

LES ENZYMES NSP : UN PROGRES DANS L'ALIMENTATION DES VOLAILLES !

Geraert Pierre-André, Uzu Gérard et Julia Thierry

Rhône-Poulenc Animal Nutrition, 42 Avenue Aristide Briand BP100, 92164 Antony Cedex, France

Résumé

Ces dernières années ont vu se développer l'utilisation du blé et de l'orge en remplacement du maïs en raison d'un prix attractif. Mais ceci s'est accompagné au début d'une détérioration des performances et de la qualité des litières. Depuis 1990, de nombreux travaux ont amélioré notre connaissance des propriétés anti-nutritionnelles des polysaccharides non amylacés hydrosolubles (NSP : non starch polysaccharides). Pour remédier aux effets néfastes des NSP, l'utilisation d'enzymes (xylanase et β -glucanase) en alimentation avicole s'est rapidement développée. Mais l'addition d'enzymes NSP aux aliments soulève de nombreuses interrogations. Faut-il tenir compte de la qualité de la matière première (blé, orge) pour décider d'une supplémentation enzymatique et comment évaluer cette qualité ? Comment fonctionnent les enzymes, quelles sont les améliorations attendues, et enfin comment en tenir compte en formulation ? Cette présentation se propose de passer en revue les effets des enzymes NSP, leurs mécanismes d'action, les contraintes qu'elles posent de part leur nature protéique et d'éclairer leur utilisation pour améliorer la rentabilité des productions avicoles.

Abstract

NSP-enzymes : an advance in poultry nutrition !

In the recent years, due to an attractive price, wheat and barley have been largely used to replace corn in poultry diets. However, reduction in bird performance and poor litter quality have often been reported. Since 1990, numerous studies have improved our understanding of anti-nutritional properties of soluble non starch polysaccharides (NSP). To alleviate adverse effects of NSP, in-feed enzymes (xylanase et β -glucanase) rapidly grew in poultry feeding but many questions remain unsolved. Is there a need to take into account raw material quality to decide about an enzyme supplementation and how to evaluate this quality ? How do enzymes work, what are the expected improvements, and how to take into account the improvement in formulation ? This paper will try to review the effects of NSP enzyme, their mechanisms of action, and constraints imposed by their proteic structure and the feed technology in order to improve profitability in poultry production.

Introduction

La première source d'énergie en alimentation volailles provient des céréales dont la plus importante au niveau mondiale est le maïs. Toutefois, dans de nombreux pays (Australie, Canada, France, Grande-Bretagne, Espagne) le maïs est souvent remplacé par le blé ou l'orge en raison d'un prix plus attractif. Mais cette substitution s'accompagne fréquemment d'une baisse de performances : réduction de l'efficacité alimentaire et d'une dégradation de la litière (fientes collantes) qui impose une limite dans les taux d'incorporation de ces céréales.

L'introduction récente d'enzymes en particulier les *endo*-hydrolases appelées encore enzymes NSP, ont considérablement réduit ce problème.

L'objectif de cette revue est de faire le point sur les mécanismes d'action des enzymes NSP puis d'envisager les contraintes associées à l'utilisation des enzymes notamment au regard de leur sensibilité aux conditions physicochimiques et aux traitements technologiques de l'aliment. Enfin,

nous passerons en revue les effets bénéfiques des enzymes : directs ou indirects sur la rentabilité des productions avicoles.

1. Les enzymes NSP permettent de lever des contraintes nutritionnelles

Les poulets, par leur temps de transit digestif très court et leur vitesse de croissance élevée, sont très sensibles à la composition et aux caractéristiques nutritionnelles de leur aliment. Mahagna et al. (1995) ont récemment montré l'importance du développement du tractus gastro-intestinal au début de la croissance et ses conséquences sur la digestibilité de l'aliment. Ainsi, chez le poulet, à l'âge d'une semaine, l'EMAN du tourteau de soja ne dépasserait pas 50 % de la valeur mesurée à l'âge de 3 semaines. Pour le blé, la diminution serait de l'ordre de 20 %. Les jeunes poussins ont aussi une digestibilité des lipides plus faible que les adultes en relation avec la faible sécrétion de sels biliaires.

Les constituants principaux des grains sont les polysaccharides : polymères de mono-saccharides

liés par des liaisons glycosidiques. Le plus important est l'amidon dont les unités de glucose sont liées en α -(1-4) avec quelques α -(1-6). Cet amidon est très facilement digéré par les oiseaux. Les polysaccharides non-amylacés ou NSP (pour Non Starch Polysaccharides) sont des polymères dont les monomères sont liés par des liaisons α et β . Ces NSP sont localisés principalement au niveau de l'endosperme et du son (Tableau 1).

TABLEAU 1 : Localisation des NSP dans le grain de blé (Chesson et Austin, 1996)

NSP	Arabinoxylyanes		β -glucanes	
	Totaux	Solubles	Totaux	Solubles
g/kg	66.3	11.8	6.5	5.2
	en %			
Endosperme	13.4	64.2	39.6	53.9
Aleurone	1.1	2.5	1.7	2.4
Son	85.5	33.3	58.7	43.7

Ils incluent cellulose, hémicellulose, pectines et oligo-saccharides (α -galactosides...). Les oiseaux ne possèdent pas d'enzymes capables d'hydrolyser les liaisons β . Les NSP peuvent encore être séparés en fractions solubles et insolubles dans l'eau. La fraction insoluble qui correspond principalement à la cellulose n'a qu'un rôle de diluant énergétique chez le poulet alors que les NSP solubles par leurs capacités de géification ont au contraire des propriétés antinutritionnelles.

1.1 Propriétés antinutritionnelles des NSP

Choct & Annison (1990) ont classé la digestibilité énergétique de différentes céréales selon leur teneur en NSP, de la plus faible à la plus élevée : riz, sorgho, maïs, blé, triticales, seigle et orge. Mais pour une céréale donnée, la valeur énergétique est corrélée aux taux de NSP solubles.

1.1.1 Qualité des céréales et NSP

Une importante question pour tous les fabricants d'aliment concerne l'estimation de la qualité des matières premières et l'intérêt d'utiliser des enzymes. On a d'abord pensé que le degré de ramification d'un arabinoxylyane exprimé par le rapport xylose : arabinose pouvait rendre compte des effets de viscosité. Cependant le son de riz qui contient beaucoup plus de résidus arabinose que le blé donne une viscosité intestinale bien plus faible

que ce dernier (Annison, 1995). En utilisant des techniques sophistiquées (couplage proton RMN), Chesson & Austin (1996) ont montré que le degré de substitution de la chaîne xylose avait un effet marqué sur l'EM : plus grandes sont les portions de chaîne sans ramification, plus il y a d'effet antinutritionnel. La mesure de la viscosité des extraits aqueux a souvent été préconisée pour apprécier la qualité des céréales, mais il n'existe pas jusqu'à maintenant de méthode de référence.

Les activités enzymatiques NSP endogènes des grains affectent également les mesures de viscosité. Carré et al. (1994) ont montré la différence entre viscosité réelle et potentielle obtenue après dénaturation à l'éthanol à chaud. Seules les viscosités potentielles sont additives. Pour l'orge, les viscosités mesurées avant et après dénaturation sont respectivement de 3-5 à 16-20 mPa.s suggérant des activités enzymatiques endogènes élevées. Au contraire, pour le blé, les différences sont faibles soulignant des activités endogènes mineures.

Des recherches sont encore nécessaires pour mettre au point des méthodes de référence rapides et efficaces pour évaluer la qualité des matières premières au regard des NSP.

1.1.2. Les NSP diminuent la digestibilité de l'aliment

La réduction de croissance observée avec l'utilisation de blé, de seigle ou d'orge dans l'alimentation des broilers a souvent été reliée à l'augmentation de la viscosité du contenu intestinal. L'addition de 10 g/kg de β -glucanase d'orge à des régimes poulets multiplie ainsi la viscosité par 3. Au contraire, la dépolymérisation des polysaccharides réduit fortement la viscosité. Choct et Annison (1992) ont ainsi montré qu'à l'inverse des arabinoxylyanes intacts, les arabinoxylyanes dépolymérisés n'augmentaient pas autant la viscosité jéjunale, et ne diminuaient pas significativement l'EM des régimes (Tableau 2).

Des données récentes montrent également que l'accroissement des NSP dans les digesta, outre l'augmentation de viscosité, favorisent le développement d'une microflore active dans l'iléon estimée par la production d'acides gras volatiles (Annison, 1995) défavorables au poulet.

TABEAU 2 : Effet d'une addition d'arabinoxylanes intacts, partiellement dépolymérisés ou sous forme des monomères (arabinose et xylose), sur l'EM, la digestibilité de l'amidon, la viscosité iléale et le gain de poids de poulets de chair (Choct et Annison, 1992)

Régime	EM (MJ/kg MS)	Digestibilité de l'amidon	Viscosité Iléale	Gain de Poids (g/semaine)
Témoin	16.13 ^a	0.98 ^a	1.2 ^a	430 ^a
Arabinoxylanes intacts (30 g/kg)	14.53 TM	0.92 ^b	3.0 ^c	325 ^b
Arabinoxylanes dépolymérisés(30 g/kg)	15.74 ^a	0.94 ^{ab}	2.2 ^b	404 ^a
Arabinose + xylose (chacun 15 g/kg)	16.23 ^a	0.98 ^a	1.2 ^a	394 ^a

1.2. Mécanismes d'action des enzymes NSP

La valeur alimentaire des céréales contenant des niveaux élevés de NSP est améliorée par l'utilisation d'*endo*-hydrolases.

1.2.1 La réduction de la viscosité intestinale et du transit digestif améliore la digestion

La vitesse de digestion d'un aliment dépend de la formation d'un complexe entre les enzymes digestives et leur substrat. Les produits libérés sont alors absorbés par les entérocytes principalement par diffusion. Toute augmentation de la viscosité peut alors réduire la vitesse de diffusion des molécules dans la lumière intestinale, réduisant

soit le taux de liaison avec les enzymes soit la diffusion des produits de dégradation au travers de la surface des entérocytes réduisant ainsi la digestibilité. Les enzymes ont besoin de couper seulement quelques liaisons (1 pour 1000) pour considérablement réduire la viscosité des NSP (Mc Cleary, 1996).

La diminution de viscosité intestinale dépend de la viscosité intrinsèque des céréales. En utilisant une gamme de blés ayant des viscosités allant de 1.5 à 3 cP, Barrier-Guillot et al. (1995) ont montré une plus forte diminution de la viscosité jéjunale après addition de xylanase avec le blé le plus visqueux comparé au blé le moins visqueux (Tableau 3). Mais l'amélioration d'EM apparaît indépendante de la viscosité intrinsèque du blé.

TABEAU 3 : Effet de la supplémentation de xylanase sur la valeur nutritionnelle de différentes variétés de blé (Barrier-Guillot et al., 1995).

Viscosité des Céréales	Maïs	Blés							
		Soissons		Mixte		Thesee		Futur	
cP		1.52		1.71		1.90		2.99	
Xylanase	-	-	+	-	+	-	+	-	+
Indice (g/g) (15-28 j)	1.56	1.59	1.55	1.63	1.55	1.64	1.56	1.62	1.56
Viscosité jéjunale	2.7c	3.2c	3.1c	4.1b	3.2c	4.5b	3.2c	6.6a	3.1c
EMAn (kcal/kg)	3390a	3130c	3280b	3130c	3290b	3120c	3240b	3140c	3250b

a,b,c,d. : les valeurs avec des lettres en indice différent de manière significative de $P < 0.05$

La réduction de la viscosité ne peut expliquer complètement l'amélioration obtenue par l'addition d'enzymes NSP. D'autres phénomènes sont donc impliqués comme la réduction de l'excrétion d'eau associée à la diminution de la consommation d'eau. Cette dernière, bien que très variable, apparaît un indicateur intéressant de la qualité nutritionnelle d'une céréale ou d'un régime. Annison (1995) a également montré que la réduction de la viscosité n'est pas obligatoirement associée à une diminution du taux de NSP. Une augmentation de ce taux est en effet souvent observé en relation avec l'hydrolyse des polysaccharides solubles attachés aux composants insolubles des parois cellulaires. L'augmentation du taux de NSP associé à la plus faible viscosité traduit en fait la diminution des poids moléculaires des polymères.

La réduction de la viscosité est aussi associée à une accélération du transit digestif. Almirall & Esteve-

Garcia (1994) rapportent une réduction du temps de rétention des digestas de 14 à 11.5 heures chez des poulets recevant des régimes à 60 % d'orge et supplémentés en enzymes. Chez l'adulte, les différences de temps de transit ne sont pas significatives.

1.2.2. Enzymes exogènes et sécrétions endogènes

Le suc pancréatique est le principal pourvoyeur d'activité enzymatique (protéolytique, amylolytique et lipolytique) dans l'intestin grêle. Une alimentation riche en orge augmente le poids relatif du pancréas comparée à un aliment à base de maïs. Mais les activités amylase et lipase intestinales sont au contraire diminuées. La supplémentation en β -glucanase réduit considérablement l'augmentation de la proportion de pancréas et augmente les activités amylase,

lipase et également trypsine (Tableau 4, Almirall et al., 1995).

TABLEAU 4 : Effet d'une supplémentation en β -glucanase sur le poids du pancréas, la viscosité de

REGIME	Pancréas (g/100 PV)	Viscosité mPA.s	Amylase 10 ⁻⁴ U/g	Trypsin 10 ⁻² U/g	Lipase 10 ⁻³ U/g
Poulets 21 j					
Maïs	0.411 a	1a	22.7a	8.5b	39.5a
Orge	0.515b	29b	15.7b	9.8ab	24.9c
Orge+Enz.	0.453ab	3c	24.4a	12.5a	31.6b
Coqs					
Maïs	0.131	1a	24.6	11.5	14.0a
Orge	0.151	19b	27.9	15.1	7.8b
Orge+Enz.	0.150	4c	27.8	12.7	10.9ab

1.2.3. Les enzymes NSP réduisent les fermentations microbiennes

Des travaux récents portant sur la production d'acides gras volatils, montrent que les NSP et les enzymes NSP modifient la microflore intestinale (Tableau 5). La prolifération microbienne au niveau iléal crée une compétition par rapport à l'organisme hôte vis-à-vis des nutriments disponibles. La supplémentation enzymatique réduit la production d'acides gras volatils et l'activité microbienne iléales mais augmente les fermentations caecales. Ces fermentations caecales sont caractérisées par des teneurs plus élevées en acide propionique et au contraire réduites en acide butyrique, pouvant réduire le pH des digestas et limiter les invasions de pathogènes comme les coccidies (Graham, 1996).

TABLEAU 5 : Effets des NSP et des enzymes sur l'EM et les taux d'acides gras volatils dans l'iléon et le caecum des poulets (Annison, 1995)

Régime	EM (MJ/kg MS)	AGV Iléaux (μ mol)	AGV Caecaux (mmol)
Témoin	13.78 ^a	8.3 ^a	312.3 ^a
Témoin + NSP	10.86 ^b	118.2 ^b	329.0 ^a
Témoin + NSP + Enzyme	14.13 ^a	5.4 ^a	930.0 ^b

a.b.c. différence ($P < 0.05$)

1.2.4. Les enzymes améliorent la digestibilité de l'aliment

Les digestibilités iléales et fécales sont améliorées par l'addition de β -glucanase (Almirall et al., 1995). A partir d'un régime contenant 41 % de blé. Hew et al. (1996) observent une amélioration de 2.8 % de l'EM et de 1 à 2 % de la digestibilité des acides aminés, notamment Asp, Ser, Glu, Met, Ile,

His and Arg avec l'addition de xylanase. Bedford (1995) et Almirall et al. (1995) rapportent aussi

l'intestin grêle et les activités enzymatiques intestinales de poulets de 21 j et de coqs adultes (Almirall et al, 1995).

une amélioration de la digestibilité des acides aminés.

Les propriétés de gélification des NSP sont connues depuis longtemps pour réduire la digestibilité des graisses (Danicke et al., 1995) par interférence avec leur émulsification avec les sels biliaires. En utilisant des régimes à base de blé. Schutte et al (1995) ont étudié l'effet d'une xylanase en fonction de la nature des graisses (animale ou végétale) ajoutées au régime. Ils ont montré que l'amélioration de la digestibilité des graisses par l'addition de xylanase était plus importante avec les régimes contenant un mélange de graisses animales par rapport à un régime contenant de l'huile de soja. L'importance de l'effet de l'enzyme dépend donc de la nature des graisses du régime.

Enfin, l'amélioration de la digestibilité de la matière organique pourrait aussi s'expliquer par un renouvellement cellulaire de la muqueuse intestinale plus faible qui pourrait contribuer à une épargne énergétique et protéique (Silva et Smithard, 1996).

Il est important de remarquer que l'amélioration de l'EM des céréales par l'addition d'enzymes est due à l'augmentation de la digestibilité des nutriments et non à une disponibilité des NSP ou de leurs monomères eux-mêmes. Pour le blé, où les NSP solubles représentent moins de 20 g/kg, l'utilisation complète des NSP n'apporterait qu'environ 17 kJ/g soit une augmentation de la valeur énergétique plus faible que l'amélioration d'EM observée. Même si la dépolymérisation était complète, les monomères (arabinose, xylose) libérés passent au travers de l'intestin et sont largement métabolisés dans les caecaux par la microflore, réduisant fortement leur valeur énergétique par rapport aux hexoses (Schutte, 1991).

2. Les enzymes NSP : des potentialités sensibles à l'environnement physicochimique

Les microorganismes synthétisent un ensemble d'enzymes. Pendant le processus de fermentation, la production d'enzymes désirées est augmentée par l'ajustement des conditions de fermentation (environnement physicochimique, substrat). Les *endo*-hydrolases (xylanase et β -glucanase) sont issues en majorité de fermentations fongiques à partir de *Trichoderma longibrachiatum* (*ex-reesei*), *Penicillium funiculosum*, ou *Aspergillus niger* selon les fabricants.

2.1. Les enzymes sont avant tout des protéines

Les enzymes NSP ou *endo*-hydrolases (xylanase et β -glucanase) sont des protéines de poids moléculaire élevé qui leur confère un diamètre de l'ordre de 2.5 à 5 nm. Pour atteindre leur objectif (les NSP) il faut déjà résoudre le problème de leur accessibilité. Leur grande taille augmente aussi leur sensibilité aux conditions physicochimiques environnantes. Comme toute enzyme, les enzymes NSP sont spécifiques d'un substrat : la même xylanase produite par le même micro-organisme n'aura pas la même activité sur différents arabinoxylanes (Tableau 6). L'action catalytique dépend aussi des conditions d'environnement comme la température, le pH ou le tampon. Les conditions nécessaires pour la mesure des activités enzymatiques diffèrent donc selon les producteurs (Sabatier et Fish, 1996).

TABLEAU 6 : Effet de la nature des substrats sur les activités *endo*-1.4 β -xylanase * (Sabatier et Fish, 1996)

Source de Xylanase	activité enzymatique (U/ml)	
	blé	bouleau
<i>Aspergillus niger</i>	490	230
<i>Penicillium funiculosum</i>	5,840	2,960
<i>Trichoderma longibrachiatum</i>	88,420	9,820
<i>Trichoderma viride</i>	149,000	86,250

* mesurés en utilisant méthode DNS, même pH température et même concentration de substrat;

Les différentes méthodes analytiques utilisées actuellement sont basées sur :

- la mesure des sucres réducteurs relargués à partir de substrats (β -glucanes d'orge, carboxyméthyl-cellulose). Mais cette méthode n'est pas suffisamment spécifique : les résultats peuvent être affectés par la présence d'agents réducteurs présents dans l'aliment ou par l'existence d'autres activités enzymatiques (*exo*-hydrolases) qui peuvent aussi relarguer des sucres réducteurs.
- la mesure de la libération de chromophore à partir d'un substrat spécifique (sur lequel les molécules de chromophore sont fixées). L'analyse consiste en la mesure de la libération de chromophore, une mesure des activités *endo*-, sur

une durée donnée et dans des conditions spécifiques. Cette méthode n'est pas affectée par les conditions d'environnement ou les activités enzymatiques parasites.

- la mesure de la baisse de viscosité d'une solution de substrat à un pH et une température définis. C'est une mesure relative qui dépend de la viscosité initiale du substrat et de la pureté de ce substrat.

Une autre méthode développée récemment est la diffusion radiale, basée sur la diffusion de l'enzyme extraite de l'aliment au travers d'un gel contenant un substrat adéquat. Une relation existe entre le diamètre de la zone où le substrat est hydrolysé et le logarithme de l'activité enzymatique.

Le principal problème de la mesure des activités *endo*- est lié à l'extraction de l'enzyme de l'aliment. Pour déterminer correctement l'activité enzymatique contenue dans l'aliment, les interférences doivent être prises en compte. Enfin, il apparaît impossible de comparer les activités de différents produits enzymatiques à partir d'une unité d'activité, seul un essai *in vivo* (détermination de l'EM) permet la comparaison. Une autre question concerne l'efficacité d'une enzyme en relation avec sa capacité à résister à une attaque protéolytique dans le tube digestif et à son pH optimum. Les enzymes ayant une faible stabilité protéolytique peuvent être considérablement inactivées après passage dans le proventricule et le gésier et leur confèrera une période d'activité pour agir sur l'aliment très courte. Un certain degré de résistance protéolytique permettra à l'enzyme de passer au travers de l'estomac et d'agir dans l'intestin. Les enzymes devront avoir une stabilité à des pH élevés, une capacité à être activées par un changement de pH et un pH optimal proche de la neutralité (Simon, 1996).

2.2 Enzymes et procédés technologiques

Les méthodes de préparation de l'aliment (granulation, expansion, pasteurisation anaérobie et extrusion) combinent en général, chaleur, pression et vapeur d'eau. De nombreux avantages soutiennent ces procédés technologiques comme l'amélioration de la disponibilité des protéines et de l'énergie, la destruction des facteurs anti-nutritionnels, la possibilité d'utiliser des matières premières délicates et enfin de stériliser les aliments pour éviter les salmonelles. Beaucoup d'études ont considéré la stabilité des enzymes NSP mais les procédés technologiques peuvent également modifier les caractéristiques des matières premières et accroître le besoin d'enzymes.

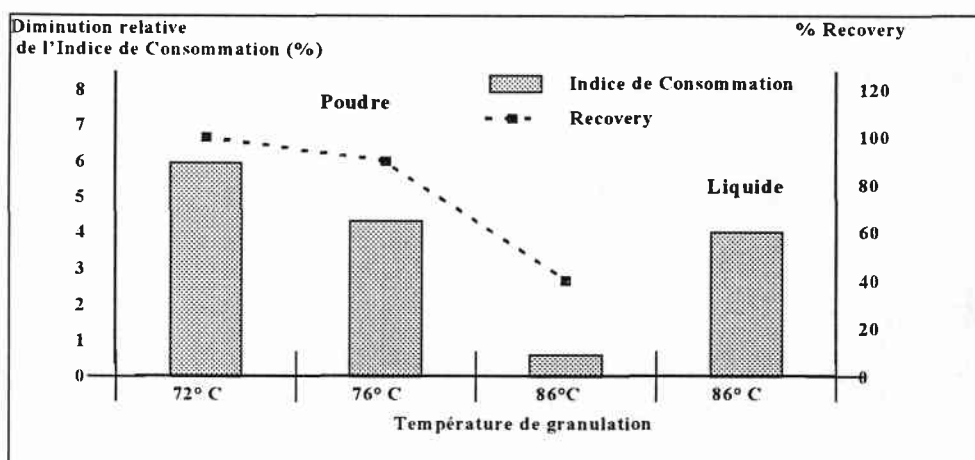
2.2.1. Température et pression peuvent détruire les activités enzymatiques

Quel que soit le produit utilisé, de nombreuses études ont montré que 60 à 80 % des enzymes ajoutées sont détruites par une granulation au-dessus de 80°C (Gadient, 1996 ; Figure 1). Un pré-conditionnement à 75°C respectivement pendant 30 sec ou 15 min comparé à une présentation farine réduirait l'activité β -glucanase de 33 à 50 % (Inborr et Bedford, 1994). Même dans le cas de températures de granulation basses (65-75°C), les irrégularités de débit entraînent souvent des augmentations brutales de température favorisant

une dénaturation des enzymes. L'addition de vapeur réduit encore l'activité enzymatique même pour des températures inférieures à 73°C (Piironen, 1996). Une amélioration de la stabilité des enzymes peut être obtenue par granulation, enrobage ou encore par la manipulation génétique de la composition en acides aminés, ou l'introduction de ponts disulfures ou de liaisons hydrogènes.

La solution à ces problèmes de stabilité est l'utilisation d'enzymes liquides qui sont brumisées sur les granulés d'aliment.

FIGURE 1 : Effet de la température de granulation sur la stabilité de l'enzyme et l'amélioration de l'indice de consommation chez le poulet (Gadient, 1996)



2.2.2. Les bénéfices liés aux procédés technologiques peuvent dépendre de l'addition d'enzymes

Les traitements technologiques peuvent également augmenter le taux de NSP : augmentation de la rupture des parois végétales (traitements mécaniques), solubilisation des NSP (températures élevées) et dégradation des enzymes endogènes. A partir d'un aliment complet dindon, Carré et al. (1994) ont montré que pour une température de granulation inférieure à 91°C, les viscosités réelle et potentielle sont respectivement d' 1.8 et 3.8 mPa.s, alors qu'elles sont similaires au-dessus de 91°C, suggérant une importante dénaturation des activités enzymatiques endogènes.

La viscosité d'un aliment contenant 48 % d'orge et 36 % de blé double entre un conditionnement à 60 ou 100°C, passant de 1.3 à 2.6 cP (Spring et al., 1996). Bedford et al. (1991) ont rapporté une augmentation de la teneur en polysaccharides de poids moléculaire élevé de 4.46 à 5.11 g/l après granulation d'un régime à base de seigle. La viscosité iléale est également augmentée chez les poulets recevant les régimes granulés par rapport à celle mesurée chez les poulets recevant le même

aliment sous forme farine. Mais l'addition d'enzyme supprime presque complètement cet effet.

A partir d'un régime granulé contenant 20 % de blé ou d'orge, l'extrusion augmente le ratio NSP soluble : insoluble entraînant une viscosité plus élevée avec l'aliment extrudé et granulé que seulement granulé (Vukic Vranjes et al., 1994). Dans un autre essai, Vukic Vranjes et Wenk (1995) rapportent un taux de fibres solubles plus élevé (36 vs 28 g/kg) et une teneur en parois insolubles plus faible (163 vs 190 g/kg) avec un aliment à base d'orge extrudé par rapport au témoin non extrudé. L'extrusion semble donc augmenter la teneur en fibres en les rendant également plus solubles, augmentant la viscosité des régimes et réduisant la digestibilité de l'aliment. L'addition de β -glucanase améliore plus la digestibilité de l'aliment et les performances des poulets recevant l'orge extrudé que ceux recevant l'orge témoin. Les traitements technologiques renforcent donc le besoin d'enzymes NSP pour profiter au maximum des potentialités de ce type d'aliment ou de matière première.

3. Des bénéfices multiples et significatifs

3.1 Les améliorations directes

Les enzymes NSP améliorent gain de poids et indice de consommation au travers d'une augmentation de la digestibilité de l'aliment (Tableau 7). L'addition d'enzymes est souvent rapportée pour réduire aussi l'hétérogénéité des troupeaux et donner une plus grande homogénéité des régimes formulés avec différents cultivars de blé par exemple (Barrier-Guillot et al., 1995).

TABLEAU 7 : Améliorations du gain de poids, de l'indice de consommation et de l'EM obtenues par la supplémentation avec une xylanase (blé) ou une β -glucanase (orge) chez le poulet (Rovabio™) par rapport au régime témoin non supplémenté.

Essai	Céréale	Taux (%)	Age (j)	Gain de Pds	I.C.	AME
1	Blé	43	21			+2.8
2		46-48	0-37		-3.9	
3		50	0-42	+1.3	-1.6	+3.8
4		60	7-28	+3.5	-4.7	
5		60	8-21	+3.3	-1.4	
6		65	0-28	+1.8	-1.8	+3.2
7		80	24-31		-6	
8		100	21			+4.4*
9	Orge	50	8-21	+4.9	-3.5	
10		50	21			+3.4
11		80	24-31	+30	-15.5	
12	Blé/orge	40/40	24-31	+23	-13.4	
13		50/30	22-29			+25

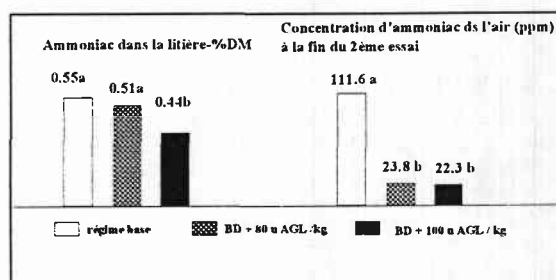
*TMEn

Cet effet n'est pas limité aux poulets en croissance. Les pondeuses recevant un régime à base de blé ont un indice plus faible si le régime est additionné de xylanase (Geraert et al., 1997b). Des améliorations significatives de performance ont également été rapportées chez des pondeuses recevant des régimes à base d'orge et supplémentés en β -glucanase (Dingle et Kumar, 1996 ; Francesch et Perez-Vendrell, 1996). Ces dernières ont même montré une proportion de gros oeufs (plus de 60 g) supérieure chez les poules entre 26 et 41 semaines recevant un régime enzymé contenant 60 % d'orge et 20 % de tournesol. Bien que l'effet bénéfique des enzymes soit indépendant de l'âge des oiseaux, l'importance de l'amélioration de l'EMAn du régime ou des performances en fonction de l'âge des poulets est controversée. Certains auteurs ont en effet observé une amélioration plus importante chez les poulets de 3-4 semaines que chez les coqs adultes, les pondeuses (Huyghebaert et de Groote, 1995) ou les très jeunes poussins (Geraert et al., 1997a). Bedford et Morgan (1996) en compilant 14 essais zootechniques réalisés sur poulets ont observé que pour 10 de ces 14 essais l'amélioration d'indice est plus élevée entre 22 et 42 jours qu'entre 1 et 21 jours.

3.2. Les effets secondaires

Les enzymes peuvent avoir d'autres effets que l'amélioration directe des performances. Les principaux facteurs affectant la production d'ammoniac par les litières sont le pH, l'humidité et la température. La supplémentation en xylanase (Geraert et al., 1997) ou β -glucanase de régimes à base respectivement de blé ou d'orge réduit l'humidité des litières ainsi que leur teneur en ammoniac (- 80 %, Figure 2).

FIGURE 2 : Effet de la supplémentation de Rovabio™ β -glucanase sur les résidus d'ammoniac des litières des poulets de chair de 7-28 jours nourris avec des régimes à base d'orge



L'amélioration de la qualité des litières (moins de croûtage, moins d'ammoniac et litières plus sèches) peut aussi réduire la proportion d'ampoules de bréchet et améliorer la présentation des carcasses.

Chez les pondeuses, il est souvent rapporté une diminution significative de la proportion d'oeufs sales (Francesch et Perez-Vendrell, 1996). L'amélioration de la digestibilité des graisses s'accompagne également d'une meilleure absorption des pigments et d'une meilleure coloration du jaune d'oeuf : + 0.2 à + 1 pt sur l'échelle Roche, permettant une économie sur l'apport de pigments (Le Ny, 1996 ; Geraert et al., non publié).

Concernant les espèces autres que *Gallus*, Cowan et Hastrup (1995) rapportent une amélioration de la croissance des canards de 5.2 % jusqu'à 11 semaines et de 3 % jusqu'à 20 semaines chez la dinde. Le principal problème de la production de dindes réside dans la température de granulation très souvent bien supérieure à 90°C renforçant le besoin d'enzymes liquides pour conserver une activité enzymatique optimale.

Conclusion

Les effets antinutritionnels des NSP proviennent de leur poids moléculaire élevé et de leurs propriétés physicochimiques. Les xylanases et β -glucanases ajoutées à l'aliment augmentent la valeur nutritionnelle des céréales comme le blé, le seigle et l'orge en dépolymérisant les NSP solubles des

grains. Les enzymes peuvent ainsi être considérées comme l'un des plus progrès les plus importants dans l'alimentation des volailles de ces 10 dernières années. Elles améliorent la rentabilité économique des productions avicoles en augmentant l'efficacité alimentaire des volailles de chair comme des pondeuses, en permettant la valorisation de matières premières de moins bonne qualité, en diminuant la variabilité des céréales et en réduisant les pertes de nutriments dans les déjections. L'amélioration de la valeur énergétique (EM) des céréales permet également une reformulation de l'aliment.

Pour le fabricant d'aliment, les enzymes offrent un avantage économique en permettant de choisir des matières premières plus rentables, en autorisant plus de choix dans les sources d'énergie et en permettant d'utiliser des céréales nouvellement récoltées sans limites dans les taux d'incorporation. Pour le producteur de volailles, l'amélioration des performances (indice, gain de poids, homogénéité) est importante, l'amélioration des conditions d'ambiance (meilleure qualité de litière) permet également de réduire les rejets de carcasses par l'abattoir.

A plusieurs reprises, l'amélioration des performances n'est pas apparue corrélée à une baisse de la viscosité suggérant que l'analyse des problèmes associés aux matières premières cibles ne sont pas complètement élucidés. Le rôle des protéines qui entourent les grains d'amidon comme les gluténines renforcent la nécessité de développer de nouvelles enzymes comme les protéases. Les enzymes en alimentation animale devraient donc encore se développer...

Références

- Almirall, M., Esteve-Garcia, E. 1994. *Poult. Sci.* 73: 1433-1440.
- Almirall, M., Francesch, M., Perez-Vendrell, A.M., Brufau, J., Esteve-Garcia, E. 1995. *J. Nutr.* 125: 947-955.
- Annisson, G. 1995. *in Proc. 10th Eur. Symp. Poult. Nutr.*, 15-19th oct, Antalya, Turkey, 193-200.
- Barrier-Guillot, B., Bedford, M., Metayer, J.P., Gatel, F. 1995. *Sc. Techn. Avicol.* 13: 4-12.
- Bedford, M.R. 1995. *Anim. Feed Sci. Technol.* 53: 145-155.
- Bedford, M.R., Classen, H.L., Campbell, G.L. 1991. *Poult. Sci.* 70: 1571-77.
- Bedford, M.R., Morgan, A.J. 1996. *WPS J.* 52: 61-68.
- Carré, B., Gomez, J., Melcion, J.P., Giboulot, B. 1994. *INRA Prod. Anim.* 7: 369-379.
- Chesson, A. and Austin, S. 1996. *in CSAS, Lethbridge, Alberta, 7-11/07*, 7pp, Rode, L.M. Ed.
- Choct, M., Annison, G. 1990. *Br. P. Sci.* 30: 811-822.
- Choct, M., Annison, G. 1992. *Br. P. Sci.* 33: 821-834.
- Cowan, W.D. and Hastrup, T., 1995. p 320. *in: Proc. 10th Eur. Symp. Poult. Nutr.*, 15-19th oct, Antalya, Turkey.
- Dänicke, S., Simon, O., Jeroch, H., Bedford, M. 1995. *in: 2nd Symp. Feed Enz.*, 25-27th oct, NL, 102-106.
- Dingle, J.G., Kumar, A. 1996. *Proc. Austr. Poult. Sci. Symp.* 8: 202.
- Francesch, M. and Perez-Vendrell, A.M. 1996. *in: Proc. South Europ. Feed Manufacturers Conf.*, Reus, 09-11/05/96.
- Gadient, M. 1996. 7pp, Séminaire AFTAA March, 19th, Paris.
- Geraert, P.A., Frapin, D., Uzu, G. 1997a. 2èmes Journées de la Recherche Avicole, Tours, 8-10 avril.
- Geraert, P.A., Frapin, D., Uzu, G. 1997b. 2èmes Journées de la Recherche Avicole, Tours, 8-10 avril.
- Graham, H. 1996. *Zoot. Int.* Oct 88-92.
- Hew, L.I., Ravindran, V., Ravindran, G., Gill, R.J., Pittolo, P., Richards, G., Bryden, W.L. 1996. *in: Proc. Austr. Poult. Sci. Symp.* 8: 201.
- Huyghebaert, G. and De Groote, G. 1995. *in Proc. 10th Eur. Symp. Poult. Nutr.*, 15-19th oct, Antalya, Turkey, 176-192.
- Inborr, J., Bedford, M.R. 1994. *Anim. Feed Sci. Technol.* 46: 179-196.
- Le Ny, P. 1996. *Int. Hatch. Pract.* 10 (5): 17-19.
- Mahagna, M., Said, N., Nir, I., Nitsan, Z. 1995. *in Proc. 10th Eur. Symp. Poult. Nutr.*, 15-19th oct, Antalya, Turkey, 250-251.
- McCleary, B.V. 1996. *Proc. Austr. Poult. Sci. Symp.* 8: 138-145.
- Piironen, J.T. 1996. *Proc. Austr. Poult. Sci. Symp.* 8: 146-148.
- Sabatier, A., Fish, N. 1996. *J. Appl. Poult. Res.* 5 (in press).
- Schutte, J.B. 1991. 172pp PhD Thesis Univesiteit Wageningen.
- Schutte, J.B., Geerse, C., de Jong, J., Kies, A.K., Langhout, D.J. 1995. *in Proc. 10th Eur. Symp. Poult. Nutr.*, 15-19th oct, Antalya, Turkey, 305-306.
- Silva, S.S.P., Smithard, R.R. 1996. *Br. Poult. Sci.* 37, suppl S77.
- Simon, O. 1996. *Feed mix* 4(1): 20-23.
- Spring, P., Newman, K.E., Wenk, C., Messikommer, R., Vukic Vranjes, M. 1996. *Poult. Sci.* 75: 357-361.
- Vukic Vranjes, M., Pfirter, H.P., Wenk, C. 1994. *Anim. Feed Sci. Technol.* 46: 261-270.
- Vukic Vranjes, M., Wenk, C. 1995. *Anim. Feed Sci. Technol.* 54: 21-32.