

# Des variétés rustiques concurrentes des adventices pour l'agriculture durable, en particulier l'agriculture biologique

Marie-Hélène BERNICOT<sup>1</sup>, Laurence FONTAINE<sup>\*2</sup>, Bernard ROLLAND<sup>3</sup>, Claude AUBERT<sup>6</sup>, Michel BONNEFOY<sup>4</sup>, Ludovic BONIN<sup>4</sup>, Joëlle DAUCOURT<sup>4</sup>, Jean-Michel DELHAYE<sup>10</sup>, Laurent FALCHETTO<sup>1</sup>, Stéphane GILLES<sup>5</sup>, Volker LEIN<sup>9</sup>, Loïc PRIEUR<sup>7</sup> Thierry QUIRIN<sup>8</sup>

\* **Coordinateur** : Laurence FONTAINE<sup>2</sup>, laurence.fontaine@itab.asso.fr, Tél. : 02 41 18 61 56

1 - INRA UE Dijon-Epoisses - Domaine expérimental d'Epoisses, 21110 Bretenière

2 - ITAB - 9 Rue André Brouard, BP 70510, 49105 Angers Cedex 02

3 - INRA - Domaine de La Motte au Vicomte, BP 35327, 35653 Le Rheu

4 - ARVALIS - Institut du végétal - 3 rue Joseph & Marie Hackin, 75116 Paris

5 - INRA UE - Ferme du Moulon, 91190 Gif-sur-Yvette

6 - Chambre d'Agriculture Seine et Marne - 418 rue Aristide Briand, 77350 Le-Mée-Sur-Seine

7 - CREAB Midi-Pyrénées - LEGTA Auch-Beaulieu, 32020 Auch Cedex

8 - Agrobio - Poitou-Charentes - 12 bis rue Saint Pierre, 79500 Melle

9 - Saaten Union Recherche - 163 avenue de Flandre, BP 6, 60190 Estrées Saint Denis

10 - Ets Lemaire-Deffontaines SA - 180 rue du Rossignol, 59310 Auchy Lez Orchies

## 1. Introduction

L'offre variétale en blé tendre est aujourd'hui peu adaptée aux exigences d'une agriculture durable en général et à l'agriculture biologique (AB). La compétitivité des génotypes vis-à-vis des adventices n'a pas été prise en compte dans les schémas de sélection au cours des cinq dernières décennies, depuis la généralisation des herbicides. Que ce soit en agriculture biologique -où la maîtrise des adventices passe par la gestion de la rotation, le travail du sol et le désherbage mécanique-, ou en agriculture conventionnelle -où l'usage des herbicides tend à se restreindre-, l'utilisation du facteur variétal pour participer à la diminution de l'enherbement est aujourd'hui une piste prometteuse.

Les objectifs de ce projet conduit dans le cadre du FSOV sont de (i) quantifier les différences de pouvoir concurrentiel entre variétés de blé tendre d'hiver et (ii) identifier les caractéristiques phénotypiques les plus prédictives de ce pouvoir concurrentiel pour permettre sa prise en compte dans les programmes de sélection.

## 2. Matériel et méthode

### ► Le dispositif

Le dispositif comprend des essais analytiques conduits en situation conventionnelle et des essais conduits dans des situations d'AB à fort niveau d'infestation en adventices.

#### *Les essais analytiques*

Pour assurer une forte infestation homogène d'adventices, nous avons travaillé en situation d'infestation artificielle avec du ray-grass d'Italie. La grande quantité de semences nécessaires impose d'utiliser une plante cultivée. Le choix s'est porté vers les monocotylédones, car c'est le type d'adventice du blé le plus courant en agriculture conventionnelle. Le ray-grass d'Italie (RGI) est intéressant car il est très compétitif tôt dans le cycle, ce qui doit permettre de discriminer les variétés. Cette espèce, très nitrophile, possède un système racinaire fasciculé très développé, elle est donc capable d'être très compétitive au

niveau racinaire. Les niveaux d'infestation ont été, au final, très différents d'un essai à l'autre, allant d'une très forte infestation à La Minière en 2007 où, en plus du RGI, la parcelle était envahie de vulpin, à l'essai d'Epoisses en 2008 où le RGI a gelé en début d'hiver.

Deux modalités de fertilisation azotée contrastées sont mises en place afin d'étudier la réponse à la fertilisation azotée de la compétitivité des variétés vis-à-vis des adventices :

- modalité "N -", correspondant à une dose d'azote réduite d'environ 20% par rapport à la fertilisation optimale calculée par la méthode des bilans. On considère cette modalité comme proche des conditions des systèmes de culture intégrés.
- modalité "N --", dans laquelle les quantités d'azote apportées vont de 0 à 50 kg/ha. Cette modalité se rapproche des situations d'agriculture biologique où l'azote est le principal facteur limitant.

Les apports ont été réalisés en début de cycle (tallage et début montaison), afin que le RGI puisse exprimer au mieux son potentiel de concurrence. L'apport tardif (épiaison) a été supprimé. La conduite de l'essai est par ailleurs standard.

Ces essais ont été conduits pendant les 2 premières années du programme en 2007 et 2008 (Tableau 1).

Expérimentateur	Année	Commune	Date semis	Densité optimale	Densité semée	Inter-rang (cm)	N optimal (Bilan)	N apporté
INRA	2007	Epoisses	26-oct	280	225	17	180	130/50
INRA	2008	Epoisses	26-oct	280	250	20	130	110/60
Arvalis	2007	La Minière	19-oct	200	200	17,5	180	100/0
Arvalis	2007	La Minière	19-oct	200	130	17,5	180	100
Arvalis	2008	Boigneville	23-oct		275			100/50

Tableau 1 : Présentation des essais analytiques.

### Les essais bio

Le réseau dispose de 4 sites d'essais chaque année, situés dans 4 régions différentes sur deux années consécutives, 2008 et 2009. 8 essais ont donc été réalisés (Tableau 2).

Les essais sont conduits en infestations naturelles d'adventices. La consigne du protocole était de choisir des "parcelles à forte pression adventices, avec une répartition la plus homogène possible". Les flores rencontrées sur les essais sont variables, mais généralement dominées par des monocotylédones : vulpin, ray-grass anglais et italien, folle

avoine, agrostis. Seuls les essais du CREAB à Auch (32) et celui d'Arvalis en 2009 (sud Beauce) ont des flores adventices riches en dicotylédones : moutarde, gaillet grateron, coquelicot.

Les itinéraires techniques pratiqués sont fidèles aux pratiques régionales en AB : semis tardifs (du 25/10 au 27/11 ; une date au 08/01 liée aux conditions très difficiles de l'année), à densité élevée (>350 grains/m<sup>2</sup>). La fertilisation organique est généralement nulle sur la culture (apports par le sol et les précédents), sauf sur 2 essais.

Expérimentateur	Année	Commune	Date semis	Densité	Inter rang (cm)	Azote	Flore dominante
Agrobio PC	2008	Mignaloux-Beauvoir (86)	09-nov	350	17	90 U	Vulpin, Folle Avoine
Agrobio PC	2009	Les Ormes (86)	27-nov	350	17		Folle Avoine
Arvalis	2008	Josnes (41)	25-oct	400	17	0	Vulpin
Arvalis	2009	La Chapelle St Martin (41)	04-nov	400	17	70 U	Coquelicot, Gaillet
CREAB	2008	Auch (32)	14-nov	350	17	0	Moutarde
CREAB	2009	Auch (32)	08-janv	400	17	0	Moutarde
INRA	2008	Sermaise (91)	05-nov	350	20	0	RGA, Vulpin
INRA	2009	Sermaise (91)	06-nov	350	20	0	Agrostis, Ray-grass

Tableau 2 : Présentation des essais AB.

### ► Les variétés

Une liste de 16 variétés a été construite au début du programme de façon à présenter une gamme de hauteur et de précocité d'épiaison (Tableau 3).

Précocité		Hauteur		
		Précoce	Caphorn Apache	Cézanne SUR 233 (Sumo)
Inter.		Sankara Virtuose (Boisseau)	Quebon CF99102	Saturnus (Graindor)
			Renan Koreli	
Tardive		Glasgow	LD269	LD76B Pegassos (Ataro)

Tableau 3 : Choix des géotypes selon leur hauteur et leur précocité.

Les variétés considérées comme témoins sont Caphorn (connue pour sa faible compétitivité) et Renan (cultivée en AB et assez couvrante) ; une variété de tritcale a été ajoutée pour avoir une céréale à fort pouvoir concurrentiel. La variété de blé Pegassos a également été retenue, car elle est citée dans la bibliographie en Europe (Allemagne, Autriche) comme étant très compétitive. Les autres variétés sont pour partie des lignées issues des programmes de sélection des partenaires (LD269 et LD76B pour Lemaire-Deffontaines ; CF99102 pour l'INRA ; SUR242 et SUR233 pour Saaten-Union) et des variétés commerciales courantes en système intensif (Sankara, Apache) et en agriculture biologique (Saturnus).

Des variétés ont été introduites en cours d'étude (Ataro, Boisseau et Sumo), d'autres ont disparu faute de disponibilité de semences. Comme certains expérimentateurs n'ont pas eu la possibilité de suivre toutes les variétés nous avons privilégié 5 variétés : les 2 témoins Caphorn et Renan, Cézanne variété précoce à bon pouvoir couvrant, la référence allemande Pegassos ainsi que le tritcale Grandval.

### Évaluation du pouvoir concurrentiel

Le pouvoir concurrentiel des variétés peut être évalué par deux types d'approche : (i) d'une part en mesurant la perte de rendement due aux adventices, perte qui reflète la tolérance des variétés aux adventices (c'est-à-dire à la fois la capacité à tolérer les stress dus à la compétition mais également la capacité à limiter la croissance des adventices), (ii) d'autre part en quantifiant sur les adventices des différences de croissance et de production de graines induites par des géotypes (notion de suppression des adventices). Les 2 approches ont été utilisées dans le cadre de ce programme.

Pour les essais analytiques nous avons travaillé principalement sur les pertes de rendement dues aux adventices, mais aussi sur la biomasse de l'adventice RGI et le nombre d'épis.

Pour les essais conduits en AB, nous avons travaillé sur les biomasses d'adventices, bon indicateur de la production de graine. La perte de rendement a été quantifiée uniquement sur 2 variétés qui avaient été désherbées à la main.

### Mesures et observations demandées pour caractériser l'aptitude à la concurrence :

- Sur les variétés de blé : rendement.
- Sur les adventices : (i) note visuelle de densité d'adventices, (ii) comptage, (iii) biomasse d'adventices. La note visuelle est une note de 1 à 9 prenant en compte la hauteur et le volume de l'adventice. La biomasse d'adventice a été demandée sur une surface de prélèvement de 1m<sup>2</sup> par parcelle.

### Caractéristiques phénotypiques des géotypes étudiés

Les observations demandées doivent être explicatives du pouvoir concurrentiel (Eisele J.A et al., 2007 - Lecomte et al. 2000). Les observations suivantes, facilement réalisables par tout expérimentateur, ont été demandées sur tous les essais :

- le stade épiaison
- le pouvoir couvrant ou taux de couverture du sol des variétés, observé aux stades épi 1 cm (Z30), 2 noeuds (Z32) et épiaison (Z55). Il s'agit d'une estimation de la fraction non visible du sol lorsqu'on observe la végétation, notée

de 1 sol nu entre les lignes de semis à 9 sol non visible (Figure 1).

- le port des feuilles (de dressé à étalé), noté aux mêmes stades que le pouvoir couvrant.
- la mesure de la hauteur de chaque variété, réalisée au moins 10 jours après la floraison, afin de s'assurer que les plantes avaient atteint leur hauteur maximale.
- la biomasse aérienne du blé lors du prélèvement de la biomasse d'adventices.

Sur les essais analytiques, des observations et mesures supplémentaires ont été demandées en particulier des mesures de LAI, % de lumière interceptée par le blé. Des photos des couverts de blé ont également été faites.

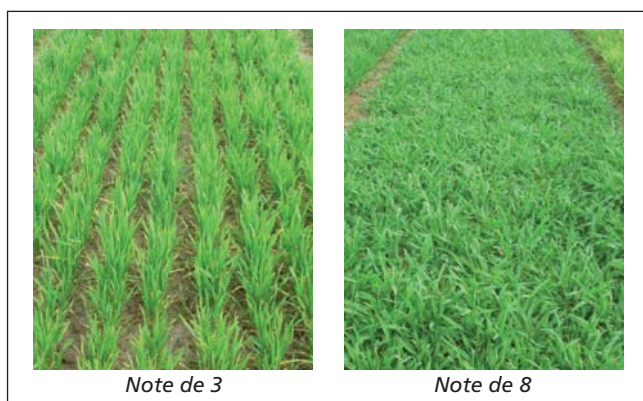


Figure 1 : Extrait de l'échelle de notation du pouvoir couvrant (Z32).

### 3. Résultats et discussions

#### ► Pouvoir concurrentiel des variétés vis-à-vis des adventices

##### Tolérance aux adventices

##### Les essais analytiques

La tolérance aux adventices est appréciée, dans les essais analytiques, par la différence de rendement entre présence et absence de l'adventice ray-grass. Elle est exprimée en % du rendement potentiel en l'absence d'adventice (Tableau 4).

Les essais de l'année 2008 n'ont pu être retenus dans le regroupement : le niveau d'infestation était très faible sur le site d'Epoisses en 2008 suite au gel du RGI au début de l'hiver ; le dispositif utilisé à Boigneville ne permettait pas de calculer cet écart. L'analyse en regroupement d'essais a été effectuée sur les pertes de rendement relatives par rapport à la situation désherbée, en considérant les 5 milieux différents de 2007 (différents lieux, niveaux de fertilisation et densités de semis) et en retenant les 12 génotypes communs aux 5 milieux (Tableau 5).

Les pertes de rendement sont plus importantes aux doses d'azote plus élevées, et dans la situation à faible densité. Il existe également une forte interaction entre les lieux et le comportement des variétés, en particulier les différences entre les variétés sont moindres quand la fertilisation azotée est faible.

Grandval (triticale), LD76B et Pegassos sont les variétés les plus compétitives, tandis que Caphorn, Glasgow et Sankara se retrouvent systématiquement avec les pertes les plus importantes.

Variétés	Pertes relatives de rendement	Groupes homogènes à 5%
Grandval	-15	A
LD76B	-21	B
Pegassos	-23	B C
Apache	-26	B C D
Saturnus	-28	B C D E
Renan	-29	B C D E
CF99102	-31	C D E F
LD269	-33	D E F G
Quebon	-36	E F G
Caphorn	-38	F G
Glasgow	-38	F G
Sankara	-40	G

Tableau 5 : Perte de rendement relative en % par rapport à la situation désherbée, dans les essais analytiques (regroupement de 5 milieux de 2007).

##### Essais non regroupés

Variétés	La Min. 07		La Min. 07		Epoi. 2007		Moyenne	Epoi. 2008		Boign. 2008	
	N-	N--	N-	N--	N-	N--		N-	N--	N-	N--
Apache	38	19	43	15	19	<b>27</b>	2	12	32	29	
Caphorn	49	29	56	33	24	<b>38</b>	-1	12	34	35	
Cézanne	35	23	(48)	9	18	<b>(26)</b>	5	-1	35	34	
CF99102	41	22	47	22	22	<b>31</b>	6	9	31	35	
Glasgow	46	27	58	32	27	<b>38</b>	8	9	39	37	
Grandval	16	12	29	16	4	<b>15</b>	-3	0	32	28	
Koreli				26	18		3	5	36	30	
LD269	43	21	51	33	18	<b>33</b>	6	13	32	29	
LD76B	29	17	41	5	17	<b>22</b>					
Pegassos	25	20	44	10	16	<b>23</b>	-4	13	30	31	
Quebon	43	31	57	26	23	<b>36</b>	2	7	32	31	
Renan	41	19	48	21	18	<b>29</b>	-4	4	36	31	
Sankara	44	27	59	40	30	<b>40</b>					
Saturnus	40	27	45	13	9	<b>27</b>	-3	6	36	31	
SUR 242	43	18	(47)	6	15	<b>(26)</b>			45	42	
SUR 233	33	19	(38)	11	18	<b>(24)</b>	-1	9			
Virtuose							13	11	39	42	
Graindor							-4	7			
<b>Moyenne</b>	<b>38</b>	<b>22</b>	<b>47</b>	<b>20</b>	<b>18</b>		<b>2</b>	<b>8</b>	<b>35</b>	<b>33</b>	
<b>Min</b>	16	12	29	5	4	<b>20</b>	0	0	30	28	
<b>Max</b>	49	31	59	40	30	<b>38</b>	13	13	45	42	
<b>Ecart</b>	34	19	30	35	26	<b>18</b>	13	13	14	14	

La Minière 07 D-, il y a eu un fort égrenage sur les variétés entre parenthèses.

Tableau 4 : Pertes de rendement exprimées en % du rendement sans RGI.

Peu d'adventices

Dispositif inadapté + hétérogénéité

## Les essais AB

Nous avons cherché à quantifier les pertes de rendements causées par les adventices sur 2 variétés, Caphorn et Renan, en comparant des modalités desherbées manuellement avec des modalités non desherbées. En situation d'infestation naturelle en conduite AB avec donc une limitation en azote, les pertes de rendement sont faibles : 1,3q (4%) pour Renan, 3q (11%) pour Caphorn.

### Aptitude à supprimer les adventices

#### Les essais AB

Les niveaux d'infestation par les adventices varient considérablement d'un essai à l'autre (Tableau 6). Ainsi, sur l'essai Arvalis 2009, la biomasse adventices moyenne toutes variétés confondues est de 143 g/m<sup>2</sup>, alors que sur l'essai CREAB 2009, elle est seulement de 25 g/m<sup>2</sup>. Les variations de biomasse adventices d'un essai à l'autre sont assez mal corrélées aux variations de densité d'adventices. En effet, on constate que l'essai Arvalis 2009 est l'essai sur lequel la biomasse d'adventices est la plus élevée malgré un nombre d'adventices faible. A contrario, au CREAB on trouve un grand nombre d'adventices mais des biomasses adventices faibles. Dans l'essai INRA 2009, l'augmentation du nombre d'adventices est corrélée à une diminution de la biomasse adventice, cette contradiction apparente peut s'expliquer par de la concurrence entre adventices dans le cadre des forts peuplements.

	Agrobio PC 2008	Agrobio PC 2009	Arvalis 2009	CREAB 2008	CREAB 2009	INRA 2008	INRA 2009
Ataro	91	106		22			
Boisseau	117			33			
Caphorn	104	224	209	44	33		
Cézanne	82	101	172	26	20	79	122
CF99102	90	104		17	16	72	121
Grandval	69	96	56	32	33		
LD269	167	159		66	20	45	51
Pegassos	122	95	135	68			
Quebon	88	118		30		77	148
Renan	130	73	142	24	25		
Saturnus	93	209		34	38	87	100
Sumo		58			23		
SUR 233	88	85		18	17		
<b>Moyenne</b>	103	119	143	35	25	72	108
Min	69	58	56	17	16	45	51
Max	167	224	209	68	38	87	148
ETR	41	40	39	23	8	24	41
CV en %	40%	34%	27%	67%	32%	33%	38%
Biomasse dicot	20	8	165	35	24	5	?

Tableau 6 : Biomasses adventices moyennes par variété (en g/m<sup>2</sup>).

Il existe un effet limité mais réel de la variété sur la biomasse d'adventices totale dans quasiment tous les essais, cet effet diminue quand on exclut le triticale (Tableau 7). Regarder séparément les biomasses de monocotylédones et dicotylédones ne permet pas de mieux mettre en évidence l'effet des variétés de céréales sur ces biomasses mis à par sur l'essai Agrobio PC 2008.

	avec le triticale	sans triticale
	0,26	0,36
Agrobio PC 2008	(0,12)	(0,15)
Agrobio PC 2009	0,00	0,00
ARVALIS 2009	0,02	0,18
CREAB 2008	0,13	0,13
CREAB 2009	0,08	0,01
INRA 2008	0,09	0,75
INRA 2009	0,08	0,59

Tableau 7 : Probabilités critiques des tests ANOVA réalisés (effet des variétés sur le biomasse totale des adventices, entre parenthèses biomasse des monocotylédones).

Nous avons effectué un regroupement des cinq essais, sans les essais du CREAB (trop peu précis en 2008, absence de Pegassos en 2009) sur les données de biomasses en g/m<sup>2</sup>, en tenant compte du facteur essai afin de prendre en compte les écarts d'infestations d'un essai à l'autre. Le regroupement a donc été réalisé sur les cinq variétés communes : Caphorn, Renan, Cézanne, Pegassos et Grandval.

L'effet variété sur la biomasse d'adventices est marqué lorsque le triticale Grandval est inclus dans le jeu de données, il est très faible (proba = 0,25) quand Grandval est exclu du jeu de données.

Le triticale Grandval est la variété la plus compétitive (Tableau 8). Caphorn est la variété la moins compétitive, elle autorise une production de biomasse 40% plus importante que pour la variété Renan.

L'effet de l'essai est significatif du fait des différences d'infestations d'un lieu à l'autre. L'interaction Variété\*Lieu est également significative, ce qui n'est guère surprenant compte tenu de la diversité des milieux.

	Biomasse moyenne d'adventices	Groupes homogènes NK à 5%
Caphorn	148	A
Pagassos	115	A B
Cézanne	110	A B
Renan	106	A B
Grandval	63	B

Tableau 8 : Classement des variétés sur les 5 essais regroupés.

#### Les essais analytiques

Dans quelques situations, l'aptitude à supprimer les adventices ou limiter leur développement a été quantifié en comptant le nombre d'épis du RGI et comme en AB en pesant leur biomasse.

Ainsi des comptages d'épis ont été faits dans 3 sites et ont permis de faire un regroupement d'essais. Les effets du lieu et de la variété (y compris en l'absence du triticale) sont significatifs sur le nombre d'épis. Le nombre d'épis de RGI est nettement plus faible sous le triticale. Des différences notables existent au sein des variétés de blé tendre (Tableau 9), il y a 26% d'épis en moins sous Saturnus et Pegassos que sous Koreli et Caphorn.

Variétés	Epoi. 2007	Boign. 2008	Epoi. 2008	Moy.	Groupes homogènes
	N--	N--	N--		
Koreli	96	261	49	135	A
Caphorn	115	222	55	131	A B
LD269	112	189	48	116	A B
Glasgow	109	192	47	116	A B
Quebon	94	205	46	115	A B
Renan	89	192	42	108	A B
CF99102	123	159	33	105	A B
Apache	104	168	33	101	A B
Cézanne	86	179	37	101	A B
Pegassos	65	175	48	96	A B
Saturnus	81	161	38	93	B
Grandval	48	112	17	59	C

Tableau 9 : Nombre d'épis de ray-grass par m<sup>2</sup>. Regroupement de 3 essais niveau N--.

Le protocole des essais analytiques prévoyait les biomasses d'adventices uniquement sur les témoins. Dans certains sites, elles ont été mesurées sur plus de variétés.

Le niveau de biomasse est très variable selon les essais traduisant les différents niveaux d'infestation dans les

essais (Tableau 10). Une moyenne d'essais sur la biomasse ne refléterait que le comportement de l'essai de La Minière 2007, nous avons donc exprimé les résultats en % de la moyenne des témoins.

Caphorn est la variété qui permet la plus forte production de biomasse, le triticale permet de réduire par 2 cette production. Les meilleures variétés de blé permettent une réduction de 40%.

	la Minière 2007		Boigneville 2008		Epoisses 2007		Epoisses 2008		Moy.
	N-	N--	N-	N--	N-	N--	N-	N--	
<b>Biomasse en g/m<sup>2</sup></b>									
Caphorn	951	671	191	144	100	63	54	44	
Renan	815	709	162	163	76	42	27	29	
<b>Biomasse en % de (Caphorn+Renan) / 2</b>									
Caphorn	108%	97%	108%	94%	114%	121%	134%	122%	112%
Glasgow	111%	92%						109%	104%
Renan	92%	103%	92%	106%	86%	79%	66%	78%	88%
Pegassos	77%	80%					41%	111%	77%
Cézanne							57%	82%	70%
LD76B	70%	59%							65%
Grandval	64%	62%	43%	93%			11%	19%	49%

Tableau 10 : Biomasse de RGI dans les essais analytiques.

### Comparaison des résultats obtenus selon les approches (tolérance / suppression) et selon les types d'essais

Les relations ont été étudiées entre les deux critères "tolérance aux adventices" (pertes de rendement pour les variétés de blé) et "suppression des adventices" (impact sur le RGI) dans les essais analytiques. Les biomasses des adventices et les pertes de rendement relatives étaient fortement corrélées (coefficient de corrélation de 0,95 sur La Minière N- et de 0,72 sur La Minière N--). Le nombre d'épis de RGI et les pertes de rendement relatives étaient assez bien corrélés (coefficient de corrélation de 0,74 sur Epoisses 2007 N--). Nous avons également constaté un  $r^2$  de 0,68 entre la moyenne des épis sur 3 essais (1 en 2007 et 2 de 2008) et les pertes de rendement moyennes de 2007. Les variétés les plus tolérantes sont aussi les plus suppressives, comme LD76B et Grandval ; à l'opposé les moins tolérantes comme Caphorn, Glasgow et Sankara sont les moins suppressives. Par contre pour les variétés intermédiaires la relation est beaucoup moins marquée. Tolérance et suppression donnent une information concordante du pouvoir concurrentiel des variétés vis-à-vis des adventices.

L'effet variété vis-à-vis du pouvoir concurrentiel est moins important dans les essais réalisés dans des situations d'infestations naturelles et conduites en AB que dans les essais en agriculture conventionnelle avec des infestations "artificielles" homogènes et fortes. Ceci peut s'expliquer par la difficulté de mettre en évidence des différences dans le cadre de peuplements d'adventices hétérogènes.

Nous avons comparé les résultats de tolérance obtenus sur les essais analytiques et les résultats obtenus dans les essais AB. Au niveau du regroupement des 5 variétés communes (Figure 2), nous retrouvons le classement des 4 variétés : Grandval plus compétitive que Cézanne > Renan et >> Caphorn. Par contre dans les essais AB, la variété Pegassos, témoin compétitif, ne se comporte pas aussi bien que dans les essais de 2007. Même si le triticale reste la variété la plus concurrente en AB, son avantage est moins net que dans les essais analytiques.

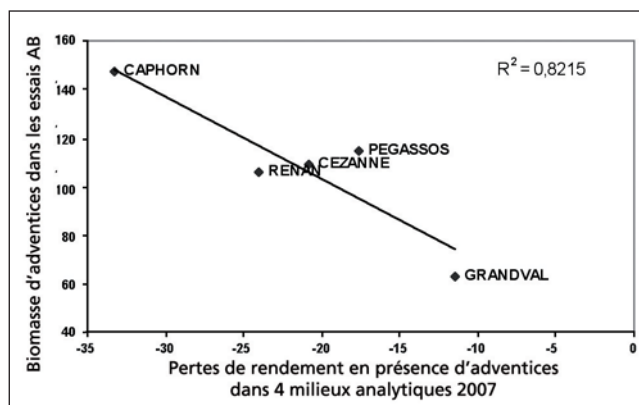


Figure 2 : Comparaison du pouvoir concurrentiel des variétés entre les essais analytiques de 2007 (4 milieux) et les essais AB de 2008 et 2009 (5 essais).

### ► Caractéristiques phénotypiques explicatives du pouvoir concurrentiel

Le second objectif du programme était d'identifier des caractéristiques phénotypiques faciles à mesurer pour prédire le pouvoir concurrentiel des variétés vis-à-vis des adventices.

#### Les caractéristiques phénotypiques

Des différences importantes en termes de port de feuille, de couverture, de hauteur et de précocité existent entre les variétés. Comme quasiment toujours dans l'évaluation variétale, ces différences variétales sont amoindries par l'effet lieu et l'interaction variété\*lieu.

De plus, elles varient également en fonction des stades de développement. Par exemple Grandval très couvrant à la sortie de l'hiver et au début de la montaison n'est pas la variété la plus couvrante à l'épiaison ; à l'opposé Pegassos et Saturnus sont très couvrants à l'épiaison mais dans la moyenne au début de la montaison. Le port des feuilles varie lui aussi au cours du temps (Figure 3) : si le triticale Grandval était très étalé au stade épi 1 cm, il se redresse ensuite. Saturnus, Pegassos et Cézanne à l'inverse s'étalent entre les stades 2 noeuds et épiaison.

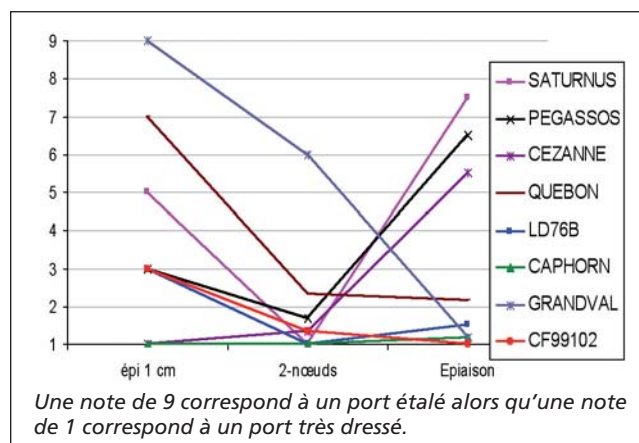


Figure 3 : Évolution des notes de port au cours du cycle sur l'essai La Minière.

Les différences de hauteur sont importantes, elles sont du même ordre de grandeur dans les essais AB que dans les essais conventionnels de 2007. Le triticale Grandval est la variété la plus haute, Caphorn la plus courte. L'écart moyen de hauteur entre ces 2 variétés est identique dans les 2 séries (2007 et AB), 43 cm.

Au cours de ce projet, nous avons commencé à développer une nouvelle méthode pour caractériser le pouvoir couvrant (ou la couverture du sol) des variétés avec l'appui de Benoit de Solan. La notation de couverture du sol telle qu'elle est pratiquée pose de nombreuses questions, faite par un notateur en bordure de parcelle elle ne peut être à la verticale, manque de précision, Nous avons donc cherché à développer une méthode plus répétable, sans composante de hauteur. Pour ce faire une photographie est prise en verticale au dessus de la végétation, à 2 m de hauteur. Sur la partie centrale qui ne subit pas de déformation, la surface de feuille est quantifiée par un logiciel d'analyse d'image (Figure 4). Une des limites de cette méthode sera de ne pouvoir être utilisée que dans les situations sans adventices.

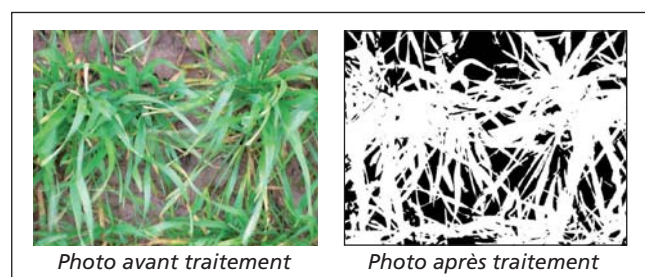


Figure 4 : Exemple du traitement de l'image.

Cette méthode a été mise en œuvre sur l'essai de La Minière en 2007. Sur ce site, la couverture du sol acquise par cette méthode est très corrélée à la méthode traditionnelle ( $r^2$  supérieur à 90% sauf au stade épiaison, date à laquelle la hauteur du couvert rend l'appréciation du taux de couverture encore plus délicate).

#### Recherche des caractéristiques explicatives

Nous avons analysé de façon indépendante les données acquises dans les essais analytiques et les essais AB.

Les caractères les plus prédictifs du pouvoir concurrentiel des variétés ont été obtenus pour chaque milieu et pour chaque caractéristique du pouvoir concurrentiel en regardant la corrélation linéaire entre les deux. Il nous semble important de souligner que dans certains essais, le nombre d'individus est faible et le résultat peut être fortement influencé par le comportement d'une seule variété. Les tableaux présentés ci-dessous incluent le triticale.

#### Essais analytiques

Les caractères les plus prédictifs varient selon les milieux (Tableau 11).

Néanmoins, sur ces quelques essais, la hauteur à maturité est de loin le premier facteur explicatif du pouvoir concurrentiel des variétés. L'interception lumineuse n'est pas plus explicative que le taux de couverture. La précocité, la biomasse du blé, les nombres de talles et d'épis, non indiqués dans le tableau ne sont pas explicatifs. Comme le RGI est une plante très nitrophile, nous avons également regardé si le comportement des variétés vis-à-vis des stress azotés (mesurées ici par l'écart de rendement entre les niveaux de fertilisation en l'absence de RGI) apportait une information par rapport au comportement vis-à-vis des adventices.

La couverture du sol et le port des feuilles sont, en complément de la hauteur, les variables les plus prédictives du pouvoir concurrentiel des variétés. L'aptitude à la concurrence des variétés est dans tous les essais sauf un, toujours mieux prédites par la variable intégrative (aire sous la courbe "couverture du sol en fonction de la somme de températures cumulées") que la couverture à une date précise.

La couverture du sol et la hauteur n'étant pas corrélées (Figure 5), il s'agit de variables complémentaires dans la compétition pour la lumière. Une variété haute et couvrante interceptera davantage de lumière qu'une variété courte et peu couvrante : les variétés les plus hautes interceptent davantage les rayons arrivant de biais et les variétés les plus couvrantes interceptent davantage les rayons arrivant verticalement (Köpke, 2007). La variété haute permettra également de mieux concurrencer les adventices qui se développent en hauteur.

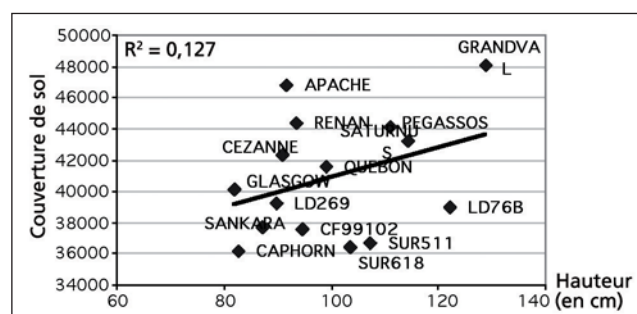


Figure 5 : Relation entre la couverture de sol au cours du temps et la hauteur à maturité sur l'essai La Minière N--.

Essai	Nb de var.	Hau- teur	Couverture				Port des feuilles			Herbomètre		LAI ou L.abs		Sensi.N	Date Epiai.	
			1 cm	2N	E	1 cm à E	1 cm	2N	E	2N	E	2N	E			
<b>Pertes de rendement</b>																
La Min.	N-	15	59	22	33	24	39	3	31	0	14	(72)	(89)	(12)	6	2
La Min.	N--	15	38	3	30	21	30	1	25	0	28	48	30	7	3	16
La Min. D-	N-	13	65	-	32	24	35	-	19	2	-	-	9	9	1	0
Epoi.07	N-	16	63	11	-	15	0	-	-	-	-	-	-	-	13	17
Epoi.07	N--	16	64	2	-	33	22	-	-	-	-	-	-	-	0	7
<b>Biomasse de Ray-Grass</b>																
La Min.	N-	6	98	23	37	34	50	8	29	0	46	92	65	26	2	0
La Min.	N--	6	83	3	12	0	15	15	29	17	51	70	55	3	3	2
Boigneville	N-	5	82	-	-	-	-	22	21	26	-	-	-	-	22	66
Boigneville	N--	5	87	-	-	-	-	10	8	48	-	-	-	-	32	15
Epoi.08	N-	5	81	86	-	54	90	57	-	21	-	-	-	84	6	0
Epoi.08	N--	15	45	55	-	5	29	7	-	2	-	-	-	11	4	20
<b>Nombre d'Epis de Ray-Grass</b>																
Boigneville	N-	14	39	-	-	-	-	3	5	1	-	-	-	-	5	14
Boigneville	N--	14	55	-	-	-	-	5	0	8	-	-	-	-	3	8
Epoi.07	N--	1-	66	9	-	37	38	7	-	-	-	-	-	-	10	1
Epoi.08	N-	5	73	78	-	63	95	46	-	28	-	-	-	89	3	0
Epoi.08	N--	15	27	52	-	4	25	11	-	0	-	-	-	14	6	19

Tableau 11 : Pourcentages d'explication ( $r^2$ ) des pertes de rendement, de la biomasse et des nombre d'épis de RGI par les mesures effectuées, le cas des essais analytiques.

Essai	Adventices	Nb de var.	Couverture			Hau- teur	Port			Herbo 1N	Stade Epiäi.	BM blé	Autre
			1 cm	2N	Epiäi.		1 cm	2N	Epiäi.				
Arv09	gaillet, coquelicot	5	-	42	-	90	61	49	-	39	0	80	vigueur levée = 43
INRA08		5	89	3	9	64	63	1	-	-	17	-	
INRA09		5	-	-	3	57	-	-	0	-	60	-	
CREAB08	moutarde	12	1	-	-	16	1	-	-	-	9	8	densité levée blé = 32
CREAB09	moutarde, dicot	9	27	3	2	17	27	1	-	6	3	-	densité levée blé = 37
ABPC08		12		22	3	15	1	-	-	-	9	8	
ABPC09		12	-	41	-	3	30	1	-	23	6	-	densité levée blé = 52

Tableau 12 : Pourcentages d'explication ( $r^2$ ) de la biomasse d'adventices par les mesures effectuées, le cas des essais AB.

### Essais AB

Si dans les essais analytiques, la hauteur est la caractéristique la plus déterminante du pouvoir concurrentiel, cela n'est pas le cas dans les essais AB (Tableau 12). La hauteur est explicative et prédictive des différences de compétitivité entre variétés uniquement dans 3 essais. Le port de feuille en début de montaison et la couverture (pouvoir couvrant) apportent également un peu d'explication. Contrairement aux essais conduits en conventionnel où les levées sont plus homogènes (très certainement liées aux traitements de semences), les densités de levées peuvent fortement varier entre les variétés dans les essais AB. Ainsi dans les essais Arvalis et AgroBio PC de l'année 2009 les peuplements varient du simple au double. Dans les essais où les densités de levée ou la vigueur à la levée ont été notées, elles expliquent 1/3 à 1/2 du pouvoir concurrentiel. Cette composante du rendement n'est pas disponible pour tous les essais ; en effet, la consigne du protocole était de déterminer le peuplement levée des témoins et des génotypes rencontrant des problèmes. On peut donc supposer que dans les essais n'ayant pas fait l'objet de notations, il n'y a pas eu de problèmes.

## 4. Conclusions et perspectives

Nous avons démontré la valeur d'usage que peuvent avoir les variétés pour limiter le développement des adventices. Ainsi dans les essais AB, le triticale permet de réduire la biomasse d'adventices de 50% par rapport à celle produite avec Caphorn, les variétés de blé tendre de 25 à 30%.

Cette caractéristique variétale mérite donc d'être prise en compte pour limiter le développement des adventices, même si son efficacité, comme toute méthode alternative, est

moindre que celle des herbicides. Elle est de toute façon à combiner à d'autres solutions agronomiques visant le contrôle des adventices.

Les résultats obtenus dans des situations d'agriculture conventionnelle avec des infestations artificielles donnent une indication du comportement des variétés en situation d'AB.

Nous avons pu montrer que le pouvoir concurrentiel est largement expliqué par l'architecture de la plante, en particulier la hauteur et la couverture du sol.

Nous avons commencé à développer une nouvelle méthode pour caractériser le pouvoir couvrant par l'analyse d'image. Ceci doit continuer à être exploré cette piste avec l'INRA d'Avignon avec qui nous travaillons actuellement. Nous avons également montré qu'il était important de prendre en compte la dynamique d'installation de la couverture.

Malgré les difficultés rencontrées dans les essais AB en infestations naturelles d'adventices, hétérogènes dans l'espace, nous avons pu avoir des résultats intéressants dans ces milieux. Nous avons au cours de ce programme envisagé des possibilités à mettre en œuvre pour limiter ces difficultés dans de futurs essais. Localisation des placettes de prélèvement en fonction de l'hétérogénéité de peuplement constatées à la levée des adventices, infestations artificielles avec des plantes qui ne poseront pas de problèmes de salissement dans les cultures suivantes : pois (concurrence vis-à-vis de l'eau et la lumière), graminées fourragères (rotation avec le retour fréquent de cultures fourragères), ...

Les essais AB ont rappelé l'importance de la qualité de la levée dans l'installation d'un couvert végétal concurrent des adventices.

### Articles et documents publiés à partir des résultats de ce programme

**Fontaine L., Rolland B., Bernicot M.-H., Poiret L., 2009**  
Des variétés rustiques concurrentes des adventices pour l'agriculture durable en particulier l'agriculture biologique. Innovations Agronomiques 4, 115-124

**Bernicot M.H., Fontaine L., Rolland B., 2010** Compétitivité vis-à-vis des adventices de variétés de blé en agriculture biologique, Columa 2010

**Rolland B., Bernicot M.-H., Fontaine L., 2010** Wheat varieties in competition with weeds for sustainable agriculture, in particular organic farming, Eucarpia

**Bonin L., Dossier désherber autrement : Combinaisons de techniques, un désherbage intégré pour durer ? Perspectives Agricoles n°361 novembre 2010 pp.23-24**

**Poiret L., 2007.** Caractérisation de l'aptitude des variétés de blé à concurrencer les adventices. Mémoire de fin d'études 146<sup>e</sup> promotion Agriculture, Institut Polytechnique LaSalle Beauvais/ Arvalis 100 p.

### Références bibliographiques

**Eisele J.A., Köpke U., 1997a.** - Choice of Cultivars in Organic Farming: New Criteria for Winter Wheat Ideotypes. 1: Light Conditions in Stands of Winter Wheat Affected by Morphological Features of Different Varieties. Pflanzenbauwissenschaften 1, 19-24.

**Eisele J.A., Köpke U., 1997b.** - Choice of Cultivars in Organic Farming: New Criteria for Winter Wheat Ideotypes. 2: Weed Competitiveness of Morphologically Different Cultivars. Pflanzenbauwissenschaften 1, 84-89.

**Fontaine L., Rolland B., Bernicot M.-H., 2008.** Contribution to organic breeding programmes of wheat variety testing in organic farming in France. In: Neuhoff D. et al. (Eds.), Proceedings of Cultivating the Future Based on Science: 2nd Conference of the International Society of Organic Agriculture Research ISOFAR, Modena, Italy, p. 688-691.

**Köpke U., 2007.** Winter wheat: Selection for weed competitiveness in organic and low-input cropping systems. Réunion FSOV Adventices. Paris, 17 septembre 2007, 8 p.

**Lecomte C., Heumez E., Pluchard P., 2000.** Identification de différences génotypiques dans la réponse aux contraintes environnementales : cas de la concurrence due aux mauvaises herbes dans une culture de blé tendre d'hiver. In : P. Maillard, R. Bonhomme (Eds.), Fonctionnement des peuplements végétaux sous contraintes environnementales. INRA Editions, Paris, p. 539-558.