, et l'utilisation d'itinéraires techniques plus économes en intrants, d'autre part. Cette double adaptation permet de maintenir, dans une situation de prix du produit plus faible, les marges unitaires à l'hectare obtenues dans le contexte antérieur de prix élevés, de variétés plus productives et d'itinéraires plus intensifs. En outre, plus le prix des céréales est faible, plus l'intérêt économique d'associer variétés rustiques et itinéraires techniques économes en intrants est grand. À cet intérêt économique « privé » pour l'agriculteur, il convient d'ajouter les bénéfices environnementaux « publics » liés à une moindre utilisation d'intrants chimiques couplée à l'emploi de variétés multirésistantes. Nos résultats sont certes encore très partiels sur ce point ; ils suggèrent cependant qu'il y a un gain environnemental et donc un double dividende, économique et environnemental. Ils montrent que, même si l'amélioration de l'état de l'environnement n'est pas redistribué au producteur sous la forme, par exemple, d'une aide environnementale, celui-ci a un intérêt privé à opter pour une association variétés rustiques-itinéraires plus économes en intrants. La nouvelle réforme de la PAC, décidée en juin 2003, va conditionner l'octroi des aides directes de soutien de revenu au respect de critères environnementaux. Ce respect sera naturellement plus facile si l'agriculteur choisit d'associer une variété rustique et un itinéraire économe en intrants chimiques et ceci ne fait donc que renforcer l'intérêt de cette association, même en l'absence d'aide environnementale spécifique.

Une analyse plus globale nécessiterait de tenir compte de la réaction du prix de marché des céréales que pourrait engendrer la variation de la production en cas d'adoption à grande échelle de variétés rustiques et économes en intrants. On peut cependant souligner le point suivant : la diminution des rendements à l'hectare que provoquerait l'utilisation généralisée de variétés rustiques et d'itinéraires plus économes en intrants aurait pour effets d'augmenter le prix du produit (par « raréfaction » de l'offre) et de diminuer, toutes choses égales par ailleurs, l'intérêt à utiliser ces variétés rustiques. Cet effet macro-économique peut sembler contraire mais il doit être mis en balance avec le gel des terres qui est la solution retenue en pratique par la Commission européenne (CE) pour maîtriser l'offre de

céréales et maintenir (soutenir) les prix de marché. En pratique, l'utilisation de variétés rustiques et d'itinéraires plus économes en intrants rendrait ce gel à objectif économique moins nécessaire, au moins pour partie. Il permettrait donc d'accroître le revenu des producteurs par mise en culture d'un nombre plus élevé d'hectares.

Le choix de l'itinéraire intégré ITK3 relativement aux autres itinéraires, y compris l'itinéraire extensif ITK4, demande sans nul doute plus de suivi de la part de l'agriculteur ; ceci peut être un frein à son adoption surtout pour les agriculteurs peu ou moins formés. D'autre part, les deux itinéraires plus économes en intrants supposent que l'on accepte un paysage céréalié moins « propre », au sens où les parcelles auront plus de mauvaises herbes, plus de plantes malades, etc. C'est cependant au bénéfice très vraisemblablement d'une plus grande biodiversité.

Mais, en pratique, la plus grande incertitude est celle de la pérennité à long terme des résultats ici calculés sur quelques années seulement. C'est pourquoi il importe de poursuivre les essais sur longue période de façon à s'assurer que l'intérêt d'associer variétés rustiques et itinéraires plus économes en intrants se maintient dans le temps.

Les résultats du programme « Itinéraires techniques pour des blés rustiques » concordent avec ceux obtenus sur la protection intégrée du blé tendre d'hiver en Picardie par Agro Transfert, les chambres d'agriculture et l'INRA, résultats qui sont résumés par la formule « moins d'intrants, plus d'agronomie », qui pourrait être complétée par « moins d'intrants, plus d'agronomie, plus d'économie ». Les enquêtes sur la manière dont ces changements sont perçus, montrent que les agriculteurs apprécient de retrouver leur savoir-faire et l'intérêt du métier (Faloya *et al.*, 2002). Toutefois, la diffusion et la vulgarisation des résultats rencontrent des difficultés. En effet, malgré l'effort de communication entrepris (plus de dix articles dans la presse agricole en trois ans), faute de relais efficaces, le public ignore encore largement ces travaux. D'autre part, quelle sera la perception d'une innovation, en rupture avec l'idée dominante associant progrès technique et augmentation de la production, qui propose sans détour de réduire les objectifs de rendement ?

Si l'artificialisation des milieux est une conséquence de l'intensification, provoquant l'homogénéisation des conditions culturales, la désintensification appellera une diversification en sollicitant l'offre variétale existante. Mais pour ce faire, les préconisations devront tenir compte de la nouvelle donne des blés rustiques : la hiérarchie des classements sur laquelle sont fondés les choix variétaux est aujourd'hui obtenue dans les seuls essais en conduite intensive avec stratégie d'assurance. Or, au vu des interactions entre variété et itinéraires techniques, les classements ne sont pas (plus) transposables d'un système à un autre. Les positions des prescripteurs, fortement impliqués dans la vente des produits phytosanitaires, évolueront-elles ? Verra-t-on l'offre variétale se diversifier au même rythme que les systèmes de culture ?

Le transfert des acquis de ce travail est actuellement en cours grâce à l'établissement d'un nouveau réseau, dont la vocation est la diffusion des résultats pour une appropriation par les agriculteurs. Un protocole expérimental simplifié (3 variétés et 2 itinéraires techniques) est mis en place par différentes chambres d'agriculture, en appui à des actions de formation/information.

Terminons en mentionnant les pistes de recherches actuellement explorées par l'INRA et les instituts techniques. Ces pistes concernent des « verrous » scientifiques et techniques qu'il convient de lever pour s'assurer de la fiabilité, de la pérennité et de la durabilité des résultats résumés dans cet article :

En pathologie, il importe d'établir de nouveaux référentiels dans la mesure où il est impossible de fonder la gestion des risques liés aux maladies sur les référentiels existants, basés sur les systèmes intensifs (Gamon, 2002). En supposant que les conduites à bas niveaux d'intrants soient déployées sur une échelle plus grande qu'aujourd'hui, il convient, notamment, d'évaluer les risques de contournement des résistances aux maladies. Ainsi, pendant la durée de notre étude, plusieurs variétés rustiques (Ornicar, Rumba...) ont vu leur résistance à la rouille jaune (Pope *et al.*, 2002) ou à la rouille

brune (Oratorio, dans une situation, à Rennes en 2003) contournées. La gestion durable des résistances variétales reste un défi pour les prochaines années.

En génétique et amélioration des plantes, les travaux de sélection, dans la perspective d'une diversification des systèmes de culture pour une agriculture durable (Meynard et Jeuffroy, 2002), doivent être réfléchis dans le contexte d'une approche globale de la rusticité : résistance aux maladies, meilleure valorisation de l'azote disponible et, à terme, compétitivité vis-à-vis des adventices. Le continuum entre les systèmes de culture, dont l'Agriculture Biologique est le point extrême (un « ITK5 » sans intrants chimiques), devra être valorisé par la recherche (encadré n°3).

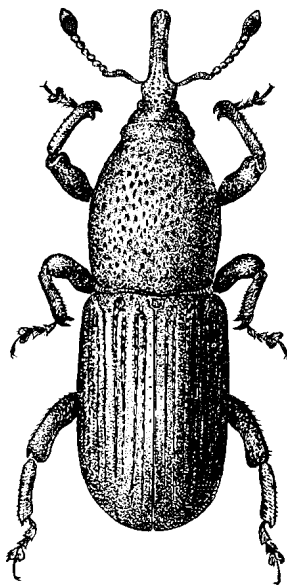
En agronomie, il s'agit d'apprendre à adapter au plus près les itinéraires techniques aux caractéristiques de chaque variété et à la diversité des milieux. La maîtrise des mauvaises herbes et des maladies se conservant dans le sol ne pourra être assurée que si la culture intégrée est généralisée, au niveau de la rotation, à l'ensemble des espèces cultivées. Différents travaux, associant modélisation prédictive et expérimentation, ont été entrepris dans ce sens.

Par les avancées cumulées de la génétique, de l'agronomie, de la pathologie, combinées dans des approches pluridisciplinaires, les systèmes de culture à niveaux réduits d'intrants sont à même d'offrir d'importantes perspectives de progrès pour l(es) agriculture(s) de demain, si les ambitions de la recherche et du développement agricole sont à la hauteur du défi (Blouet *et al.*, 2003) ■

Encadré n°3

L'Agriculture biologique, prototype de la réduction des intrants

Le cahier des charges de l'Agriculture Biologique (AB) interdit tout recours aux intrants chimiques de synthèse et, de ce fait, le système AB constitue un point extrême pour la réduction des intrants. Les études dans les conditions de l'agriculture biologique apporteront de nouvelles pistes vis-à-vis de la gestion des adventices ou de situations extrêmes de stress azoté. Ainsi, sur la base du continuum, on pourra envisager des gains croisés entre les systèmes. On pourrait envisager en conduite intégrée, pour la culture du triticale, à partir des résultats obtenus en AB, d'aller plus loin dans la réduction des intrants par un abandon de la lutte chimique contre les mauvaises herbes, compensée ou pas par un désherbage mécanique. Réciproquement, les travaux en cours sur blé tendre portent sur l'étude de la possible adaptation des variétés rustiques, sélectionnées pour des conduites à bas niveaux d'intrants, à l'Agriculture biologique (Rolland *et al.*, 2002).



Cette action de recherche a vu le jour à l'initiative de Gérard Doussinault, précurseur de la sélection pour la réduction des intrants ; nous en dédions les résultats à sa mémoire. Ce programme aura permis de créer une dynamique interdisciplinaire et inter-institutionnelle forte sur une question d'intérêt collectif. Ont participé à ce travail d'équipe :

M. Leleu, P. Mangin, P. Bataillon, X. Charrier, J.-Y. Morlais, B. Debote, expérimentateurs à l'INRA ;
 C. Loyce, J.-M. Meynard, C. Bouchard, M.-H. Jeuffroy (Agronomie, Grignon), G. Doussinault, M. Trottet et B. Rolland (Génétique et Amélioration des plantes, Rennes), P. Lucas (Santé des plantes, Rennes), J.-M. Nolot (Agronomie, Toulouse), J. Le Gouis (Amélioration des plantes, Estrées-Mons), C. Lecomte (Amélioration des plantes, Dijon), A. Carpentier, H. Guyomard et C. Le Mouel (Économie, Rennes) ingénieurs et scientifiques de l'INRA ;
 P. Niquet, P. Benoist, P. Senellart, O. Leblanc, J.-P. Hardouin, J.-P. Monnier, M. Méausonne, P. Lonnet, T. Demarquet, B. Duperrier et H. Haslé, sélectionneurs des établissements du GIE Club 5 ;
 M.-H. Bernicot, I. Félix et M. Bonnefoy, d'Arvalis Institut du Végétal (ex ITCF) ;
 R. Blondel, D. Heddadj et P. Cotinet, des chambres d'agriculture de Bretagne et du Morbihan ;
 A. Gamon du Service de la protection des végétaux de Rennes ;
 V. Faloya puis P. Mischler d'Agro Transfert Picardie.

Cette action de recherche a été soutenue financièrement par un contrat de branche du ministère de l'Agriculture (MAAPAR).

Nous tenons à remercier Laurent Cartier, André Pochon, Serge Savary, Laurent Saur et Laurent Pageaud pour leur relecture et leurs précieuses remarques.

Les graphiques et figures de cet article ont été réalisés par C. Bouchard, B. Rolland et F. Brunet. Ci-contre : Charançon du blé, *Sitophilus granarius* (Col. Curculionidé).

Références bibliographiques

- BLOUET A., PERVANÇON F., PERVANÇON M., 2003. Agriculture raisonnée : limites et alternatives du modèle dominant. *Futuribles*, 283, 27-42.
- BODSON B., MEEUS P., MOREAU J.M., VANCUTSEM F., FALISSE A., 2000. Protection fongicide intégrée au mode de conduite de la culture : exemple du blé en Belgique. *Phytoma*, 533, 22-27.
- DESOUBRY P., 1999. Comment diminuer le coût d'intrants par quintal de blé. *Perspectives Agricoles*, 248, 11-13.
- DOUSSINAULT G., 1998. La sélection pour des variétés adaptées à une agriculture durable. In P. Guy & A. Fraval : *L'extensification. Dossiers de l'environnement de l'INRA*, 16, 39-44.
- DOUSSINAULT G., JAUDEAU B., JAHIER J., 2001. Évolution de la variabilité génétique chez le blé. In S. LE PERCHEC, P. GUY & A. FRAVAL : *Agriculture et biodiversité des plantes. Dossiers de l'environnement de l'INRA*, 21, 91-104.
- DUBOIS J.C., DELPHIN A., 1996. *Cinq années d'itinéraires techniques du blé tendre en Poitou-Charentes*. Rapport chambre régionale d'Agriculture de Poitou-Charentes.
- FALOYA V., DUMOULIN F., HOT J.P., MENU P., BOIZARD H., MEYNARD J.M., 2002. Protection intégrée du blé tendre d'hiver, itinéraire technique en Picardie. *Perspectives agricoles*, 283, 64-70.
- FÉLIX I., LOYCE C., BOUCHARD C., MEYNARD J.M., ROLLAND B., BERNICOT M.H., HASLÉ H., 2002. Associer des variétés rustiques à des niveaux d'intrants réduits : intérêts économiques et perspectives agronomiques. *Perspectives agricoles*, 279, 30-35.
- FÉLIX I., LOYCE C., BOUCHARD C., MEYNARD J.M., ROLLAND B., BERNICOT M.H., HASLÉ H., 2003. Une des voies pour s'adapter aux baisses de prix du blé : des variétés rustiques conduites à faible coût. *Perspectives agricoles*, 290, 22-29.
- FERRON P., 1999. Protection intégrée des cultures : évolution du concept et de son application. In A. Fraval & C. Silvy : *La lutte biologique (II). Dossiers de l'environnement de l'INRA*, 19, 19-28.
- GAMON A., 2002. Choix des variétés et stratégies fongicides. *Avertissements agricoles grandes cultures* (Bretagne), 52.
- GIRARDIN P., BOCKSTALLER C., 1997. Les indicateurs agro-écologiques, outils pour évaluer les systèmes de culture. *Oléagineux Corps gras Lipides*, 4(6), 418-426.
- LELEU M., LENNE N., MAURICE A., LE GOUIS J., HEUMEZ E., BRANCOURT-HULMEL M., PLUCHARD P., 2000. Des intrants en moins pour des marges en plus. *Cultivar*, 484, 10-13.
- LIMAUX F., MEYNARD J.M., 1992. Céréaliculture : la désintensification d'ores et déjà rentable. *Aménagement et Nature*, 105, 16-19.
- LOYCE C., 1998. Mise au point d'itinéraires techniques pour un cahier des charges multicritère : le cas de la production de blé éthanol en Champagne crayeuse. Thèse doct. INA P-G, 196 p.
- LOYCE C., ROLLAND B., BERNICOT M.H., BOUCHARD C., DOUSSINAULT G., HASLÉ H., MEYNARD J.M., 2001. Variétés tolérantes aux maladies : une innovation majeure à valoriser par des itinéraires techniques économes. *Perspectives Agricoles*, 268, 50-56.
- MEYNARD J.M., 1985. Construction d'itinéraires techniques pour la culture du blé d'hiver. Thèse INA P-G, Paris, 258 p.
- MEYNARD J.M., 1991. Pesticides et itinéraires techniques. In P. BYE, C. DESCOINS & A. DESHAYES : *Phytosanitaire, protection des plantes, biopesticides*. Actes du colloque, INRA, Paris, 85-100.
- MEYNARD J.M., GIRARDIN P., 1993. Produire autrement. *Cultivar*, 334, 83-87.
- MEYNARD J.M., JEUFFROY M.H., 2002. Progrès génétique et agriculture durable. 40 ans d'amélioration des plantes : acquis et perspectives. *Le sélectionneur français*, 53.
- MISTOU M.N., 2001. Blé tendre connaître et utiliser les résistances des variétés vis-à-vis des maladies : les essais du CTPS. *Perspectives agricoles*, 268, 46-49.
- NOLOT J.M., 2002. Systèmes de grande culture intégrés : principes et outils de conception, conduite et évaluation. *Le Courrier de l'environnement de l'INRA*, 47, 15-26.
- ONIC, 2000. Enquête variétés de blé tendre. Juin 2000.
- PERVANÇON F., BLOUET A., 2002. Lexique des qualificatifs de l'agriculture. *Le Courrier de l'environnement de l'INRA*, 45, 117-137.
- POPE C., LECONTE M., MISTOU M.N., MAZURIER A., 2002. La rouille jaune du blé en France. *Perspectives Agricoles*, 279, 46.
- ROLLAND B., LOYCE C., MEYNARD J.M., DOUSSINAULT G., BERNICOT M.H., LONNET P., 2002. Disease resistant cultivars associated with low input crop management systems for winter wheat : agronomic and economic evaluation from a French trial network. *Abstract International Cereal Conference Symposium*, Vienna, Austria. March 6-8 2002.
- ROLLAND B., MEYNARD J.M., CHARRIER X., GARDET O., OURY F.X., DOUSSINAULT G., 2002. Evaluation of wheat and triticale genetic resources for organic farming : first agronomic results from an INRA trial network. *1st International symposium on organic seed production and plant breeding*. ÉCOPB, Berlin, 21-22 November 2002.
- SAULAS P., MEYNARD J.M., 1998. Production intégrée et extensification sont-elles compatibles? Cas des céréales à paille. In P. GUY & A. FRAVAL : *L'extensification. Les Dossiers de l'environnement de l'INRA*, 16, 9-15.
- VIAUX P., 1999. *Une troisième voie en grande culture, Environnement, Qualité, Rentabilité*. Éditions Agridécisions Livre, 211 p.