



**HAL**  
open science

## Contribution à la sélection de variétés de blé adaptées à un débouché en alimentation des volailles

Bernard B. Carré, Ophélie Robert, Herve H. Juin, Dalila Feuillet, M. Provot, S. Darrozes, C. Launay, T. Demarquet, S. Cuvelier

### ► To cite this version:

Bernard B. Carré, Ophélie Robert, Herve H. Juin, Dalila Feuillet, M. Provot, et al.. Contribution à la sélection de variétés de blé adaptées à un débouché en alimentation des volailles. Synthèse des Programmes de recherche FSOV Actes de la rencontre scientifique, Jan 2011, Paris, France. hal-02749697

**HAL Id: hal-02749697**

**<https://hal.inrae.fr/hal-02749697>**

Submitted on 3 Jun 2020

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

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



## SYNTHESE DES PROGRAMMES DE RECHERCHE FSOV



Actes de la rencontre scientifique - 13 janvier 2011



*Fonds de soutien à l'Obtention Végétale*

## Fonds de Soutien à l'Obtention Végétale

Dans l'accord interprofessionnel relatif au renforcement de l'obtention végétale dans le domaine du blé tendre, le Fonds de Soutien à l'Obtention Végétale (FSOV) a été défini comme un fonds destiné à financer des programmes de recherche collectifs dans le domaine du blé tendre, dont la finalité est la sélection de variétés adaptées à une agriculture durable plus respectueuse de l'environnement.

Cette finalité définie en 2001 lors de la mise en place de l'accord interprofessionnel se révèle toujours d'actualité et au cœur des préoccupations de la société, comme en témoignent les récentes propositions issues du Grenelle de l'environnement.

Ainsi le FSOV soutient les projets de création variétale dans le domaine du blé tendre, répondant simultanément aux objectifs d'amélioration des performances, de baisse ou de meilleure valorisation des intrants et d'adaptation aux contraintes multiples du milieu.

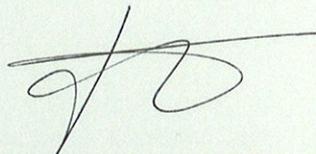
Le FSOV soutient également les projets innovants, en particulier ceux mettant en œuvre le transfert d'outils modernes (génomique, modélisation,...) débouchant sur des applications directement utilisables en création variétale pour les objectifs visés.

De même, le FSOV encourage des thèmes plus spécifiques portant sur l'amélioration des qualités technologiques et sanitaires, des résistances aux maladies et ravageurs et des tolérances aux stress abiotiques.

Depuis la création du FSOV, 40 programmes de recherche ont été financés.

Le partenariat de ces programmes de recherche concerne l'ensemble des sélectionneurs de blé tendre, soit au titre de l'UFS, du CETAC, du GIE Bioplante ou du GIE CLUB 5, soit à titre individuel, 7 unités de recherche publique, la FNAMS, le GEVES, des instituts, ARVALIS - Institut du végétal et l'ITAB, des universités ou des écoles d'ingénieurs en agriculture.

Cette synthèse des programmes de recherche FSOV présente les résultats des programmes retenus lors de l'appel à propositions 2006. Ils ont fait l'objet d'une communication orale lors de la rencontre scientifique du 13 janvier 2011 à Paris.



François JACQUES  
Président du Comité d'engagement du FSOV



**Section Céréales et Protéagineux**  
44 rue du Louvre - 75001 Paris  
Tél. : 01 42 33 86 79 - E-mail : fsov@gnis.fr

# SOMMAIRE

---

<b>Contribution à la sélection de variétés de blé adaptées à un débouché en alimentation des volailles .....</b>	<b>page 2</b>
<b>Analyse et identification des caractéristiques génétiques influençant la composition du grain de blés destinés à la production de bio-éthanol .....</b>	<b>page 7</b>
<b>Validation de gènes de résistance à la fusariose et évaluation de leur impact sur le rendement .....</b>	<b>page 12</b>
<b>Méthodes pour sélectionner des variétés de blé tendre adaptées aux situations de disponibilité en azote limitante .....</b>	<b>page 19</b>
<b>Des variétés rustiques concurrentes des adventices pour l'agriculture durable, en particulier l'agriculture biologique .....</b>	<b>page 31</b>
<b>Évaluation de variétés tolérantes à la sécheresse et aux fortes températures : analyse de la composition isotopique du carbone photosynthétique et de l'effet de chocs thermiques (résultats préliminaires) .....</b>	<b>page 38</b>
<b>Introduction dans le blé de variabilité génétique à partir d'<i>Aegilops Tauschii</i> .....</b>	<b>page 49</b>
<b>Introduction dans le blé de gènes de résistance à la jaunisse nanisante de l'orge .....</b>	<b>page 59</b>
<b>Etude de la variabilité génétique et agronomique de la valeur meunière .....</b>	<b>page 64</b>

# Contribution à la sélection de variétés de blé adaptées à un débouché en alimentation des volailles

Bernard CARRÉ<sup>2</sup>, Olivier ROBERT\*<sup>1</sup>, Hervé JUIN<sup>3</sup>, Dalila FEUILLET<sup>3</sup>, Marc PROVOT<sup>4</sup>, Sébastien DARROZES<sup>5</sup>, Claire LAUNAY<sup>6</sup>, Thierry DEMARQUET<sup>1</sup>, Sébastien CUVELIER<sup>7</sup>

\* Coordinateur : Olivier ROBERT<sup>1</sup>, olivier.robert@florimond-desprez.fr, Tél. : 03 20 84 94 90

- 1 - BIOPLANTE - Florimond Desprez - 3 rue Florimond Desprez, BP 41, 59242 Cappelle en Pévèle
- 2 - INRA, Unité de Recherches Avicoles - Centre de Tours, 37380 Nouzilly
- 3 - INRA, Domaine du Magneraud, BP 52, 17700 Surgères
- 4 - LABORAGRO - Rue Tavers, CD39, 77130 La Grande Paroisse
- 5 - Laboratoire, INZO° - Rue de l'Église, 02400 Chierry
- 6 - Direction Scientifique et Technique, INZO° - Rue de l'Église, 02400 Chierry
- 7 - BIOPLANTE - Serasem - 60 rue Léon Beauchamp, BP 45, 59930 La Chapelle d'Armentières

## 1. Introduction

La production animale représente environ 40% des débouchés du blé produit en Europe (source : AGPB). Bien qu'étant une destination majeure, la production animale a généré peu d'intérêt jusqu'à présent chez les sélectionneurs de blé, les critères technologiques retenus étant le plus souvent ceux proposés par le secteur de la consommation humaine. Il y a certes des critères communs aux utilisations humaine et animale, comme la teneur en protéines. Mais il y a aussi de nombreux critères spécifiques à l'alimentation animale qui sont rarement l'objet de considération.

Compte tenu de sa composition chimique caractérisée par une forte teneur en amidon, le blé rentre dans les formulations alimentaires pour animaux essentiellement comme un fournisseur d'énergie. La valeur énergétique disponible pour l'animal est donc le principal critère de qualité du blé en alimentation animale.

Les niveaux relativement élevés des valeurs énergétiques du blé le mettent directement en concurrence avec d'autres céréales comme l'orge, le maïs ou le sorgho, mais aussi avec des racines ou tubercules comme le manioc, ou des graines de légumineuses comme le pois. La rentrée du blé dans les formules pour animaux va donc dépendre pour beaucoup de la position de son ratio [qualité/prix] par rapport à ces autres matières premières.

On réalise ici que le marché du blé en alimentation animale se distingue fondamentalement de celui de l'alimentation humaine par le fait qu'il n'est pas "captif". Le produit final (la viande, le lait, les œufs...) n'exige pas l'obligation d'utiliser du blé dans les aliments. De ce fait, le marché du blé en alimentation animale est dans une situation concurrentielle aiguë. En alimentation animale, il est donc bien évident que la qualité est un critère important, mais plus important encore est le critère [qualité/prix]. Pour une utilisation en alimentation animale, il est donc essentiel que l'amélioration variétale des blés se préoccupe à la fois de la qualité et des coûts de production. Pour évaluer le critère "qualité" d'une matière première destinée au poulet de chair, on peut utiliser la formule suivante d'index de valeur nutritionnelle (IVN) (d'après Carré et al., 2002a) :

$$IVN = 0,0001375 EM + 0,114 Ly$$

Avec :  
EM : EMAN (poulet jeune) (Kcal/kgMS) ; Ly : % lysine / MS

Cette formule montre qu'une augmentation de 10% de la teneur en lysine du blé fait augmenter son IVN de seulement 0,8%, tandis que 10% d'augmentation de l'EMAN du blé améliore son IVN de 9%. Ce calcul montre clairement que la valeur énergétique du blé est son principal critère de qualité pour la production de poulet de chair.

La présente étude s'intéresse à l'évaluation des critères physico-chimiques du blé qui affectent sa valeur énergétique chez le poulet de chair. Dans cette étude, il sera aussi question de l'interaction entre qualité et coût de production à travers l'évaluation de l'effet du mode cultural sur la valeur énergétique du blé.

La production de volailles de chair en Europe, avec un tonnage annuel d'environ 15 millions de tonnes (source : ITAVI), représente une consommation potentielle d'environ 15 millions de tonnes de blé, soit environ 30% du blé destiné à la consommation animale européenne, ou 12% de la production totale européenne.

Les méthodes de référence en matière d'évaluation énergétique d'une matière première sont le plus souvent des méthodes *in-vivo* sur animal. C'est le cas lorsque l'on s'intéresse à l'alimentation du poulet de chair. Cependant, une évaluation énergétique *in-vivo* est coûteuse. Ainsi, s'il fallait fournir la valeur énergétique affectée à des variétés de blé par l'usage des seules mesures *in-vivo*, le coût en serait prohibitif et un nombre limité de variétés pourraient être examinées, à cause des variabilités des échantillons de blé et des réponses animales qui exigeraient de nombreuses répétitions. C'est pourquoi, il est nécessaire de passer par des critères physico-chimiques indirects, beaucoup moins coûteux et plus rapides. L'objet de la présente étude est de faire progresser les connaissances sur la nature et l'impact chiffré des critères physico-chimiques du blé qui affectent sa valeur énergétique pour le poulet de chair.

Des travaux ont déjà été conduits sur ce sujet avec, par exemple, la reconnaissance de l'effet négatif de la viscosité de l'extrait aqueux du blé sur sa valeur énergétique pour le poulet de chair. Cette viscosité, provoquée par les arabinoxylanes hydrosolubles, induit une sur-excrétion d'eau et une diminution des absorptions intestinales, surtout sur les fractions lipidiques (Carré et al., 2007). Suite à ce résultat, le CTPS "céréales à paille" a mis en place depuis 2005 un nouveau critère de qualité technologique des variétés de blé dénommé "Test de Viscosité (pour information)". Cette viscosité est une viscosité potentielle obtenue après destruction des activités

xylanasiques par un prétraitement éthanolique à chaud (Carré *et al.*, 1994). Pour le blé, ce test est le premier et seul critère reconnu par le CTPS qui soit spécifique au débouché de l'alimentation animale. Bien que ce critère de viscosité soit important, il convenait de le compléter pour aboutir à une appréciation plus précise de la valeur énergétique du blé destiné au poulet de chair.

A cette fin, deux expériences ont été conduites, l'une en 2007, l'autre en 2009. Dans les deux expériences, 21 échantillons différents de blé ont été testés, soit, en tout, 42 échantillons. Ces échantillons provenaient de 31 cultivars différents.

Les échantillons de blé ont été fournis par Bioplante. Les mesures des paramètres physico-chimiques des blés ont été effectuées par le laboratoire d'INZO° - InVivo. Les mesures individuelles *in-vivo* sur poulets de chair mâles de 3 semaines ont été conduites par l'INRA du Magneraud (Unité Expérimentale EASM) selon le descriptif d'un bilan digestif en cages individuelles sans période de jeûne (Péron *et al.* (2005). Les blés étaient introduits à hauteur de 56% dans les régimes granulés. Les blés étaient broyés sur une grille de 6 mm avant mélange.

Les analyses des aliments et des excréta nécessaires aux bilans digestifs ont été conduites comme décrit par Carré *et al.*

(2002b) avec l'assistance de la prédiction par spectroscopie dans le proche infra-rouge (NIR) (Bastianelli *et al.*, 2010).

Les calculs statistiques de mises en relation entre paramètres physico-chimiques et mesures *in-vivo* ont été réalisés par l'INRA de Nouzilly (Unité de Recherches URA).

## 2. Effets du mode culturel et de l'origine génétique

En 2007, les effets de 2 modes cultureux ["non traité" (NT) et "traité avec apport d'azote à la floraison" (TFLO)] et de l'origine génétique des blés ont été évalués en testant 10 origines génétiques différentes réparties sur les 2 modes.

Ces deux modes cultureux se distinguant essentiellement par les apports azotés, leurs effets sur la teneur en protéines et la dureté des blés ont été très significatifs avec, comme attendu, des valeurs plus élevées pour le mode TFLO. Les autres critères physico-chimiques ont été, soit peu affectés, soit inchangés par le mode culturel. L'origine génétique a affecté très significativement les protéines, la dureté, la viscosité et les matières grasses (Tableaux 1 et 2).

Année	Blé (code INRA)	Numéro de lignée ou dénomination	Mode culturel	Dureté	Masse à l'hectolitre	Viscosité "spécifique" AFNOR (mL/g MS)	VUR <sup>1</sup> (mL/g MS)	VUP <sup>1</sup> (mL/g MS)
2007	71	6	NT	39	77,6	5,10	3,42	6,70
2007	72	9	NT	65	76,8	2,24	1,81	3,06
2007	73	10	NT	63	75,6	1,79	1,50	2,35
2007	74	12	NT	21	78,7	4,15	2,94	5,63
2007	75	13	NT	7	75,6	2,93	2,25	4,05
2007	76	15	NT	78	78,2	3,18	2,41	4,43
2007	77	16	NT	55	73,5	5,21	3,46	6,80
2007	78	28	NT	62	80,3	4,52	3,13	6,05
2007	79	31	NT	27	80,8	2,54	2,02	3,54
2007	710	34	NT	56	79,2	2,98	2,30	4,18
2007	711	6	TFLO	62	78,8	4,23	2,99	5,73
2007	712	9	TFLO	81	77,5	2,40	1,93	3,34
2007	713	10	TFLO	75	81,3	2,19	1,78	3,00
2007	714	12	TFLO	28	75,4	4,16	2,94	5,63
2007	715	13	TFLO	29	74,1	2,62	2,08	3,67
2007	716	15	TFLO	93	80,1	3,58	2,62	4,90
2007	717	16	TFLO	43	77,4	5,11	3,42	6,70
2007	718	28	TFLO	83	80,3	4,40	3,06	5,89
2007	719	31	TFLO	42	83,3	2,38	1,90	3,27
2007	720	34	TFLO	76	83,6	3,01	2,30	4,18
2007	721	Isengrain	X	46	65,9	1,60	1,36	2,05
2009	91	waxy	X	59	76,4	5,98	3,78	5,73
2009	92	waxy	X	66	77,9	3,70	2,69	5,46
2009	93	waxy	X	1	76,4	4,88	3,29	5,06
2009	94	waxy	X	49	75,4	3,17	2,40	3,78
2009	95		X	-2	75,1	2,71	2,12	3,27
2009	96		X	5	78,4	2,66	2,08	3,02
2009	97		X	41	80,1	2,57	2,03	3,26
2009	98		X	11	75,1	2,07	1,70	3,34
2009	99		X	48	77,8	2,56	2,02	2,87
2009	910		X	58	72,3	3,77	2,73	4,58
2009	911		X	19	76,7	2,68	2,10	4,16
2009	912		X	12	75,7	4,84	3,27	6,26
2009	913		X	14	75,6	3,63	2,65	4,71
2009	914		X	23	78,6	3,24	2,43	3,75
2009	915		X	50	78,8	3,21	2,42	3,64
2009	916		X	54	77,8	2,06	1,69	3,30
2009	917	Bulk soft	X	0	74,2	2,51	1,99	3,99
2009	918	Bulk semi-soft	X	3	75,1	2,42	1,94	3,40
2009	919	Bulk semi-hard	X	31	74,3	2,34	1,88	3,74
2009	920	Bulk hard	X	48	75,6	2,30	1,85	3,53
2009	921	Isengrain	X	13	76,7	1,44	1,25	2,01

Tableau 1 : Analyses physiques des échantillons de blé utilisés dans l'expérience sur poulet.

<sup>1</sup>VUR : Viscosité Utile réelle ; VUP : Viscosité Utile Potentielle (Carré *et al.*, 1994).

Blé (code INRA)	Protéines (% MS)	Lysine (% MS)	Amidon (% MS)	Cellulose brute (% MS)	Parois hydro-insolubles (% MS)	Matières grasses (% MS)	Matières Minérales (% MS)	Activité phytasique	TAXI <sup>1</sup> (ppm)	XIP <sup>1</sup> (ppm)
71	11,08	0,34	70,23	2,89	12,45	1,42	1,62	758		
72	11,05	0,32	72,18	2,05	9,80	1,34	1,53	707		
73	10,85	0,33	71,51	2,73	11,42	1,32	1,70	693		
74	11,05	0,33	70,76	2,54	11,51	1,81	1,63	693		
75	9,69	0,32	70,42	2,72	13,79	1,69	1,76	635		
76	11,07	0,38	71,40	2,67	14,95	1,91	1,61	778		
77	11,18	0,34	71,68	2,49	10,04	1,55	1,77	685		
78	11,41	0,34	73,35	2,46	10,61	1,37	1,96	731		
79	10,81	0,33	70,74	2,73	11,95	1,50	1,78	460		
710	12,14	0,34	70,59	2,26	10,76	1,48	1,97	691		
711	14,71	0,41	66,43	3,33	11,97	1,39	1,86	646		
712	13,61	0,38	71,61	2,47	9,95	1,37	1,68	510		
713	12,83	0,37	72,59	2,48	11,11	1,50	1,72	568		
714	13,36	0,38	69,18	2,74	10,96	1,82	1,77	600		
715	12,21	0,35	71,58	2,86	9,36	1,79	1,89	469		
716	14,10	0,40	68,47	2,68	11,01	1,86	1,67	647		
717	14,39	0,38	67,97	2,49	11,08	1,60	2,03	614		
718	14,36	0,39	70,12	2,22	10,68	1,38	1,85	749		
719	13,62	0,37	71,77	2,48	12,58	1,53	1,90	509		
720	14,79	0,37	71,68	2,37	9,97	1,35	1,73	558		
721	11,50	0,34	72,90	2,80	10,10	1,74	1,64	755		
91	16,59	0,41	70,10	3,40	11,68	0,98	1,72	748	119	315
92	15,56	0,40	66,30	3,03	12,12	1,40	1,72	775	125	277
93	14,98	0,40	70,30	2,90	11,76	1,32	1,34	1561	105	285
94	15,97	0,42	67,50	2,90	11,73	1,35	1,76	1320	112	293
95	11,84	0,36	70,00	3,83	12,46	1,08	1,72	588	142	348
96	13,56	0,37	68,80	3,20	11,57	1,18	1,57	516	172	370
97	13,22	0,36	69,70	2,84	11,15	1,64	1,58	597	156	298
98	13,49	0,38	69,70	3,00	10,26	1,09	1,63	518	174	353
99	13,78	0,36	69,90	2,75	10,53	0,87	1,59	540	137	372
910	13,47	0,41	68,40	2,92	11,12	1,16	1,73	820	176	390
911	15,01	0,41	68,80	3,26	11,84	0,93	1,65	426	135	340
912	15,47	0,40	67,40	3,34	11,55	1,39	1,74	534	123	341
913	14,44	0,38	68,50	3,17	10,15	1,23	1,70	713	110	327
914	16,53	0,42	66,60	3,06	9,78	1,95	1,68	744	105	303
915	14,84	0,38	67,30	2,93	11,91	1,31	1,65	603	83	339
916	15,59	0,40	68,70	2,53	11,41	1,13	1,61	651	134	282
917	10,76	0,34	69,70	2,83	11,41	1,01	1,71	737	93	318
918	11,54	0,35	69,60	3,13	11,36	0,91	1,69	891	116	369
919	10,89	0,33	71,60	2,86	10,57	1,21	1,77	937	101	346
920	11,75	0,35	66,10	3,11	10,71	1,01	1,69	864	109	373
921	10,29	0,32	73,50	2,36	9,72	1,32	1,50	853	103	240

Tableau 2 : Analyses chimiques des échantillons de blé utilisés dans l'expérience sur poulet.  
<sup>1</sup> Activités anti-xylanase.

Quant à l'effet sur l'EMAn des blés, l'impact de l'origine génétique a été beaucoup plus important ( $P=0,0001$ ) que celui du mode cultural ( $P=0,03$ ), avec 6,3% d'écart entre extrêmes pour l'effet génétique contre 1,1% d'écart dû au mode cultural (Tableau 3).

La digestibilité des protéines des régimes "blé" n'a pas été affectée par les effets "génétique" ou "mode cultural". La digestibilité des lipides n'a été affectée que par l'effet "génétique" ( $P=0,04$ ) (Tableau 3).

Quant aux effets sur la digestibilité de l'amidon, les deux facteurs ont eu un impact très significatifs ( $P=0,0001$ ), avec cependant des écarts numériques faibles pour l'effet du mode cultural (NT : 93,9% ; TFLO : 92,7%) et relativement importants pour l'effet génétique (5,4% entre extrêmes) (Tableau 3).

Il ressort de cette analyse que la valeur nutritionnelle des blés s'est avérée beaucoup plus affectée par leur origine génétique que par le mode cultural.

En 2009, l'effet génétique spécifique à la dureté a été testé par l'examen de 4 "bulks". Chaque bulk regroupait, en un lot, 25 échantillons provenant d'une même population (d'haploïdes doublés) issue d'un croisement entre deux lignées Bio3 et Bio13 polymorphes pour la dureté. Les 4 bulks ont été constitués de manière à ce que la dureté soit la seule caractéristique génétique qui varie. On retrouve avec ces bulks la logique de l'effet négatif de la dureté sur la digestibilité de l'amidon (Tableau 3) (cf plus bas). Cependant, les autres critères mesurés *in vivo* ne répondent pas toujours selon la logique attendue de l'effet "dureté" (Tableau 3). Il faut cependant noter que les écarts de dureté entre bulks étaient relativement faibles (Tableau 1) et n'ont probablement pas permis une pleine expression de tous les effets "dureté".

Le gène "waxy" (amidon sans amylose) a également été testé avec 4 échantillons de blé de diverses origines génétiques. Leurs comparaisons aux autres échantillons de 2009 dans le cadre de calculs à plusieurs variables prédictives montrent un effet bénéfique du gène sur la digestion de

Blé (code INRA)	n <sup>1</sup>	EMAn <sup>2</sup> (kcal / kg MS) des blés	EMAn <sup>2</sup> (kcal / kg MS) des régimes "blé"	Digestibilité (%) de l'amidon des régimes "blé"	Digestibilité (%) des lipides des régimes "blé"	Digestibilité (%) des protéines des régimes "blé"
71	15	3008 ± 45,8	2923 ± 25,2	92,7 ± 0,68	79,9 ± 1,97	80,1 ± 0,59
72	15	3154 ± 40,5	3004 ± 22,3	93,6 ± 0,58	82,6 ± 1,02	80,7 ± 0,75
73	14	3124 ± 29,1	2987 ± 16,0	91,1 ± 0,58	84,6 ± 0,62	80,6 ± 0,60
74	15	3175 ± 31,7	3016 ± 17,5	95,6 ± 0,29	80,9 ± 1,57	79,7 ± 0,52
75	15	3194 ± 40,2	3026 ± 22,2	96,8 ± 0,23	79,1 ± 1,97	81,3 ± 0,78
76	15	3183 ± 35,0	3020 ± 19,3	92,9 ± 0,58	81,0 ± 1,13	79,7 ± 0,73
77	15	3126 ± 41,2	2989 ± 22,7	94,6 ± 0,45	80,7 ± 1,79	80,9 ± 0,51
78	14	3081 ± 37,1	2964 ± 20,5	93,7 ± 0,64	80,9 ± 1,58	80,0 ± 0,75
79	14	3234 ± 35,4	3048 ± 19,5	95,4 ± 0,67	83,2 ± 0,73	81,6 ± 0,60
710	15	3143 ± 52,8	2998 ± 29,1	92,7 ± 0,82	81,0 ± 1,57	81,6 ± 0,85
711	15	3007 ± 33,9	2923 ± 18,7	92,2 ± 0,41	80,5 ± 1,38	81,0 ± 0,49
712	15	3189 ± 34,8	3023 ± 19,2	93,0 ± 0,35	83,3 ± 1,40	81,1 ± 0,60
713	14	3102 ± 38,5	2975 ± 21,2	90,1 ± 0,51	84,0 ± 0,66	80,5 ± 0,57
714	15	3146 ± 37,9	2999 ± 20,9	94,7 ± 0,39	79,1 ± 1,20	79,7 ± 0,72
715	15	3226 ± 40,6	3043 ± 22,3	95,2 ± 0,45	83,4 ± 0,84	80,4 ± 0,75
716	13	3116 ± 51,1	2983 ± 28,2	90,5 ± 0,89	82,1 ± 1,03	80,2 ± 0,77
717	13	2978 ± 59,0	2907 ± 32,5	92,0 ± 0,82	78,9 ± 1,94	79,2 ± 0,98
718	13	3056 ± 34,2	2950 ± 18,9	92,3 ± 0,83	81,4 ± 1,86	80,4 ± 0,55
719	15	3099 ± 47,7	2973 ± 26,3	93,7 ± 0,61	80,8 ± 1,03	79,2 ± 0,96
720	15	3109 ± 40,4	2979 ± 22,3	92,7 ± 0,59	83,5 ± 1,19	80,5 ± 0,65
721	15	3226 ± 32,5	3044 ± 17,9	94,3 ± 0,42	84,6 ± 0,70	80,2 ± 0,59
91	14	3343 ± 36,1	3126 ± 19,9	97,3 ± 0,26	82,0 ± 1,25	86,3 ± 0,55
92	15	3299 ± 44,4	3102 ± 24,5	94,7 ± 0,51	82,6 ± 1,65	86,5 ± 0,59
93	14	3324 ± 41,3	3116 ± 22,8	98,0 ± 0,11	79,4 ± 2,37	84,5 ± 0,66
94	15	3247 ± 44,1	3073 ± 24,3	95,5 ± 0,44	81,3 ± 1,53	84,6 ± 0,62
95	14	3269 ± 41,5	3085 ± 22,9	96,9 ± 0,16	81,0 ± 1,30	85,4 ± 0,75
96	14	3355 ± 36,9	3133 ± 20,3	97,4 ± 0,27	81,4 ± 1,01	87,3 ± 0,80
97	13	3225 ± 48,3	3061 ± 26,6	93,2 ± 0,65	85,3 ± 0,85	86,1 ± 0,71
98	13	3414 ± 42,5	3165 ± 23,4	97,4 ± 0,19	82,1 ± 1,20	86,4 ± 0,70
99	15	3368 ± 29,8	3140 ± 16,4	95,3 ± 0,42	81,3 ± 0,82	86,5 ± 0,49
910	14	3339 ± 26,9	3124 ± 14,8	96,7 ± 0,36	85,1 ± 0,76	85,7 ± 0,48
911	15	3283 ± 31,2	3093 ± 17,2	96,4 ± 0,24	82,2 ± 0,99	86,1 ± 0,62
912	14	3340 ± 48,8	3124 ± 26,9	96,2 ± 0,48	81,6 ± 1,10	85,8 ± 0,59
913	14	3431 ± 19,6	3175 ± 10,8	97,4 ± 0,16	82,6 ± 0,96	86,4 ± 0,60
914	15	3400 ± 33,6	3158 ± 18,5	96,5 ± 0,27	84,4 ± 0,85	87,6 ± 0,53
915	13	3249 ± 67,6	3074 ± 37,3	93,7 ± 0,90	82,1 ± 1,95	86,4 ± 0,76
916	15	3369 ± 30,9	3141 ± 17,0	94,9 ± 0,43	83,4 ± 0,83	85,8 ± 0,63
917	15	3393 ± 23,5	3153 ± 13,0	97,5 ± 0,25	83,6 ± 0,95	87,7 ± 0,67
918	14	3310 ± 40,1	3108 ± 22,1	96,9 ± 0,32	83,1 ± 1,40	87,1 ± 0,79
919	13	3289 ± 28,2	3096 ± 15,5	96,0 ± 0,51	84,6 ± 1,27	86,2 ± 0,65
920	15	3420 ± 39,2	3168 ± 21,6	96,4 ± 0,34	85,1 ± 0,71	87,7 ± 0,70
921	15	3363 ± 56,7	3137 ± 31,2	96,4 ± 0,49	80,3 ± 1,99	86,7 ± 0,82
Effet (P) année		0,0001	0,0001	0,0001	0,03	0,0001
Effet (P) échantillon de blé		0,0001	0,0001	0,0001	0,008	0,06

Tableau 3 : Valeurs nutritionnelles des blés et des régimes "blé" chez le poulet de chair (M ± SEM).

<sup>1</sup> Nombre d'individus - <sup>2</sup> Énergie métabolisable apparente corrigée pour un bilan azoté nul.

l'amidon, compris entre 1 et 2% (Tableau 3), ce qui reste limité. Il n'a pas pu être mis en évidence d'autres effets significatifs du gène "waxy" sur les paramètres *in vivo*. On note pour ces échantillons "waxy" une tendance à une forte teneur protéique (Tableau 2), mais aussi une tendance à une forte viscosité de l'extrait aqueux (Tableau 1).

### 3. Prédiction de la valeur énergétique des blés pour le poulet de chair par ses critères physico-chimiques

Les données *in vivo* ont été marquées par un effet "année" important avec, en 2007, des réponses sensibles aux variations de qualité des blés et, en 2009, des valeurs nutritionnelles significativement plus élevées et beaucoup

moins sensibles aux caractéristiques des blés. Bien que l'origine commerciale des animaux (Ross PM3) ait été la même dans les deux années, il n'est pas exclu qu'il y ait eu une évolution génétique marquée entre les deux années. Cette variabilité animale est plutôt un point positif dans l'étude, car elle permet de produire des chiffres plus proches d'une moyenne animale générale.

On retrouve dans ces équations les facteurs négatifs déjà identifiés dans le passé : les parois végétales hydro-insolubles, la dureté et la viscosité de l'extrait aqueux (Carré *et al.*, 2002b, 2005). L'effet négatif des parois s'explique par leur indigestibilité totale chez le poulet. L'effet dureté provient de son effet négatif sur la digestibilité de l'amidon dû à l'encapsulation des grains d'amidon dans les particules grossières des blés à forte dureté. La viscosité agit essentiellement sur les absorptions (cf plus haut).

Les équations présentées en tableau 4 résultent d'une combinaison d'évaluations théoriques et expérimentales par régressions. On constate une réponse négative et quadratique pour la dureté qui exprime de faibles variations de réponse pour les duretés allant de 100 à 40, puis une nette amélioration linéaire pour les duretés descendant de 40 vers 0. En d'autres termes, le gain d'une faible dureté ne s'exprime nettement que pour des valeurs inférieures à 20.

Il est vraisemblable que cette réponse quadratique s'explique par la combinaison des effets positifs et négatifs générés par la dureté, sachant que les particules grossières peuvent aussi être positives du fait de leur effet bénéfique sur la physiologie du transit digestif du poulet (Carré, 2000).

Cependant, lorsque l'on combine un plus grand nombre de données (la présente étude et les études précédentes menées à l'unité de recherches avicoles), cette réponse curvilinéaire n'est plus perceptible (Carré et al., 2010, Figure 1). Il est probable que l'accumulation des données augmente la variabilité génétique de la population animale examinée. Ainsi, si chaque type génétique possède une réponse curvilinéaire spécifique (Carré et al., 2007), leur combinaison pourrait résulter en une réponse linéaire globale.

On peut remarquer que, malgré des méthodes de calcul différentes, les deux calculs (Tableau 4 et Figure 1) aboutissent à des coefficients très similaires.

#### 4. Conclusion

Sachant que les trois critères apparaissant dans ces équations sont fortement dépendants de la génétique des blés (Oury et al., 1998), la sélection peut faire varier la qualité des blés pour le poulet de chair d'une manière notable. Le calcul utilisant les équations de la présente publication montre que la sélection peut faire varier cette qualité du blé dans un domaine d'environ 8%.

- $X = 3778 - 36,4 \text{ PAR} - 3,84 \text{ D} + 0,0279\text{D}^2 - 13,9 \text{ VUP}$   
ETR = 109 ;  $R^2 = 0,261$
- $X = 3790 - 36,4 \text{ PAR} - 3,84 \text{ D} + 0,0279\text{D}^2 - 27,2 \text{ VUR}$   
ETR = 105 ;  $R^2 = 0,316$
- $X = 3774 - 36,4 \text{ PAR} - 3,84 \text{ D} + 0,0279\text{D}^2 - 15,1 \text{ VS}$   
ETR = 105 ;  $R^2 = 0,314$

X : EMAn calculée des blés (Kcal / kg MS)  
PAR : Parois végétales hydro-insolubles (% MS) des blés  
D : Dureté (échelle de 1 à 100) des blés  
VUP : Viscosité Utile Potentielle (ml /g MS) des blés  
VUR : Viscosité Utile Réelle (ml /g MS) des blés  
VS : Viscosité Spécifique (ml /g MS) des blés

Tableau 4 : Équations de prédiction de l'énergie métabolisable (EMAn) in vivo des blés (n = 41 blés) chez le poulet de chair, obtenues en combinant calculs théoriques et régressions multiples (présente étude).

- $X = 3708 - 34,5 \text{ PAR} - 1,12 \text{ D} - 33,4 \text{ VUR}$
- X : EMAn calculée des blés (Kcal / kg MS)  
PAR : Parois hydro-insolubles (% MS) des blés  
D : Dureté (échelle de 1 à 100) des blés  
VUR : Viscosité Utile Réelle (ml /g MS) des blés

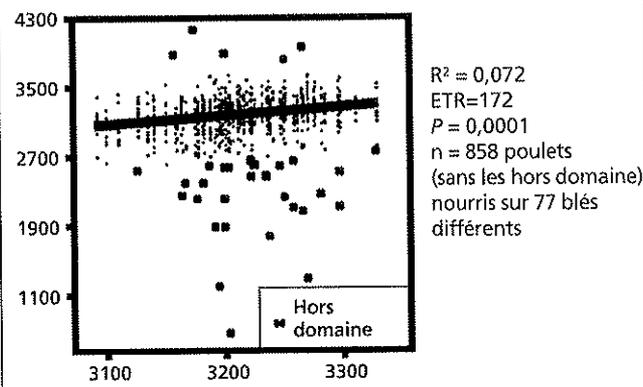


Figure 1 : Équations de prédiction de l'EMAn (kcal / kg MS) in vivo des blés par régression linéaire multiple en poolant les chiffres\* de la présente étude avec ceux de deux études précédentes (Carré et al. (2002b, 2005). \*EMAn corrigées pour les effets essai.

#### Références bibliographiques

- Bastianelli D., Bonnal L., Juin H., Mignon-Grasteau S., Davrieux F., Carré B. (2010). Prediction of chemical composition of poultry excreta by near infrared spectroscopy. *Journal of Near Infrared Spectroscopy*, 18 : 69-77.
- Carré B. (2000). Effets de la taille des particules alimentaires sur les processus digestifs chez les oiseaux d'élevage. *INRA Productions Animales*, 12:131-136.
- Carré B., Gomez J., Melcion J.P., Giboulot B. (1994). La viscosité des aliments destinés à l'aviculture. Utilisation pour prédire la consommation et l'excrétion d'eau. *INRA Productions Animales*, 7:369-379.
- Carré B., Lessire M., Juin H. (2002a). Development of the net energy system for poultry. In : Eastern Nutrition Conference; Guelph (CAN); 2002/05/9-10, 140-149. *Animal Nutrition Association of Canada; Guelph, Ontario (CAN)*.
- Carré B., Idi A., Maisonnier S., Melcion J.P., Oury F.X., Gomez J., Pluchard P. (2002b). Relationships between digestibilities of food components and characteristics of wheats (*Triticum aestivum*) introduced as the only cereal source in a broiler chicken diet. *British Poultry Science*, 43:404-415.
- Carré B., Muley N., Gomez J., Oury F.-X., Laffitte E., Guillou D., Signoret C. (2005). Soft wheat instead of hard wheat in pelleted diets results in high starch digestibility in broiler chickens. *British Poultry Science*, 46:66-74.
- Carré B., Mignon-Grasteau S., Péron A., Juin H., Bastianelli D. (2007). The wheat value: improvements by feed technology, plant breeding and animal genetics. *World's Poultry Science Journal*, 63: 585-596.
- Carré B., Juin H., Bastianelli D., Launay C., Robert O., Feuillet D., Provot M., Darrozes S. (2010). Combination of 9 Assays for calculation of Relationships between Wheat AMEn Values in Broilers and Wheat Physicochemical Parameters. In : 13th European Poultry Conference; Tours (France); 2010/08/23-27, Abstract p. 342. CD Proceedings 5 pages. WPSA (France).
- Oury F.X., Carré B., Pluchard P., Bérard P., Nys Y., Leclercq B. (1998). Genetic variability and stability of poultry feeding related characters in wheat, in relation to environmental variation. *Agronomie*, 18:139-150.
- Péron A., Bastianelli D., Oury F.-X., Gomez J., Carré B. 2005. Effects of food deprivation and particle size of ground wheat on digestibility of food components in broilers fed a pelleted diet. *British Poultry Science*, 46: 223-230.