

Prédiction de la teneur en fibres totales et insolubles de matières premières courantes dans l'alimentation du porc à partir de leur composition chimique

Maud LE GALL (1, 2), Lucile MONTAGNE (1, 2), Yolande JAGUELIN-PEYRAUD (1, 2), Anne PASQUIER (1, 2), Didier GAUDRE (3)

(1) UMR SENAH, INRA, 35590 St-Gilles

(2) UMR SENAH, Agrocampus Ouest, 65 rue de St-Brieuc, 35042 Rennes

(3) IFIP-Institut du porc, BP 35104, 35651 Le Rheu

Maud.LeGall@rennes.inra.fr

Prédiction de la teneur en fibres totales et insolubles à partir de la composition chimique de matières premières utilisées en alimentation du porc

Les matières premières (MP) riches en fibres sont fréquemment introduites dans les aliments des porcs. Cependant, l'utilisation raisonnable de ces MP nécessite une caractérisation précise de la fraction fibreuse. Les fibres représentent une famille hétérogène de composés aux caractéristiques biochimiques et physicochimiques variées. Plusieurs méthodes permettent de les doser sélectivement mais celle de van Soest et la cellulose brute (CB) sous-estiment la fraction soluble au contraire de la méthode de Prosky (TDF) alors même que cette fraction est recherchée pour ses effets sur la fonction digestive et la santé. La méthode TDF est, cependant, peu pratiquée en alimentation animale. L'objectif de ce travail est de proposer des équations de prédiction des teneurs en fibres totales solubles et insolubles selon la méthode TDF en fonction de la composition chimique de la MP. A partir de 69 échantillons de MP, les teneurs en MS, MM, MAT, amidon, sucres totaux, MG et les teneurs en fibres selon différentes méthodes (Weende (CB), van Soest, Carré et Prosky (TDF)) ont été déterminées afin de calculer les équations de prédiction des fibres totales, solubles et insolubles par régression linéaire progressive, puis validées avec 25 autres MP. Les meilleures équations de prédiction des fibres totales et insolubles, proposées pour les principales catégories de MP, prennent en compte l'ensemble des constituants autres que les fibres (résidu) ou l'amidon et les protéines. Pour toutes les équations, les ETR sont généralement inférieurs à 3%. Les teneurs en fibres solubles ne peuvent, quant à elles, pas être prédites.

Prediction of total and insoluble dietary fiber content based on the chemical composition of raw materials currently used in pig diets

Feed materials containing high levels of dietary fibre are frequently introduced in pigs' diets. An optimal utilisation of these materials requires precise characterization of the fibrous fraction. Fibre is a heterogeneous family of components differing in their biochemical and physico-chemical properties. Different methods have been used to analyse dietary fibre content. The van Soest and crude fibre (CF) methods typically underestimate the soluble fraction of fibre; this fraction is important because it affects gastrointestinal function and animal health. The Prosky method better estimates the total dietary fibre (TDF), including both soluble and insoluble fractions of fibres, but isn't commonly used in the feed industry. This study aimed to develop prediction equations for total dietary fibre based on the chemical composition of raw feed materials. The level of DM, minerals, CP, starch, total sugars, fat and the level of fibre (using several methods: Weende (CF), van Soest, Carré and Prosky (TDF)) were determined in 69 samples of raw feed materials. Prediction equations were determined using multiple and stepwise linear regression. They were validated using 25 other raw feed materials. The best equations for predicting total and insoluble dietary fibre were based on all the non-fibrous constituents or starch and protein levels. Overall, the residual error of the regressions was lower than 3%. As such, the level of soluble fibre could not be predicted accurately based on the chemical composition of the raw feed materials.

INTRODUCTION

Les matières premières (MP) riches en fibres sont fréquemment introduites dans les aliments des porcs car elles présentent de nombreux avantages pour la filière à la fois sur le plan économique, environnemental et éthique (Le Gall *et al.*, 2009). Cependant, l'utilisation raisonnable de ces MP nécessite une caractérisation précise de la fraction fibreuse. Le terme «fibres alimentaires» définit une famille hétérogène de polysaccharides aux caractéristiques biochimiques et physico-chimiques variées (Bach Knudsen, 2001) ce qui rend leur dosage complexe. Plusieurs méthodes permettent de doser les fibres sélectivement (Figure 1). Les méthodes de type gravimétrique sont couramment utilisées en alimentation animale. Le dosage de van Soest (van Soest et Wine, 1967) permet de séparer les fractions «neutral detergent fiber» (NDF), «acid detergent fiber» (ADF) et «acid detergent lignin» (ADL) solubles dans des solutions neutres ou acides. La méthode de Weende (Henneberg et Stohmann, 1864) détermine la cellulose brute (CB) et la méthode de Carré et Brillouet (Carré et Brillouet, 1989), dose les parois insolubles dans l'eau. Contrairement à celles citées ci-dessus, la méthode de Prosky (Prosky *et al.*, 1985) ou «total dietary fiber» (TDF) présente l'avantage d'être moins restrictive et peut aboutir à la distinction entre les fibres dites solubles (certaines hémicelluloses, pectines) et les fibres insolubles (cellulose, hémicelluloses insolubles). Cependant cette méthode d'analyse est peu appliquée en alimentation animale. Devant l'intérêt croissant porté à l'incorporation de fibres solubles dans l'alimentation porcine, notamment pour leurs effets bénéfiques sur le fonctionnement digestif (Lallès *et al.*, 2004), il apparaît nécessaire de mieux appréhender leurs analyses.

Il est notamment intéressant d'établir des relations entre les différentes méthodes d'analyse précédemment citées, ceci pour les matières premières les plus souvent incorporées dans les aliments des porcs.

L'objectif de ce travail est de proposer des équations de prédiction des teneurs en fibres totales, solubles et insolubles selon la méthode de Prosky à partir de la composition chimique de la MP.

Pour répondre à cet objectif, les teneurs en MS, MM, MAT, amidon, sucres totaux, MG, et les teneurs en fibres selon les méthodes de Weende, de van Soest, de Carré et Prosky ont été déterminées pour 69 échantillons de MP.

Les équations de prédiction obtenues ont alors été validées sur 25 autres MP pour lesquelles les mêmes critères de composition ont été également mesurés.

1. MATERIELS ET METHODES

1.1. Matières premières

Vingt-huit MP entrant dans la composition des aliments pour porcs ont été sélectionnées. Afin de tenir compte de leur importance relative dans un aliment porc, il a été retenu de constituer un ensemble de 5, 3 ou 1 échantillons pour chaque MP (soit un total de 69 échantillons).

Au sein de chaque MP, une diversité des origines d'échantillons a été recherchée.

Les échantillons de MP ont été broyés avec une grille de 1,0mm puis de 0,5 mm au broyeur ultra-centrifuge de type Retsch®ZM 100 (Bioblock Scientific, France).

Les échantillons de drèches de blé, de tourteaux de tournesol et de maïs ont subi préalablement une étape de broyage avec une grille de 5,0 mm et de 2,5 mm, respectivement. Les échantillons de pois et de pulpes de betterave ont été broyés au préalable à l'aide d'un moulin de type Moulinex®.

Le broyage des tourteaux de tournesol et des pulpes de betterave a été effectué en présence d'azote liquide afin d'éviter l'encrassement du broyeur. L'échantillon de manioc a été écrasé avant d'être broyé. Pour les MP très grasses comme les graines de colza et de tournesol, le broyage à 0,5 mm a été réalisé à l'aide d'un broyeur à billes (Dangoumill® 300 commercialisé par Prolabo).

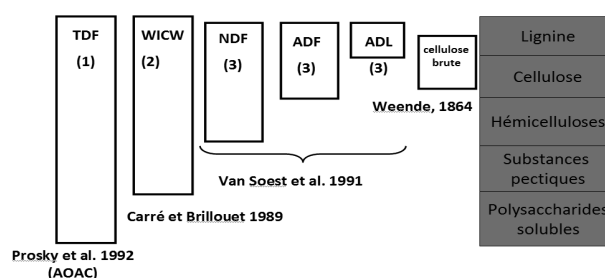


Figure 1 - Les différents dosages des fibres (Gidenne, 1996).

(1) TDF = total dietary fiber; (2) WICW = water insoluble cell-wall; (3) NDF = neutral detergent fiber, ADF = acid detergent fiber, ADL = acid detergent lignin.

1.2. Détermination de la composition chimique

Les dosages ont été effectués en double ou triple sur les 69 échantillons de MP. Les résultats ont été rapportés au pourcentage de matière sèche (MS) de la MP.

Les teneurs en MS et matières minérales (MM) ont été déterminées sur 3 g d'échantillon selon la méthode AOAC (1990). La teneur en azote a été mesurée selon la méthode de DUMAS (AOAC, 1990) sur un analyseur de type Elementar modèle Rapid N Cube commercialisé par Bioritech® (Chamarande, France).

La teneur en matières azotées totales (MAT) ou protéines a été estimée en multipliant par 6,25 la teneur en azote.

La teneur en matières grasses (MG) a été déterminée, selon la méthode CCE 2ème directive modifiée par celle du 20 décembre 1983, par extraction à l'éther de pétrole, sans hydrolyse préalable.

Environ 2 g d'échantillon ont été introduits dans une cartouche à extraction puis placés dans un extracteur, de type Soxtec® Avanti 2050 (Foss Tecator, Suède). Les MG ont été extraites (pendant environ 3 h) par de l'éther de pétrole. Ce dernier est distillé et le résidu est séché puis pesé.

La teneur en amidon a été déterminée selon la méthode enzymatique de Thivend *et al.* (1965). L'amidon est hydrolysé sous l'action d'une amyloglucosidase (2 h à 55°C).

Le glucose libéré est ensuite dosé par colorimétrie à l'aide du complexe enzymatique glucose-oxydase-peroxydase (méthode de Trinder) sur un appareil automatique et

multiparamétrique (Konélab 20i® commercialisé par Thermo Electron Corporation (Ruunkintie, Finlande)) et dont les réactifs sont fournis par Biomérieux (Marcy l'Etoile, France). L'absorbance du produit de réaction est lue à 500 nm, par rapport à une gamme étalon réalisée avec une solution de glucose.

La teneur en sucres totaux est réalisée selon la méthode de Luff-Schoorl (AFNOR, 1985) qui dose les sucres réducteurs et les sucres totaux après inversion.

La détermination de la teneur en CB a été faite selon la méthode de Weende (Henneberg et Stohmann, 1864), à partir d'une prise d'essai d'environ 500 mg.

Cette méthode est automatisée grâce au Fibersac®, qui traite à ébullition les échantillons avec successivement, de l'acide sulfurique (0,26 N) et de la potasse diluée (0,23 N).

Le résidu obtenu est placé à l'étuve à +103°C pendant 8 h, pesé, puis incinéré dans un four à +550°C pendant 8 h. La teneur en CB correspond à la différence entre le poids après passage à l'étuve et celui obtenu après incinération.

La détermination des teneurs en résidus NDF, ADF et ADL (van Soest and Wine, 1967) est réalisée après hydrolyse de l'amidon et délipidation de l'échantillon (500 mg) si la teneur en MG est supérieure à 5% (graines oléagineuses).

Le résidu NDF est obtenu après hydrolyse de l'échantillon par une solution au détergent neutre, séchage à l'étuve à +103°C (8 h) puis pesé.

La digestion de l'amidon contenu dans les céréales est facilitée par l'utilisation d'une alpha-amylase thermostable (Thermamyl®) et les substances pectiques sont solubilisées par l'EDTA contenu dans la solution de détergent neutre. Le résidu ADF est obtenu après solubilisation des hémicelluloses avec une solution contenant un détergent acide, séchage à l'étuve à +103°C (8 h) puis pesée.

Le résidu ADL est obtenu après traitement par une solution d'acide sulfurique à 72 % pendant 4 h, séchage à l'étuve à +103°C (8 h) puis pesée. Les résidus NDF, ADF et ADL, rapportés à la quantité de la prise d'essai, sont corrigés de la teneur en minéraux, obtenue par incinération des résidus dans un four à +550°C pendant 8 h.

L'obtention du résidu «parois végétales insolubles dans l'eau» ou WICW (water-insoluble cell walls) est réalisée après plusieurs traitements chimiques et enzymatiques de l'échantillon (environ 500 mg) selon la méthode de Carré et Brillouet (1989).

Après solubilisation de l'amidon par empesage et hydrolyse par une amylase thermostable (Thermamyl®), les protéines sont solubilisées par un détergent neutre puis hydrolysées par une protéase (pronase). Les lipides sont alors solubilisés par le détergent neutre puis éliminés par lavage de l'échantillon avec un mélange de chloroforme et de méthanol.

Après séchage à +103°C, le résidu est pesé puis incinéré. La différence entre le poids après incinération et avant correspond au résidu WICW.

La détermination des TDF (Prosky *et al.*, 1988; Prosky *et al.*, 1992) est réalisée à partir d'une prise d'essai d'environ 500 mg. L'amidon et les protéines sont hydrolysés sous l'action d'une amyloglucosidase et d'une protéase (Thermamyl®). La fraction fibreuse est alors précipitée à l'éthanol puis filtrée. Après séchage à +103°C, le résidu est pesé.

Les teneurs en MM, obtenues par incinération de l'échantillon (+550°C, 8 h), et les teneurs en MAT, obtenues par dosage de l'azote par la méthode de Dumas présentée ci-dessus, sont déduites. Simultanément, la procédure des TDF insolubles est réalisée selon les méthodes de Prosky *et al.* (1988 et 1992).

Les fractions insolubles et solubles sont séparées après hydrolyse des protéines et de l'amidon par précipitation de la fraction soluble à l'éthanol, 95 % pendant une nuit à température ambiante puis filtration. La fraction insoluble est lavée 3 fois à éthanol, 78 %, 2 fois à l'éthanol 95 % puis 2 fois à l'acétone. Après évaporation de l'acétone et séchage à +103°C, le résidu est pesé. Les teneurs en MM, obtenues par incinération de l'échantillon (+550°C, 8 h), et les teneurs en MAT, obtenues par dosage de l'azote par la méthode de Dumas présentée ci-dessus, sont déduites.

1.3. Calculs et analyses statistiques

Les résultats obtenus par les différents dosages permettent de calculer un Résidu Fibre (RF) déduit de la somme des teneurs en MM, MAT, MG, amidon et sucres analysées ($RF (\%) = 100 - MM (\%) - MAT (\%) - MG (\%) - amidon (\%) - sucres (\%)$).

La teneur en TDF solubles est obtenue par différence entre les teneurs en TDF totaux et insolubles.

Les résultats des dosages obtenus ont été validés par comparaison avec les données de composition chimique disponibles dans les tables INRA-AFZ (Sauvant *et al.*, 2004). Les résultats de la validation ne sont pas détaillés ici.

Les équations de prédiction des TDF totaux et insolubles ont été calculées à partir des critères chimiques par régression multiple progressive sur l'ensemble des MP ou par catégorie de MP. Six catégories ont été retenues : la catégorie «MP» est constituée de l'ensemble des MP, celle des «céréales» de 20 échantillons de céréales, celle des «coproduits de céréales» de 12 échantillons, celle des «protéagineux» de 9 échantillons, celle des «tourteaux et graines d'oléagineux» de 8 échantillons.

Enfin la catégorie «autres MP» recense les MP (n=20) qui n'appartiennent pas aux catégories citées précédemment.

Afin de valider les équations obtenues, un ensemble de 25 autres échantillons de MP a été sélectionné.

Le laboratoire INZO° a déterminé leur composition chimique. Des comparaisons entre les valeurs mesurées et prédites par nos équations ont été effectuées.

La procédure REG du logiciel SAS (SAS Inst. Inc., Cary, NC) a été utilisée pour toutes les analyses statistiques.

2. RESULTATS ET DISCUSSION

Vingt-huit MP différentes ont été sélectionnées pour l'étude car elles rentrent dans la composition des aliments des porcs.

Les 69 échantillons provenaient de plusieurs sites français de fabrication d'aliment afin de limiter les effets qui seraient liés aux variations phénotypiques de la composition chimique et les effets liés au site de fabrication, en particulier pour les MP ayant subi un traitement technologique (coproduits de céréales et tourteaux).

2.1. Equations de prédiction de la teneur en TDF totaux et en TDF insolubles

Les équations de prédiction de la teneur en TDF totaux et insolubles obtenues sur l'ensemble des MP et par catégorie de MP sont présentées dans les tableaux 1 et 2. Les teneurs en fibres selon la méthode de Prosky (TDF totaux et insolubles) sont bien corrélées aux critères de composition chimique (figure 2). Cependant, il est difficile d'obtenir une équation unique pour l'ensemble des MP. Cela nous a conduits à exclure certaines MP des équations générales et à refaire l'analyse en regroupant les MP par catégorie. La catégorie «MP» correspond à l'ensemble des MP à l'exclusion des drèches de blé et des pulpes de betterave; celle des «céréales», celle des «coproduits de céréales sauf drèches de blé», celle des «tourteaux et graines d'oléagineux» et celle des «protéagineux». La teneur en TDF totaux des pulpes de betterave est supérieure à celle du RF de 5 points (figure 2). Cette caractéristique spécifique des pulpes peut s'expliquer par le fait qu'elles contiennent environ 40 % de pectines (Bach Knudsen, 1997), fibres solubles, qui rendent difficiles l'extraction des protéines et de l'amidon lors des premières étapes de la méthode de Prosky. Ceci peut conduire à des contaminations de la fraction TDF par les protéines notamment. De même, la prédiction des teneurs en TDF totaux et insolubles des drèches de blé n'est pas satisfaisante (figure 2).

Lors de l'extraction de l'éthanol produit, les drèches subissent un traitement thermique conduisant à la formation des produits de Maillard (Cozannet *et al.*, 2009) qui rendent insolubles les protéines. Celles-ci contaminent alors les résidus fibreux lors des différents dosages des fibres.

Les meilleurs prédicteurs des teneurs en TDF totaux et insolubles sont les autres critères fibreux (RF, NDF, ADF, CB et WICW) pour toutes les catégories sauf celle des céréales. Pour ces dernières, il s'agit des teneurs en amidon et en protéines, ce qui n'est pas surprenant puisque l'amidon représente plus de 60 % de la MS du grain de blé et les protéines sont les seconds constituants les plus abondants (>10 % de la MS). Le résidu fibre (RF) est obtenu par différence entre la MS et tous les autres constituants dosés de la MP. Il est donc logiquement un bon prédicteur pour l'ensemble des MP (équation 1; figure 2). La prédiction est détériorée lorsque l'équation est établie en intégrant un seul critère de van Soest, NDF et ADF, pour les teneurs en TDF totaux et insolubles, respectivement. Les ETR sont alors plus élevés (équations 2 et 13). Sur ce point, il est intéressant de noter que le critère NDF qui regroupe la lignine, la cellulose et une partie des hémicelluloses permet de prédire la teneur en fibres totales alors que le critère ADF, estimateur de la lignine et de la cellulose (figure 1), prédit la teneur en fibres insolubles. De la même manière, le meilleur prédicteur des teneurs en TDF totaux des protéagineux est le critère WICW (équation 11) lorsqu'un seul critère est pris en compte. En effet, la méthode de Carré et Brillouet (1986) permet un meilleur dosage des fibres solubles (figure 1).

En particulier, les pectines contenues dans les parois végétales des dicotylédones comme le pois peuvent ainsi être dosées alors qu'elles ne le sont pas avec la méthode de van Soest (Carré et Brillouet, 1988). La qualité de la prédiction est toutefois fortement améliorée lorsque l'ensemble des critères chimiques est intégré à l'équation de prédiction des TDF totaux (équation 12).

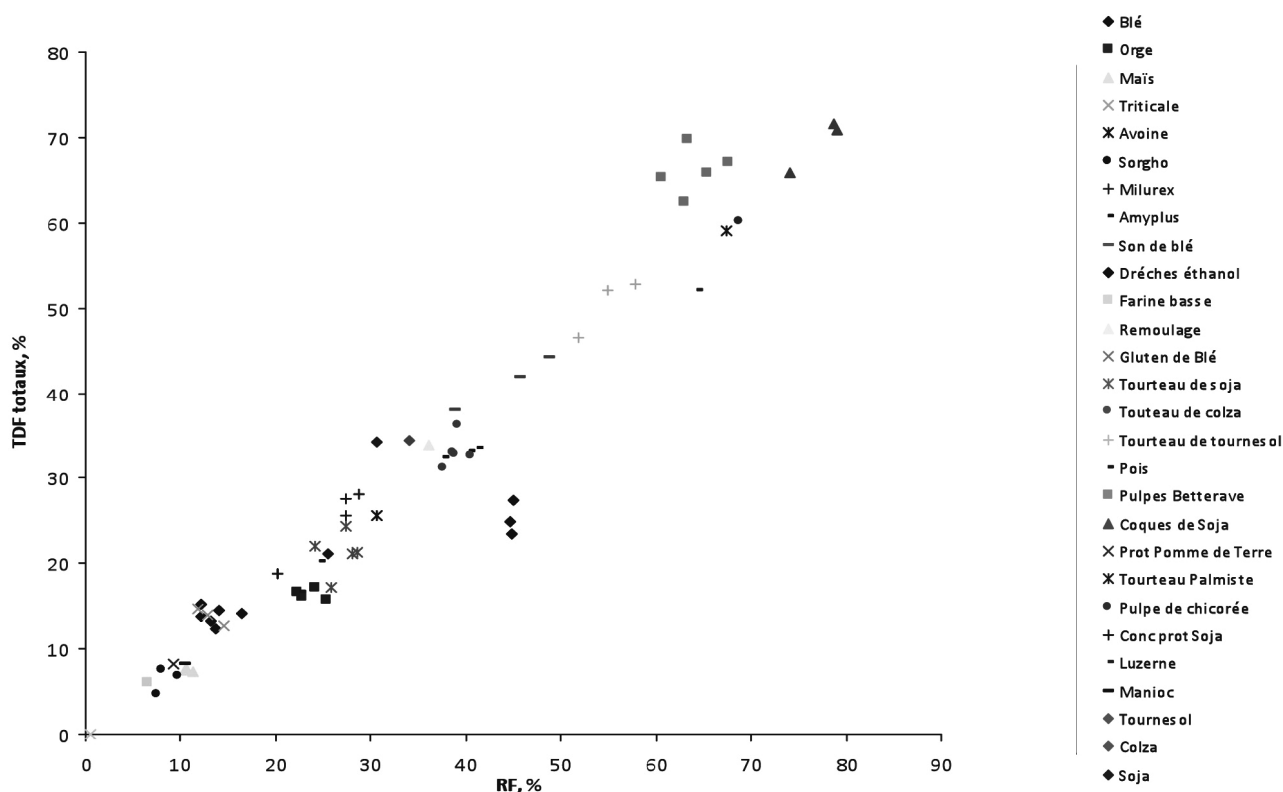


Figure 2 - Relation entre les teneurs en résidus fibreux (RF (%) = 100 – (MM (%) + MAT (%) + MG (%) + amidon (%) + sucres (%)) et les TDF totaux des MP de l'étude

La teneur en TDF insolubles n'est quant à elle prédite qu'à partir de l'ensemble des constituants chimiques (équation 19) représenté par le résidu RF. Pour les coproduits de céréales, la qualité de prédiction est identique voire légèrement moins bonne (ETR plus élevé) lorsque l'équation intègre le critère CB seul (équation 7) en comparaison avec l'équation 6 qui intègre le critère RF. Associés au critère CB, les critères MM et MG qui sont des constituants non négligeables des coproduits permettent une meilleure prédiction (ETR plus faibles ; équations 8 et 9).

Tableau 1 - Equations de prédiction de la teneur en TDF totaux (TDF totaux, %) des matières premières (MP) utilisées dans les aliments des porcs à partir de leur composition chimique (% de la matière sèche)

N°	Equation	R ²	ETR
MP ^a			
1	TDF totaux = 0,89 RF ^b	0,98	2,69
2	TDF totaux = 1,03 NDF ^b + 0,05	0,95	3,95
3	TDF totaux = 0,83 RF + 0,09 NDF	0,98	2,62
Céréales			
4	TDF totaux = -0,60 amidon + 53,1	0,98	1,44
5	TDF totaux = -0,54 amidon + 0,52 MAT ^b + 43,4	0,95	1,12
Coproduits de céréales			
6	TDF totaux = 0,88 RF	0,97	2,25
7	TDF totaux = 4,67 CB ^b	0,96	2,67
8	TDF totaux = 3,99 CB + 1,38 MM - 2,09	0,99	1,19
9	TDF totaux = 4,10 CB + 0,78 MG ^b + 1,07 MM ^b - 3,80	0,99	1,01
Tourteaux d'oléagineux			
10	TDF totaux = 1,28 CB + 16,44	0,98	1,47
Protéagineux			
11	TDF totaux = 0,91 WICW ^b	0,56	2,41
12	TDF totaux = - 0,97 amidon - 1,36 MAT - 1,16 NDF - 0,52 MG + 113,7	0,92	1,38

Pour toutes les équations, les coefficients sont significatifs à P<0,01

^a : Equations établies à partir de 58 MP; sont exclus les drèches de blé, les pulpes de betterave

^b : RF, % : résidu fibreux, NDF, % : neutral detergent fiber, MAT, % : matières azotées totales, CB, % : cellulose brute, MG, % : matières grasses, MM, % : matières minérales, WICW, % : water-insoluble cell walls

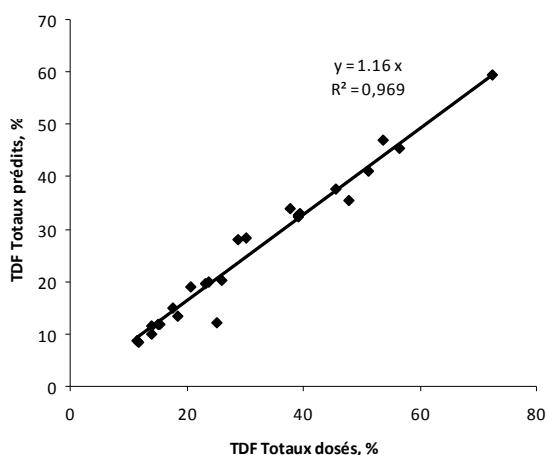


Figure 3 - Relation entre les teneurs en TDF totaux dosés selon la méthode de Prosky et les teneurs en TDF totaux prédits par l'équation 1 (25 échantillons de MP).

Tableau 2 - Equations de prédiction de la teneur en TDF insolubles (TDF insolubles, %) des matières premières (MP) utilisées dans les aliments des porcs à partir de leur composition chimique (% de la matière sèche)

N°	Equation	R ²	ETR
MP ^a			
13	TDF insolubles = 1,29 ADF ^b + 6,13	0,82	2,51
Céréales			
14	TDF insolubles = -0,64 amidon + 53,2	0,93	1,42
15	TDF insolubles = -0,69 amidon - 0,40 MAT ^b + 60,6	0,95	1,27
Coproduits de céréales			
16	TDF insolubles = 4,52 CB ^b	0,94	3,19
17	TDF insolubles = -0,66 MAT + 2,88 ADF + 10,22	0,99	2,61
Protéagineux			
18	TDF insolubles = - 0,09 amidon + 1,33 ADF + 9,49	0,97	0,56
Tourteaux d'oléagineux			
19	TDF insolubles = 0,98 RF	0,98	1,13

Pour toutes les équations, les coefficients sont significatifs à P<0,01

^a : Equations établies à partir de 58 MP; sont exclus les drèches de blé, les pulpes de betterave

^b : RF, % : résidu fibreux, ADF, % : acid detergent fiber, MAT, % : matières azotées totales, CB, % : cellulose brute, MG, % : matières grasses, MM, % : matières minérales, WICW, % : water-insoluble cell walls

2.2. Evaluations des équations de prédiction des TDF totaux et insolubles

L'évaluation des équations présentées précédemment a été réalisée en comparant les valeurs prédites et analysées de 25 échantillons de MP par régression linéaire.

Les caractéristiques de chaque régression, pente et coefficient de détermination (R²) sont présentés dans le tableau 3. La figure 3 montre que les valeurs de TDF totaux prédites par l'équation 1 et celles mesurées sont hautement corrélées (R² = 0,97).

L'équation de régression obtenue a une pente proche de l'unité (1,16) et une ordonnée à l'origine nulle. On peut cependant constater que le point correspondant à la graine de colza s'écarte de la droite de régression : la valeur en TDF totaux estimée (12,2%) par notre équation est très inférieure à la valeur obtenue par dosage (25,1%). Les équations 2 et 3 permettent une prédiction équivalente à l'équation 1.

On rencontre des cas particuliers avec les graines d'oléagineux et les tourteaux. La difficulté pour prédire les teneurs en TDF totaux des graines d'oléagineux (soja et colza) pourrait être liée au fait qu'elles contiennent une quantité importante de MG, qui peuvent contaminer les autres analyses, malgré les étapes de délipidation souvent préalables.

Pour les tourteaux, une contamination des fractions TDF par des protéines insolubles lors du dosage n'est en outre pas exclue.

La prédiction des TDF insolubles par l'équation 13 apparaît satisfaisante pour l'ensemble des MP à l'exception des coproduits de céréales pour lesquels la valeur prédite est très inférieure à la valeur dosée (figure 4). Il faut donc exclure de l'équation 13 cette catégorie de MP.

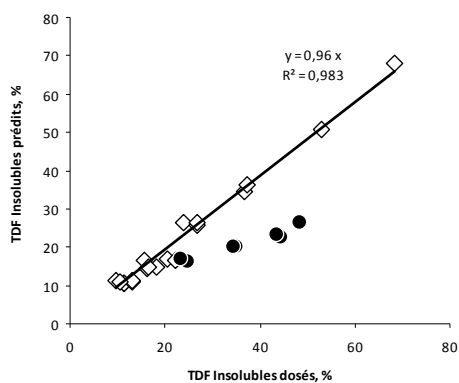


Figure 4 - Relation entre les teneurs en TDF insolubles dosés selon la méthode de Prosky et les teneurs en TDF insolubles prédites par l'équation 13 pour les MP (\diamond). Les coproduits de céréales (\circ) ne sont pas pris en compte dans la régression.

La prédiction des teneurs en TDF totaux et insolubles des céréales a été validée (équations 4, 5, 14 et 15).

Cependant, il faut remarquer que la pente est de 0,75. Par conséquent, les valeurs prédites sont sous-estimées et sont d'autant plus que les MP sont riches en fibres.

C'est le cas de l'orge par exemple. Ceci peut être expliqué par le fait que les équations ont été obtenues à partir de 20 échantillons de céréales dont la teneur moyenne en TDF total était de 14,6 % alors que nous ne disposons que de 2 échantillons ayant des teneurs supérieures à 20 %.

Tableau 3 - Valeurs des pentes et des coefficients de détermination (R^2) obtenues par régression linéaire entre les valeurs de TDF totaux et insolubles mesurées et celles prédites par les équations présentées dans les tableaux 1 et 2

N° équation	Pente	R^2	n
1	1,16	0,97	22
2	0,93	0,96	22
3	0,84	0,97	22
4	0,75	0,79	9
5	0,76	0,59	9
6	0,97	0,95	7
7	0,82	0,59	7
8	0,97	0,88	7
9	0,98	0,90	7
10	0,96 ^a	0,98	4
11	Non validée, n insuffisant		2
12	Non validée, n insuffisant		2
13	0,96 ^b coproduits exclus	0,98	19
14	0,73	0,87	9
15	0,75	0,85	9
16	1,03	0,91	7
17	0,83	0,92	7
18	Non validée, n insuffisant		2
19	0,78	0,97	5

^a régression linéaire dont a été exclu le tourteau palmiste

^b régression linéaire dont ont été exclus les coproduits de céréales

Les équations 6, 8 9 et 16 permettent une très bonne prédiction des teneurs en TDF totaux et insolubles des coproduits (pente proche de l'unité) alors que les équations 7 et 17 sous-estiment légèrement les teneurs (pente = 0,82 et 0,83, respectivement).

Ce constat est intéressant car les TDF des coproduits de céréales sont mal prédits par les équations générales prenant en compte l'ensemble des MP. Enfin, l'équation 10 permet une prédiction satisfaisante des tourteaux d'oléagineux, mais l'équation 19 ne permet pas celle de la fraction insoluble de ces MP.

2.3. Equations de prédiction de la teneur en TDF solubles

Les teneurs en TDF solubles ont été calculées par différence entre les teneurs en TDF totaux et insolubles selon les méthodes de Prosky (1988 et 1992).

Cependant, l'analyse par régression multiple n'a pas permis de mettre en évidence de relation entre la teneur en TDF solubles calculée et les critères chimiques des MP. A titre indicatif, le coefficient de corrélation (R^2) était seulement de 0,026 lorsque le critère retenu était le résidu fibre (RF; figure 5). Le fait que la teneur en TDF solubles des MP sélectionnées soit de manière générale faible explique vraisemblablement ce résultat.

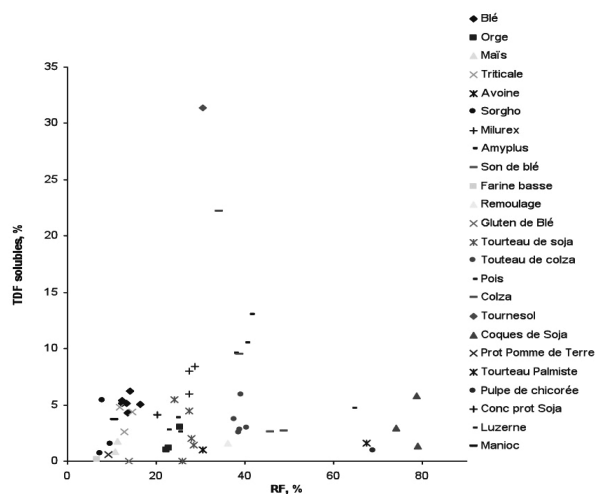


Figure 5 - Relation entre les teneurs en résidus fibreux (RF (%) = 100 – (MM (%) + MAT (%) + MG (%) + amidon (%) + sucres (%)) et les TDF solubles des MP de l'étude

CONCLUSION

Notre étude a montré que les teneurs en TDF totaux et insolubles peuvent être prédites à partir de la composition chimique pour la plupart des MP utilisées en alimentation porcine.

Les meilleurs prédicteurs sont le résidu fibre calculé par différence à partir des autres constituants de la MP, ainsi que la teneur en CB et les résidus van Soest (NDF ou ADF). Par contre, les teneurs en TDF solubles ne peuvent pas être prédites par les critères de composition chimique utilisés dans cette étude.

Pour certaines MP, comme les coproduits de céréales, les prédictions des teneurs en TDF totaux et insolubles sont meilleures lorsqu'on applique une équation de prédiction spécifique à cette catégorie de MP.

Certaines prédictions, comme celles des protéagineux, reste à valider.

La prédiction de certaines MP est encore impossible. C'est le cas des drèches de blé, par exemple.

Un travail sur les méthodes de dosage de ces nouvelles MP aux caractéristiques particulières est à envisager.

REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient vivement les partenaires ayant contribué à la réalisation de cette étude, CCPA, Cooperl

Arc'Atlantique, INZO°, PRO-VILYS et SANDERS, ainsi que Marie Clarisse Techer pour sa participation lors de son stage de Master 1 réalisé à l'IFIP et à l'UMR SENAH.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- AFNOR, 1985. Aliments des animaux, méthodes d'analyses françaises et communautaires, recueil de normes françaises, 2^{ème} édition, 131-134.
- Association of Official Analytical Chemists, 1990. Official Methods of Analysis, 15th ed. Washington DC: AOAC 777.
- Bach Knudsen K.E., Johansen H.N., Glitso V., 1997. Methods for analysis of dietary fibre-advantages and limitations. *Animal Feed Sciences and Technology*, 6, 185-206.
- Bach Knudsen K.E., 2001. The nutritional significance of "Dietary fibre" analysis. *Animal Feed Science and Technology*, 90, 3-20.
- Dumas (Méthode de): AOAC 7 024 Dosage de l'azote, méthode par combustion (Dumas), AFNOR V18-120, 1997. Validation de méthode rapide d'analyse suivant la norme NF V03- 100, méthode utilisée comme référence: méthode Kjeldahl NF V18-100.
- Carré B., Brillouet J.M., Beaufils E., Bernard C.R., Botorel G., Dauvillier P., Maupetit P., Metra P., Vigneron J., Nouat E., 1989. Determination of water-insoluble cell walls in feeds: interlaboratory study. *Journal Association of Official Analytical Chemists*, 72, 463-467.
- Cozannet P., Primot Y., Gady C., Métayer J.-P., Callu P., Lessire M., Le Tutour L., Geraert P.-A., Skiba F., Noblet J., 2009. Valeur nutritionnelle des drêches de blé européennes chez le porc en croissance. *Journées de la Recherche Porcine*, 41, 117-130.
- Gidenne T., 1996. Conséquences digestives de l'ingestion de fibres et d'amidon chez le lapin en croissance: vers une meilleure définition des besoins meilleure définition des besoins. *INRA Productions Animales*, 9, 243-253.
- INRA, AFZ, 2004. Tables de composition et de valeur nutritive des matières premières destinées aux animaux d'élevage Porcs, volailles, bovins, ovins, caprins, lapins, chevaux, poissons - Sauvart D., Perez J.-M., Tran G. coord., 2e édition revue et corrigée, ISBN 2-7380-1158-6 2004, 304 p.
- Lallès J.P., Konstantinov S., Rothkötter H.J., 2004. Bases physiologiques, microbiologiques et immunitaires des troubles digestifs du sevrage chez le porcelet : données récentes dans le contexte de la suppression des antibiotiques additifs alimentaires. *Journées de la Recherche Porcine*, 36, 13-150.
- Le Gall M., Montagne L., Meunier-Salaün M.C., Noblet J., 2009. Utilisation des fibres dans les aliments pour porc : conséquences sur la nutrition, la santé et le comportement. *INRA Productions Animales*, 22, 17-24.
- Prosky L., Asp N.-G., Schweitzer T.F., DeVries J.W., Furda I., 1988. Determination of total dietary fiber in foods and food products: Interlaboratory study. *Journal of the Association of Official Analytical Chemists*, 71:1017-1023.
- Prosky L., Asp N.-G., Schweitzer T.F., DeVries J.W., Furda I., 1992. Determination of insoluble and soluble and total dietary fiber in foods and food products: Interlaboratory study. *Journal of the Association of Official Analytical Chemists International*, 75, 360-367.
- SAS, 1990. SAS/STAT, User's guide (release 6.07), SAS Inst. Inc., Carry, NC, USA.
- Thivend P., Mercier C., Guilbot A., 1965. Dosage de l'amidon dans les milieux complexes. *Annales de Biologie Animale Biochimie Biophysique*, 5, 513-526.
- Van Soest P.J., Wine R.H., 1967. Use detergents in the analysis of fibrous feeds. IV. Determination of plant cell-wall constituents. *Journal of the Association of Official Analytical Chemists* 50, 50-55.

