



APPROCHE MULTIPLE
DES RELATIONS
NUTRITION - REJETS
CHEZ LA VOLAILLE

Chef de projet : Isabelle BOUVAREL

Travail cofinancé par l'OFIVAL et l'ADAR

Juin 2006

Ce travail a été réalisé par :

- Isabelle BOUVAREL et Angélique TRAVEL - ITAVI
- Philippe LESCOAT, Michel LESSIRE, et Pierre PERROT - INRA SRA
- Denis BASTIANELLI et Catherine HERVOUET - CIRAD EMVT laboratoire d'alimentation
- Vincent MARICHAL - Etudiant 5^{ème} année ISAB
- Dylan CHEVALIER - ITAVI / Chambre Régionale d'Agriculture des Pays de la Loire

Résumé

Dans les régions à forte densité d'élevage, les pressions environnementales et réglementaires incitent les éleveurs à pratiquer une meilleure gestion des fumiers et à diminuer les rejets. La quantité de rejets est liée particulièrement aux caractéristiques nutritionnelles des aliments, aux performances des animaux, qui sont notamment la combinaison de leur potentiel génétique et des conditions d'élevage.

L'un des facteurs limitant de ces études sur les rejets est la charge représentée par les nombreuses analyses chimiques (coût, délai de réponse) simultanément sur les aliments et les rejets. La technique de spectroscopie dans le proche infrarouge (SPIR), méthode rapide et peu onéreuse, a été développée initialement pour mesurer l'humidité dans des produits tels que le blé ou le maïs. Suite à l'évolution des équipements, cette technique est devenue un outil efficace pour prévoir des teneurs en protéine, en lipides ou encore en fibres. La mise au point d'une telle méthode pour le fumier et lisier permettrait l'obtention d'un plus grand nombre de données comparativement aux mesures chimiques et de mieux les valoriser ou les gérer.

D'autre part, le Comité d'Orientation pour des Pratiques agricoles respectueuses de l'Environnement (CORPEN), dont le rôle est de proposer des recommandations techniques aux professionnels, a besoin de disposer de références précises quant aux éléments rejetés, et notamment chez le dindonneau pour lequel les informations sont plus rares que chez le poulet de chair.

Ce travail a donc tout d'abord consisté à mettre au point une technique de dosage des composés azotés par spectroscopie dans le proche infrarouge. L'acidification de l'échantillon dès son prélèvement paraît important afin d'éviter la volatilisation de l'ammoniac au moment du séchage. Dans ces conditions, il s'avère que les différents composés azotés peuvent être prédits de façon fiable par la SPIR. Le temps de passage de l'ordre de quelques minutes, et l'absence de réactifs, rend l'analyse spectrométrique plus rapide et moins coûteuse que les analyses physico-chimiques classiques. Concernant l'échantillonnage du fumier en élevage, il est nécessaire de procéder à un prélèvement pour chacune des zones du bâtiment (dortoir, mangeoire, abreuvoir) et de les rassembler en un échantillon composite. Ainsi, il paraît possible d'avoir une idée correcte de la teneur en azote des litières de volailles.

Ce travail a permis également d'actualiser et de renforcer les références concernant la composition corporelle des volailles en protéines, phosphore et oligo-éléments et de mettre en évidence le manque d'information relative à certaines espèces. Il s'avère que les principales données recueillies concordent avec les références du CORPEN (1996 et 1997) concernant respectivement l'azote et le phosphore, exceptées pour la concentration corporelle en protéines des poulets standard et celle en phosphore des dindes et des canards standard. Ces différences entraînent ainsi une sous-estimation des rejets en azote ou en phosphore pour ces productions. Cependant, il paraît nécessaire de prendre en compte les données relatives aux techniques d'élevage (incorporation de phytases, réduction des teneurs en MAT des régimes...), à l'efficacité alimentaire et aux pertes azotées par volatilisation afin d'appréhender les rejets en aviculture.

Afin de compléter cette analyse bibliographique, une étude réalisée sur le dindonneau a permis de préciser les teneurs corporelles en protéines et en phosphore, qui sont plus basses que les valeurs retenues par le CORPEN (1996, 1997), notamment pour le phosphore.

Ce travail permet également de disposer pour le dindonneau, de valeurs d'utilisation digestive de l'azote, utilisables en formulation pour limiter les rejets. Par ailleurs, les valeurs de digestibilité des acides aminés utilisées en formulation (tables INRA 2002) sont surestimées en phase finale d'élevage, les dindonneaux âgés valorisant moins bien les aliments. Une approche plus juste de la digestibilité, associée à une meilleure connaissance des besoins alimentaires, permettrait de limiter les rejets dans l'environnement durant cette période la plus « excrétrice » des phases d'élevage.

Contexte

Dans les régions à forte densité d'élevage, les pressions environnementales et réglementaires incitent les éleveurs à pratiquer une meilleure gestion des fumiers et à diminuer les rejets. Les principaux éléments polluants mis en évidence sont l'azote et le phosphore. En effet, les apports chimique et organique de ces deux éléments sur les cultures peuvent conduire à une accumulation dans les sols et à leur dispersion dans l'environnement. Ces deux éléments finissent par se retrouver dans les eaux superficielles et/ou souterraines et entraînent la prolifération d'algues toxiques, aboutissant à la mort de la faune et de la flore aquatique par asphyxie.

La quantité de rejets est liée particulièrement aux caractéristiques nutritionnelles des aliments, aux performances des animaux, qui sont notamment la combinaison de leur potentiel génétique et des conditions d'élevage.

L'un des facteurs limitant de ces études, au carrefour entre la nutrition et l'environnement, est la charge représentée par la nécessité de réaliser de nombreuses analyses chimiques (coût, délai de réponse) simultanément sur les aliments et les rejets. La technique de spectroscopie dans le proche infrarouge (SPIR), méthode rapide et peu onéreuse, a été développée initialement pour mesurer l'humidité dans des produits tels que le blé ou le maïs. Suite à l'évolution des équipements, cette technique est devenue un outil efficace pour prévoir des teneurs en protéine, en lipides ou encore en fibres. La mise au point d'une telle méthode pour le fumier et lisier permettrait l'obtention d'un plus grand nombre de données comparativement aux mesures chimiques et de mieux les valoriser ou les gérer. Des résultats prometteurs ont été obtenus sur des fientes de volailles au CIRAD. Pour les fumiers, un travail doit être réalisé pour calibrer la technique.

D'autre part, le Comité d'Orientation pour des Pratiques agricoles respectueuses de l'Environnement (CORPEN), dont le rôle est de proposer des recommandations techniques aux professionnels, a besoin de disposer de références précises. Mettre à jour les références concernant les rejets d'azote, de phosphore et d'oligo-éléments des élevages constitue un enjeu intéressant pour la maîtrise des pollutions agricoles.

Objectifs

- Calibration d'une technique SPIR pour la détermination de la quantité d'azote (N total, N organique, N ammoniacal) dans les fumiers et étude d'échantillonnage en bâtiment ;
- Apporter des références concernant les rejets d'azote, de phosphore et d'oligo-éléments.

Partie I : Préviation des composés azotés dans les litières

I.1. Prélèvements des échantillons

Différents échantillons de fumiers ont été prélevés aux mois de novembre et décembre 2004 dans des élevages de poulets label et standard et dindes standard des Pays de la Loire. Les prélèvements ont été réalisés avec la collaboration d'étudiants de l'ESA d'Angers, selon l'approche proposée par C. Aubert (ITAVI). Pour chaque bâtiment, des zones Mangeoire, Abreuvoir et Dortoir sont définies (Annexe 1). Les prélèvements sont réalisés dans chacune des zones. Ils sont ensuite homogénéisés sur une bâche et l'on procède à une prise d'échantillons, soit en individuel (un seul point d'échantillonnage à l'intérieur d'une zone), soit composite (plusieurs sous échantillons pris sur la zone étudiée). Les échantillons sont ensuite mis en sac, congelés et acheminés au laboratoire d'alimentation animale du CIRAD-EMVT de Montpellier (34), qui a réalisé le travail d'analyses.

I.2. Dosage des composés azotés par la SPIR

- Principe

La Spectroscopie Proche Infra Rouge (SPIR) est une technique analytique qui utilise la lumière et la capacité qu'ont les liaisons chimiques de la matière organique à absorber le rayonnement proche infrarouge à des longueurs d'onde caractéristiques (800 à 2500 nm). Elle s'intéresse aux molécules organiques, constituées d'atomes de carbone, d'oxygène, d'hydrogène, d'azote, ..., reliés entre eux par des liaisons chimiques covalentes. Elle ne dose pas directement un constituant (eau, protéines, matières grasses, ...) mais permet de déterminer le nombre de liaisons chimiques spécifiques du constituant, par exemple N-H pour les protéines.

- Étude préliminaire : validation du mode de préparation

Cinq échantillons ont été analysés dans un premier temps, afin de mettre au point les modalités de préparation des échantillons et d'estimer la pertinence de l'utilisation du SPIR pour le dosage des composés azotés dans la litière.

Les analyses au laboratoire nécessitent toujours un échantillon homogène. Pour les analyses de NH_3 sur frais, 5 à 10g d'échantillon parfaitement représentatif de l'ensemble sont nécessaires. Pour les analyses sur sec, le broyage doit être de 0.5 ou 1mm.

S'il est envisageable dans le futur de tester des appareils d'analyse rapide, travaillant sur des échantillons un peu volumineux, il est nécessaire dans un premier temps d'étudier la faisabilité dans des conditions plus rigoureuses (homogénéité, représentativité ...), donc sur poudre.

Or les échantillons frais contiennent beaucoup d'eau (jusqu'à 65 %) et ne peuvent donc pas être directement broyés. Il faut donc les sécher, sans en altérer la composition chimique, et préserver notamment les matières volatiles telles que l'ammoniac.

Après un travail de mise au point, le protocole suivant a été proposé : afin d'assurer un prélèvement représentatif, les échantillons sont d'abord entièrement prédécoupés, puis un sous-échantillon est acidifié avec de l'acide chlorhydrique 0,3 M pour amoindrir les pertes en azote ammoniacal lors du séchage. Ce sous-échantillon est ensuite séché à 60 °C pendant 24 ou 48 h, puis broyé à 0,5 mm.

Cinq échantillons (Annexe 1) ont été préparés suivant ce protocole, puis analysés. Parallèlement, les mêmes analyses ont été effectuées sur les échantillons frais ou séchés sans acidification. Les résultats obtenus sont les suivants (Tableau 1) :

Tableau 1 : Teneurs en azote total, ammoniac et azote fécal indigestible, en fonction de différents modes de préparation

Analyses	Mode de préparation	Numéro des échantillons				
		10	98	109	119	163
Azote total %	F	4.37	3.13	1.83	2.68	2.27
	S	3.67	3.15	1.80	2.28	2.04
	SA	4.05	3.36	1.86	2.29	2.52
Ammoniac %	F	0.70	0.30	0.15	0.33	0.08
	S	0.31	0.14	0.05	0.12	0.04
	SA	0.66	0.30	0.19	0.39	0.13
azote fécal indigestible %	F	-	-	-	-	-
	S	2.61	1.71	1.15	1.53	1.17
	SA	2.54	1.76	1.06	1.68	1.31

F : frais S : séché SA : séché et acidifié

Compte tenu de la reproductibilité des analyses, il peut être considéré que le séchage seul n'altère pas la composition chimique des échantillons, excepté l'ammoniac qui se serait volatilisé sous l'action de la chaleur. En acidifiant l'échantillon avant le séchage, la teneur en ammoniac est comparable à la teneur d'origine.

Ce mode de préparation a alors été appliqué sur les autres échantillons de litières.

- **Analyses physico-chimiques**

69 échantillons de litières fraîches congelées ont été prélevés (Annexe 2), répartis en 23 litières de dindes et 46 litières de poulets standard.

Les analyses effectuées ont été les suivantes :

- le dosage de la teneur en eau (HUM_b) et de l'azote ammoniacal (NH₃_b) sur *le produit brut*,
- le dosage de la teneur en eau résiduelle (HUM), des matières minérales totales (MM), des fibres (ADF) et de la lignine (ADL) sur *le produit séché*,
- le dosage des composés azotés *sur le produit séché* : azote total (Nt), azote ammoniacal (NH₃), azote urique (AU), azote protéique des litières (Ni, méthode Terpstra)
- sur quelques échantillons *séchés*, le dosage des nitrates (NO₂) et des nitrites (NO₃)

Le taux de reconstitution de l'azote total peut être calculé de la façon suivante :

$$\% \text{ reconstitution (REC)} = (\text{NH}_3 + \text{AU} + \text{Ni}) * 100 / \text{Nt}$$

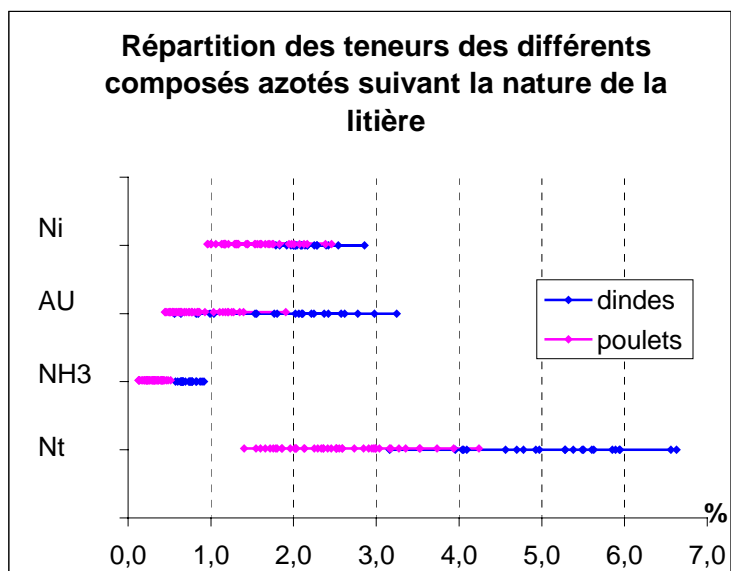
(Note : tous les composés azotés sont exprimés en N)

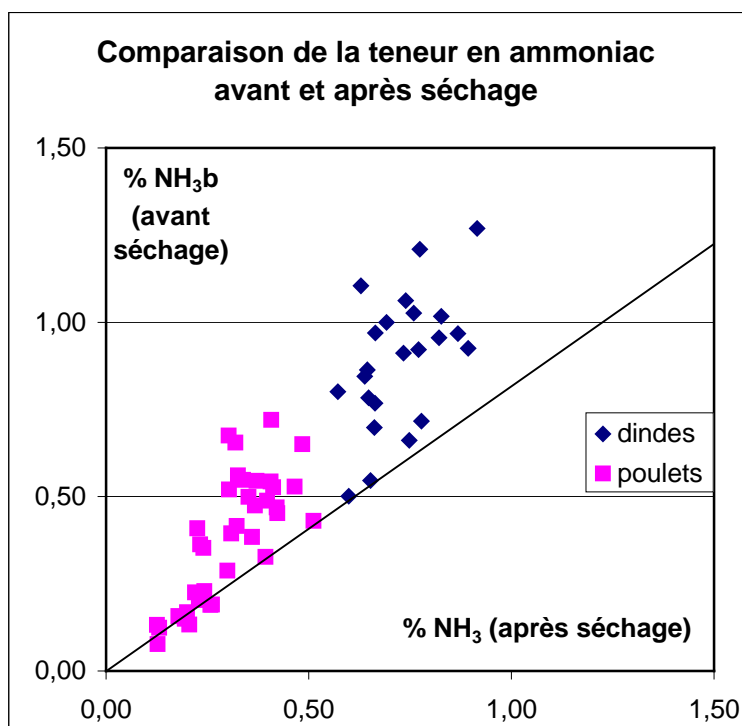
Les résultats obtenus sont synthétisés dans le tableau suivant (Tableau 2) :

Tableau 2 : Composition des litières

Litières		HUMb	HUM	MM	Nt	NH ₃	NH ₃ b	AU	Ni	REC	ADF	ADL
Toutes N=69	Moy	33.3	6.0	12.2	3.40	0.44	0.58	1.16	1.73	100.1	39.3	7.4
	Min	12.2	2.1	6.5	1.40	0.13	0.08	0.45	0.96	87.2	27.5	3.7
	max	66.5	9.7	18.8	6.63	0.92	1.27	3.25	2.86	123.9	51.9	13.9
	ET	13.4	2.2	3.1	1.44	0.22	0.31	0.72	0.57	8.5	5.8	2.4
Dindes N=23	Moy	45.8	6.0	15.7	5.14	0.73	0.89	1.88	2.15	92.6	36.1	9.5
	Min	22.7	2.1	13.3	3.16	0.57	0.50	0.56	1.79	87.2	30.5	4.5
	max	66.5	9.7	18.8	6.63	0.92	1.27	3.25	2.86	99.9	46.1	13.9
	ET	11.8	2.6	1.5	0.88	0.10	0.19	0.77	0.24	2.9	3.8	2.3
Poulets N=46	Moy	27.1	6.1	10.4	2.53	0.30	0.38	0.80	1.51	104.1	40.9	6.3
	Min	12.2	2.9	6.5	1.40	0.13	0.08	0.45	0.96	88.0	27.5	3.7
	max	40.8	9.0	14.1	4.24	0.51	0.72	1.91	2.46	123.9	51.9	11.0
	ET	9.3	2.0	2.1	0.67	0.10	0.18	0.32	0.39	7.7	6.0	1.6

Il est observé que l'humidité des litières fraîches de dindes est globalement très élevée. Les 2 types de litières se discriminent surtout par leurs teneurs en MM, Nt et NH₃, mais également par leur taux de reconstitution de l'azote total (REC), certainement dû à des différences de nature de l'azote.





Globalement la teneur en ammoniac après acidification et séchage est inférieure à celle obtenue sur le produit frais, puisque la teneur moyenne évolue de 0,58 % sur frais à 0,44 % sur sec :

L'équation de régression est : $\%NH_{3b} = 1,236 \times \%NH_3$

NH_{3b} peut donc être recalculé d'après NH₃, même si la précision obtenue avec cette première série d'échantillons n'est pas excellente. Se cumulent en effet l'erreur analytique (faible), l'erreur de sous échantillonnage (probablement forte dans ce type d'échantillons) et un effet probablement hétérogène du séchage.

Il faut noter que le taux de NH₃ analysé diffère de celui de la litière au moment de son prélèvement à cause des pertes au cours des manipulations, des fermentations qui continuent après prélèvement et dans le cas présent de la conservation (congélation / décongélation). Par conséquent, le biais introduit par le séchage n'est pas le seul facteur de variation. Devant cette constatation, il est probable qu'une acidification / séchage rapides (acidification au prélèvement ou dès la réception labo) permettent même d'améliorer la représentativité de l'analyse par rapport à la situation de terrain : limitation des fermentations et bien meilleure homogénéité du prélèvement analytique après séchage et broyage.

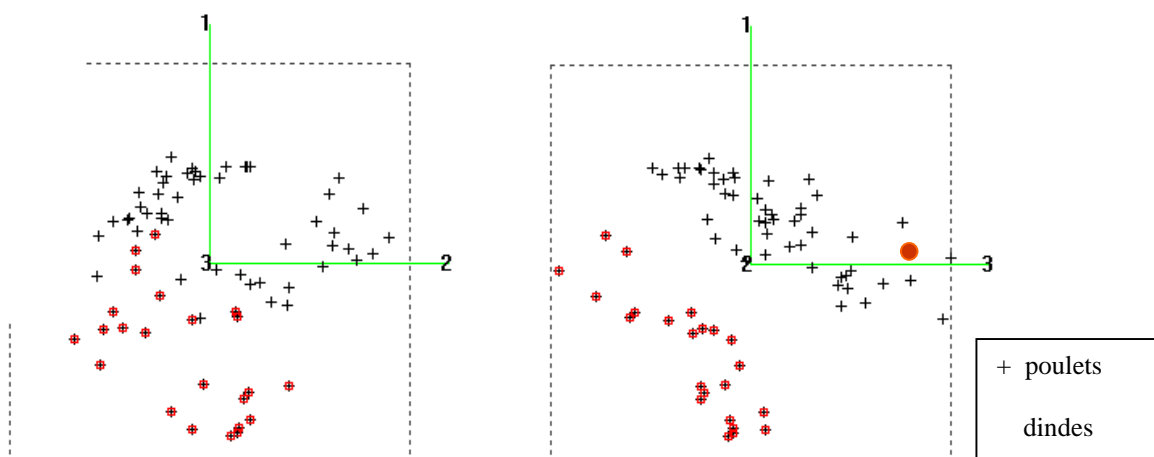
Le dosage des nitrates et des nitrites a été effectué sur 10 échantillons. Les résultats varient de

- Nitrates : 0 à 64 ppm pour les litières dindes et 10 à 1002 ppm pour les litières poulets ;
- Nitrites : 0 à 1 ppm pour les litières dindes et 0 à 11 ppm de nitrites pour les litières poulets

Les teneurs étant très faibles (env. 1% de l'azote de l'échantillon), il semble superflu de doser ces deux composés pour affiner le taux de reconstitution de l'azote.

- Analyses spectrales SPIR

La représentation graphique selon 3 composantes principales des spectres des échantillons est illustrée ci-dessous :



Un échantillon contenant beaucoup de plumes a été supprimé de la base, étant trop éloigné spectralement des autres échantillons.

Pour chaque composé analysé, une équation de calibration a été établie, dont les caractéristiques sont les suivantes (Tableau 3) :

Tableau 3 : Caractéristiques des équations de calibration

Analyses	Nb éch	Moy %	SD	SEC	R ²	SECV	1-VR	RPD	Sr
<i>HUMb</i>	69	31.83	12.33	2.00	0.97	2.73	0.95	4.52	-
HUM	71	5.82	2.17	0.18	0.99	0.30	0.98	7.15	0.11
<i>MM</i>	70	11.86	3.10	0.33	0.99	0.53	0.97	5.89	0.11
Nt	67	3.22	1.37	0.06	1.00	0.09	1.00	14.83	0.04
<i>ADF</i>	72	39.18	5.81	2.06	0.87	2.40	0.83	2.42	1.17
<i>ADL</i>	72	7.11	2.09	1.00	0.77	1.55	0.45	1.35	0.74
NH ₃	71	0.42	0.21	0.02	0.99	0.03	0.99	8.11	0.002
<i>NH₃b</i>	61	0.53	0.29	0.05	0.97	0.07	0.94	3.97	-
AU	69	1.08	0.64	0.07	0.99	0.11	0.97	5.65	0.09
Ni	69	1.72	0.47	0.07	0.98	0.10	0.96	4.79	0.08
<i>REC</i>	67	99.80	7.34	2.01	0.92	3.19	0.81	2.30	-

Moy% moyenne de la population

SD ET population

SEC ETR de l'équation de calibration

SECV ETR estimé par un méthode "jackknife" sur des sous populations

RPD SD/SECV, ce rapport est un critère de performance du modèle

Sr Répétabilité de l'analyse au laboratoire (observée sur les échantillons de litière)

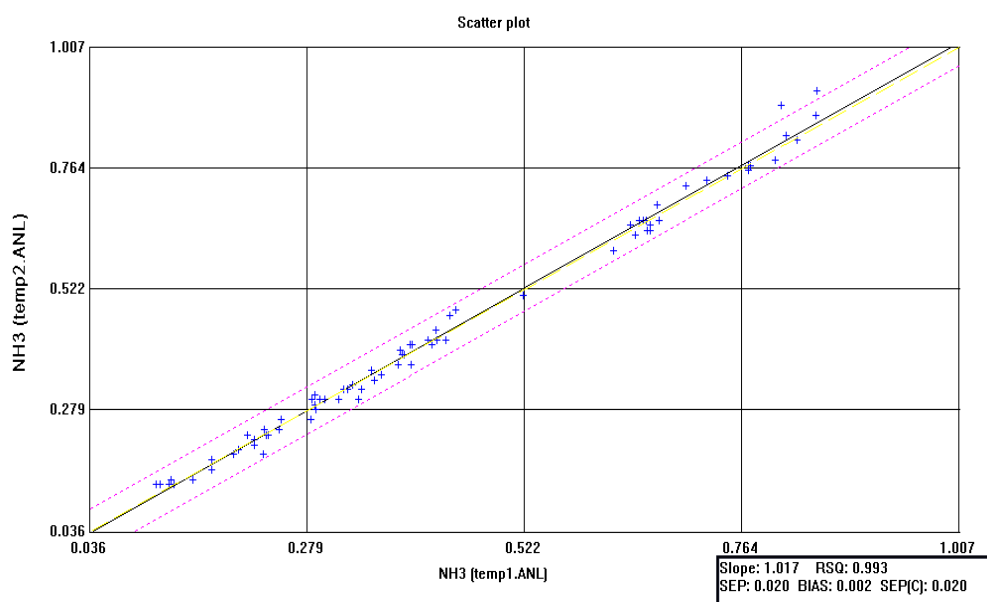
Les performances des équations représentées par le rapport RPD = SD/SECV montrent des résultats très encourageants. Dans ces conditions, les différents composés azotés peuvent être prédits de façon fiable par la SPIR.

La prédiction des fibres (ADF, ADL) est moins précise, probablement à cause de la présence de 2 types de fibres : fibres alimentaires non digérées et fibres de la litière (paille, bois).

A noter que NH₃b peut être prédit d'après les spectres des échantillons séchés avec une précision non négligeable. C'est a priori surprenant car cela signifie que l'échantillon sec contient l'information sur le NH₃b. La relation des valeurs *prédites* de NH₃ et NH₃b est

$NH_3b=1,26 \times NH_3 - 0,03$, ce qui est comparable à la relation entre les valeurs *obtenues au laboratoire* ($NH_3b=1,24 \times NH_3$).

Teneurs en NH_3 prédites en fonction des teneurs en NH_3 obtenues au laboratoire



De plus, étant donnée la différence de nature entre les fumiers de dindes et de poulets, les calibrations SPIR ont été effectuées sur les 2 groupes séparément. Toutefois, la précision des équations n'est pas significativement améliorée, en partie du fait du faible effectif des sous groupes.

Les différents composés azotés peuvent être prédits de façon fiable par la SPIR. Le temps de passage (quelques minutes) et l'absence de réactifs, rend l'analyse spectrométrique plus rapide et moins coûteuse que les analyses physico-chimiques classiques.

Pour les échantillons à venir, les échantillons peuvent être acidifiés dès leur prélèvement puis séchés rapidement. Le sous échantillonnage au labo devient inutile. La poursuite des analyses et l'exploitation SPIR sur poudres peuvent se faire en routine, beaucoup plus facilement et rapidement. Le protocole de prélèvement des litières est détaillé en annexe 3.

I. 2. Prévion de la composition en azote des litières en élevage avicole

- Problématique

Etant donnée l'hétérogénéité apparente des litières dans les bâtiments d'élevages de volailles de chair et leurs répartitions sur des grandes surfaces, des interrogations concernant les capacités à prévoir leurs compositions sont posées, notamment pour l'azote. La question est donc de savoir comment procéder pour estimer la teneur moyenne en azote des litières des élevages de volailles :

- Combien faut-il prendre d'échantillons dans un bâtiment pour obtenir une valeur représentative ?
- Y a-t-il des variations entre zones (abreuvoir, dortoir, mangeoire) dans un bâtiment ?

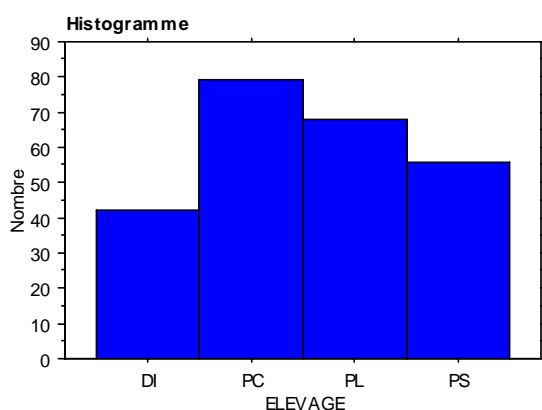
- Les échantillons (d'une zone ou d'un bâtiment) doivent-ils provenir d'une seule prise ou d'un mélange de sous échantillons ?

Les analyses de données sont faites en deux étapes : une approche graphique permet de visualiser les ordres de grandeurs des valeurs et une approche plus statistique teste la significativité des facteurs étudiés (zones principalement) sur les résultats obtenus à l'aide d'analyse de variance.

- **Présentation globale des résultats**

Les 245 valeurs se répartissent entre 18 élevages (2 dindes (DI), 4 poulets certifiés (PC), 7 labels (PL) et 5 standards (PS)) avec un nombre de mesure moyen par élevage de 13,6.

Figure 1 : Nombre d'échantillons collectés par type d'élevage



Les zones étudiées se répartissent en abreuvoir (A, n=72), dortoir (D, n=82), mangeoire (M, n=52) et total (T, n=15).

Cinq variables sont étudiées : Azote total (Nt), Ammoniac (NH3), Acide urique (AU), Azote protéique (Ni) et matières minérales (MM). L'unité est le pourcentage de la matière sèche. Le tableau 4 présente les statistiques descriptives globales des variables :

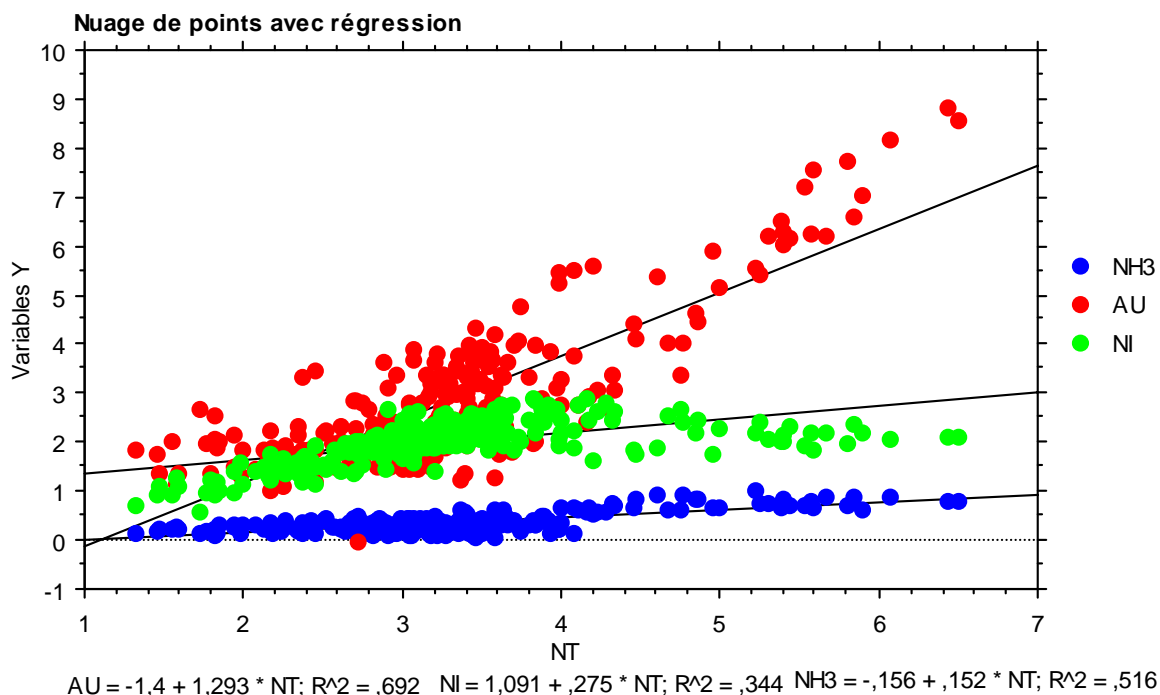
Tableau 4 : Statistiques descriptives de la composition des litières de volailles (n=245, en pourcentage de la matière sèche)

Statistiques descriptives

	NT	NH3	AU	NI	MM
Moy.	3,312	,346	2,881	2,001	15,151
Erreur Std	,060	,013	,093	,028	,196
Minimum	1,326	,061	-,035	,564	6,434
Maximum	6,502	1,008	8,824	2,900	20,310

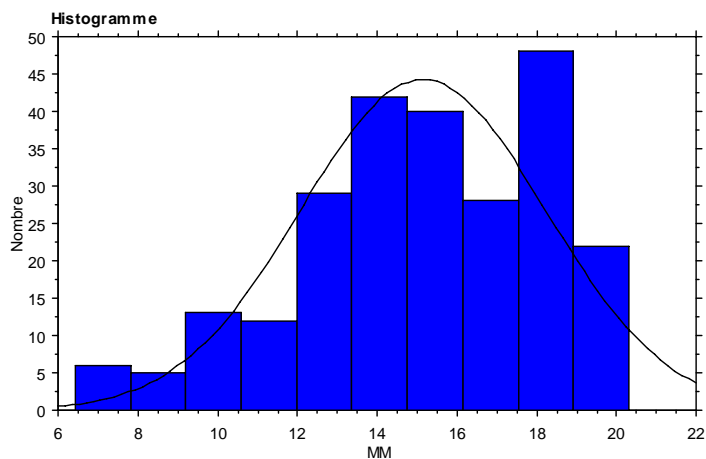
Les relations et les variations entre les composés azotés sont représentées sur la figure 2 :

Figure 2 : Relations entre les composés azotés (NI, AU, NH3, % MS) en fonction de l'azote total (NT, % MS)



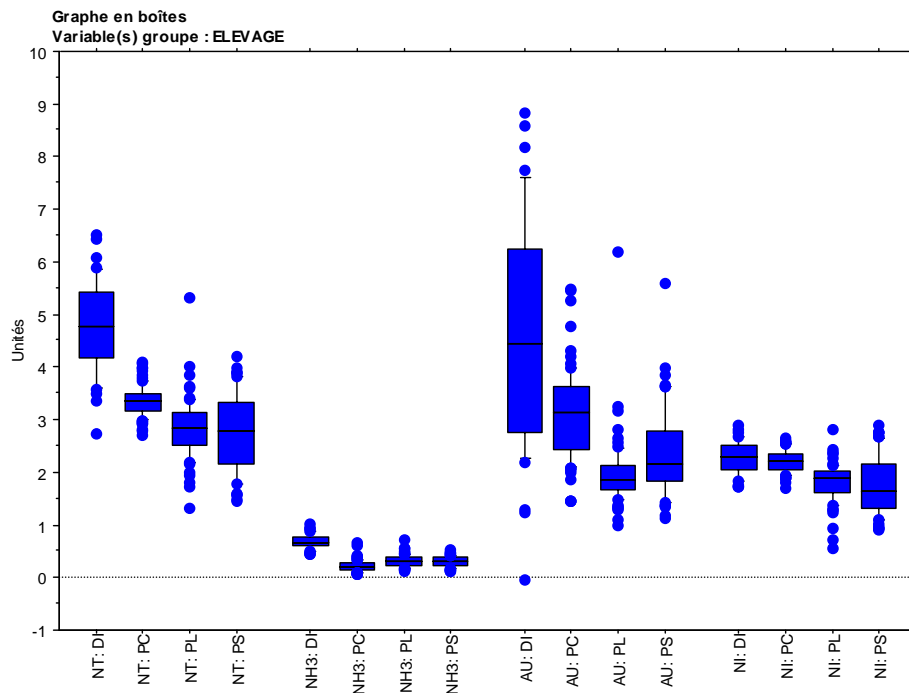
En ce qui concerne les matières minérales, leur répartition suit l'histogramme suivant (Figure 3) :

Figure 3 : Distribution de la teneur en matières minérales (MM, % MS) des litières de volailles de chair (n=245)



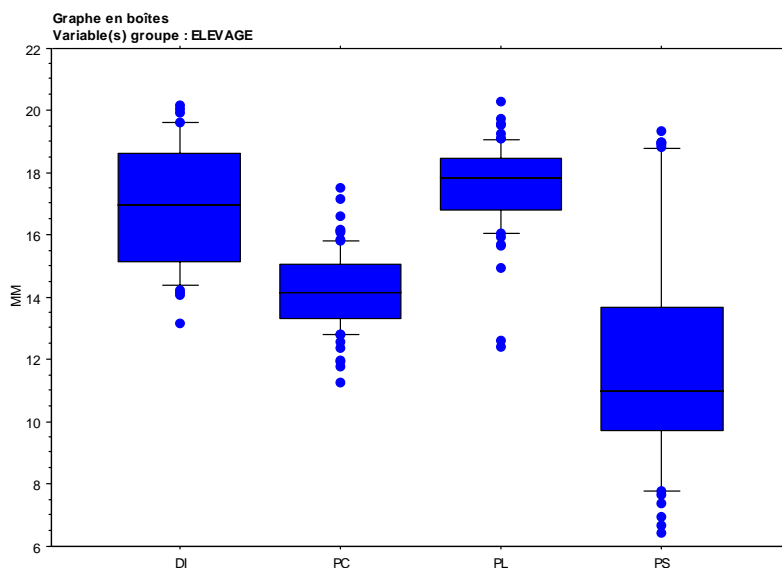
- Résultats par type d'élevage et par zone

Figure 4 : Teneur en azote (NT, % MS) et en ses composés (NH3, AU, NI, %MS) dans les litières de types d'élevage différents (DI, PC, PL, PS)



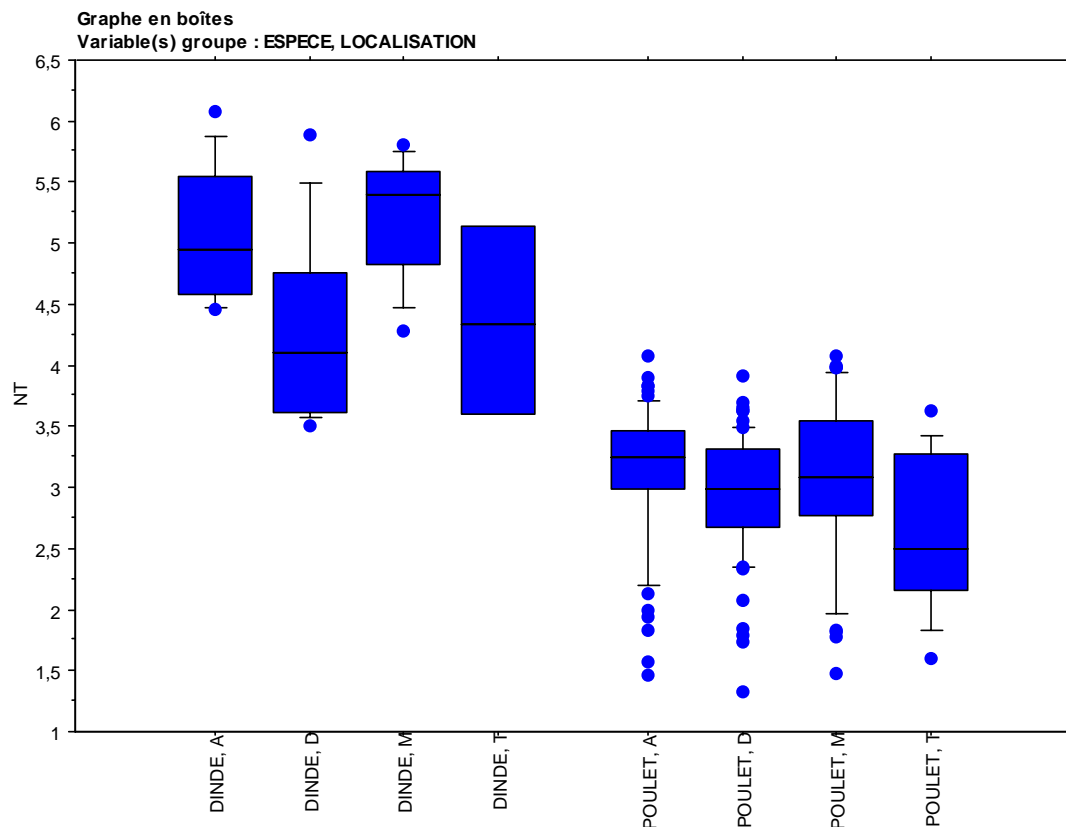
Les 4 types d'élevage étudiés ont des teneurs variables entre eux, notamment pour les dindes qui ont des valeurs supérieures aux poulets. Il en va de même pour les variations intra-types d'élevage, avec des différences fortes entre échantillons, comme cela est illustré sur la figure 4 ci-dessus. Les variabilités observées confirment l'intérêt pour un élevage donné d'analyser les litières pour en connaître plus précisément la valeur fertilisante. Le même type de remarque peut être faite pour les teneurs en matières minérales, comme cela s'observe sur la figure 5, même si pour cette variable, les élevages de dindes ne se distinguent pas des autres.

Figure 5 : Teneur en matières minérales (MM, % MS) dans les litières de types d'élevage différents (DI, PC, PL, PS)



Pour l'étude par zone et pour les composés azotés, les dindes et les poulets sont traités distinctement étant données les différences observées figure 5. Sur la figure 6, apparaissent les différentes zones pour les poulets et les dindes. Si des variabilités existent, il ne semble pas y avoir de façon évidente de changements entre localisations.

Figure 6 : Teneur en azote total (NT, % MS) en dinde et en poulet selon la localisation (A, D, M, T)



Les effets « localisation » (A, D et M) sur la teneur en azote et en matières minérales sont ensuite testés par des analyses de variance de façon distincte pour les dindes et les poulets avec un facteur à 3 niveaux avec ou non l'effet « bâtiment d'élevage » inclus. Il est à noter que les échantillons utilisés sont les échantillons individuels et composites pour une même zone, le risque étant que le composite ne soit qu'un assemblage des individuels. Néanmoins, étant données les modalités pratiques d'obtention de ces échantillons, il est probable que l'on puisse les considérer comme des mesures indépendantes.

En dinde, il apparaît qu'en incluant ou non les échantillons composites, les résultats sont les mêmes : la zone dortoir a des teneurs significativement inférieures en NT, AU et NH3 et une teneur statistiquement supérieure en NI à un niveau de probabilité de 5% suite à un test a posteriori PLSD de Fisher (Figure 8).

Figure 7 a (NH3), b (AU), c (NI), d (MM) (%MS) en dinde et en poulet selon la localisation (A, D, M, T)

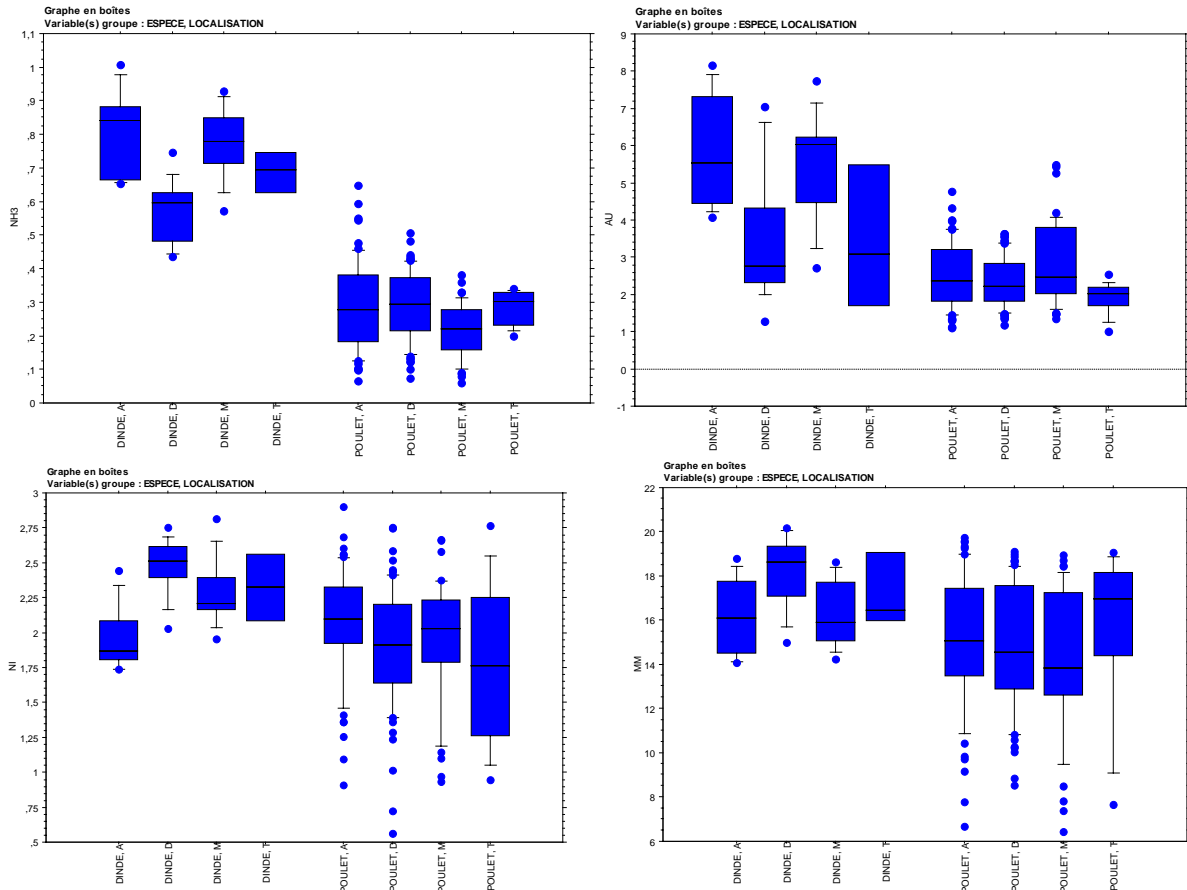
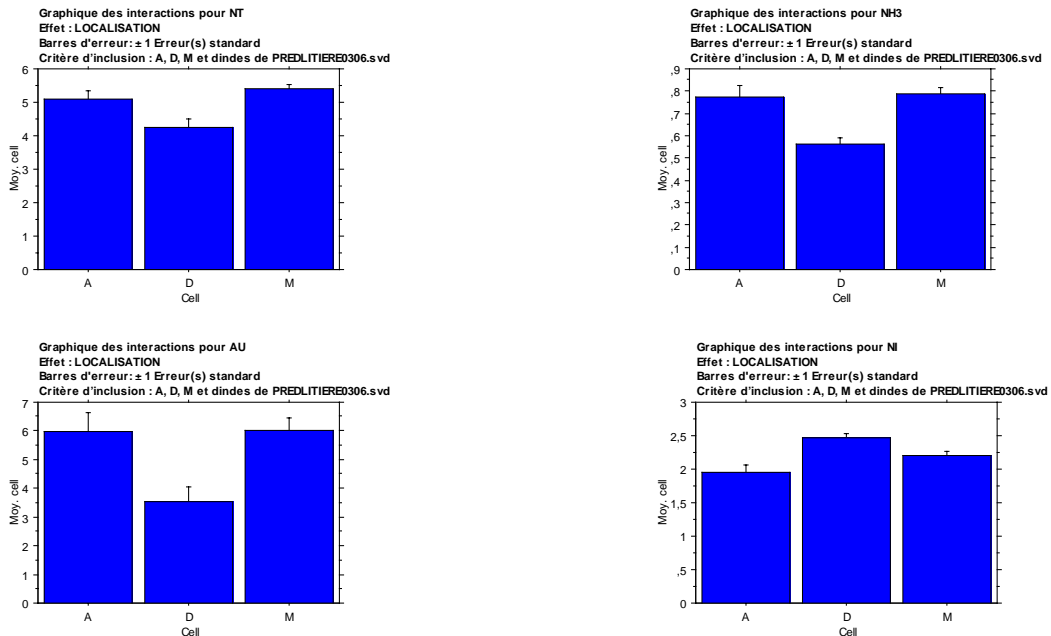


Figure 8 Moyenne des teneurs en NT, NH3, AU et NI dans les élevages de dindes (différences significatives à 5 % pour l'ensemble des critères)



Pour les poulets, les résultats ne sont pas aussi différenciés, du fait certainement d'une durée d'élevage plus courte. Par simplification, seuls les résultats sans échantillons composites sont présentés, les significativités pour NT et NI n'apparaissant pas, même si les hiérarchies restent les mêmes et les résultats significatifs pour les deux autres critères.

Il ressort donc des analyses des figures 7 et 8 que l'estimation de la composition en azote des litières nécessite la prise d'échantillons dans différentes zones du bâtiment. Des conclusions identiques sont obtenues pour les teneurs en matières minérales, avec des différences significatives entre zones (en dindes D supérieur à M et A ; en poulet, M a tendance à être inférieur à D ($p=0,10$)).

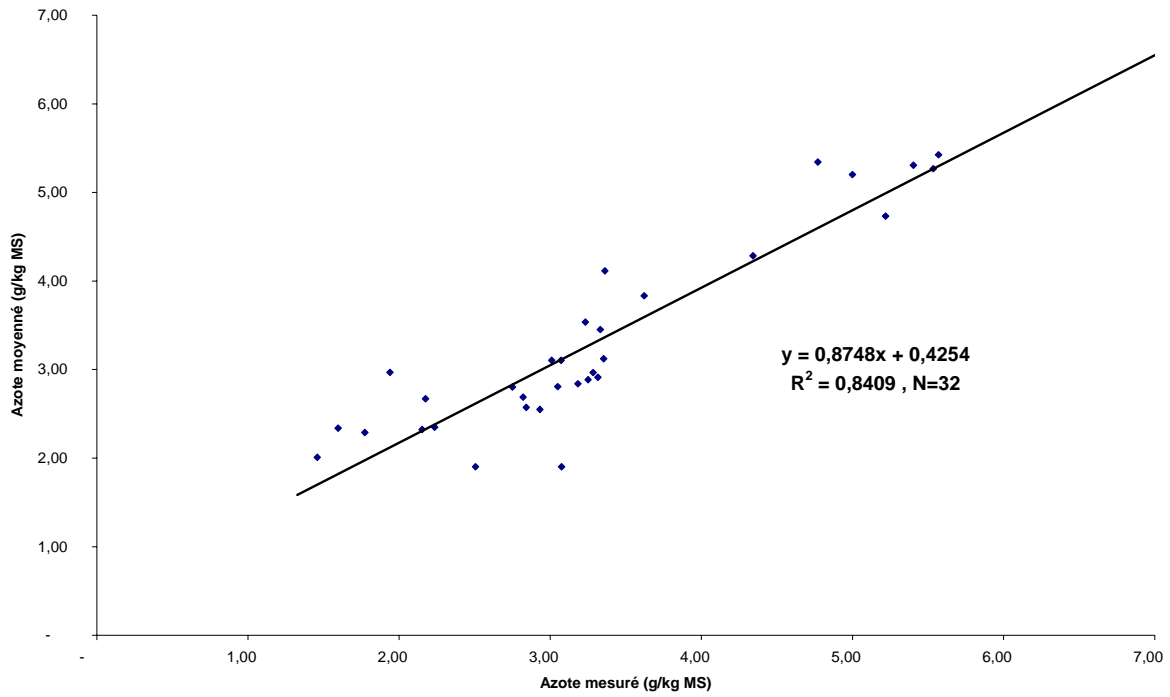
Il reste à voir comment les mélanger et le nombre minimal nécessaire pour une valeur relativement fiable. D'autre part, des différences (non présentées ici) apparaissent entre élevages, y compris dans la hiérarchie entre les différentes zones. Cela conforte la nécessité d'échantillonner spécifiquement chaque bâtiment et de ne pas utiliser des estimations indirectes des compositions des litières par l'alimentation et le mode d'élevage.

- Relations entre échantillons par zone et globalement : proposition du choix du nombre d'échantillons

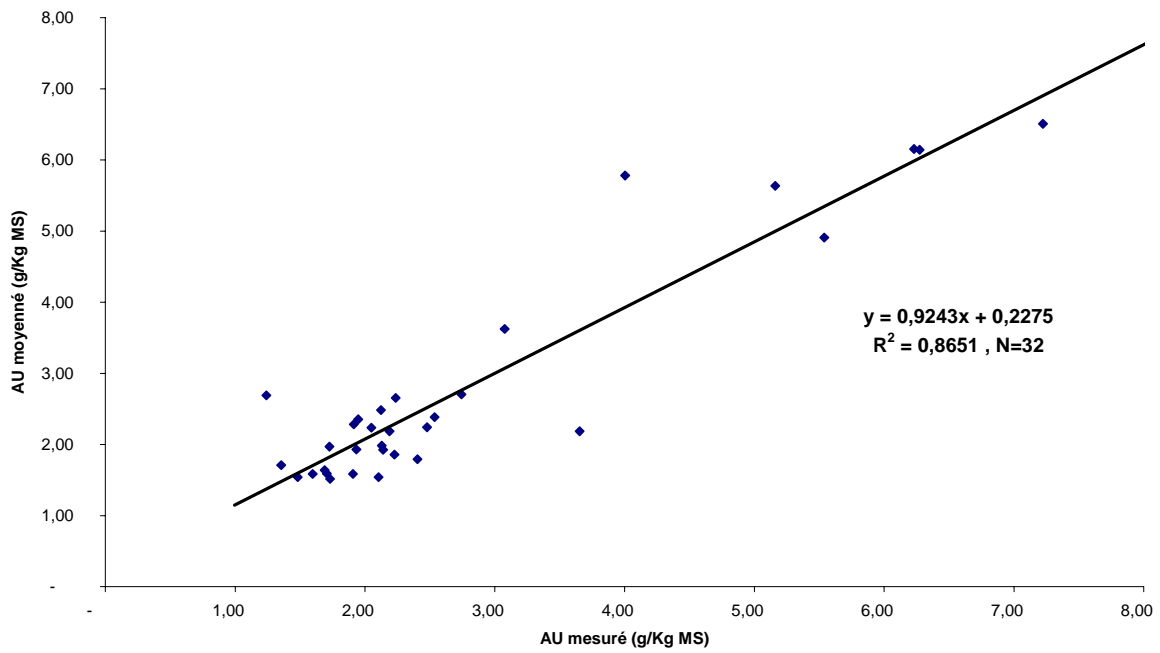
L'approche proposée consiste à comparer l'analyse des échantillons composites (1 valeur donnée) d'une part à ceux qui les ont composés (la moyenne des valeurs de chacun d'entre eux) d'autre part. Ainsi, la moyenne de 5 échantillons individuels d'une zone sera comparée à la valeur de l'échantillon composite de cette zone ou la moyenne des échantillons composites d'un bâtiment sera comparée à celle de l'échantillon composite du bâtiment. Il apparaît pour les 4 critères azotés, un bon lien entre les deux approches, comme cela est illustré pour NT et AU dans les deux graphiques ci-dessous. Il en résulte qu'un échantillon composite représente correctement la moyenne des échantillons individuels ou composites provenant des mêmes zones avec des relations linéaires. Toutefois pour l'azote protéique, la relation est moins précise mais cela n'a pas un impact fort, la valeur importante par rapport à la fertilisation étant l'azote total. *D'un point de vue pratique, cela signifie qu'il suffit de prendre un échantillon par zone et de les mélanger de façon proportionnelle pour obtenir une estimation correcte de la composition des litières au niveau d'un bâtiment.* Néanmoins, cette approche nécessite de s'assurer que l'échantillon récolté dans une zone est correctement représentatif de celle-ci.

En conclusion, des limites méthodologiques peuvent être mises en avant concernant la façon de prendre les échantillons, leur nombre, leur stockage, etc.... Néanmoins, il paraît possible d'avoir une idée correcte de la teneur en azote des litières de volailles en échantillonnant par zone et en faisant un échantillon composite.

Azote total (NT) estimé par moyenne des échantillons individuels



Acide urique estimé par les échantillons individuels

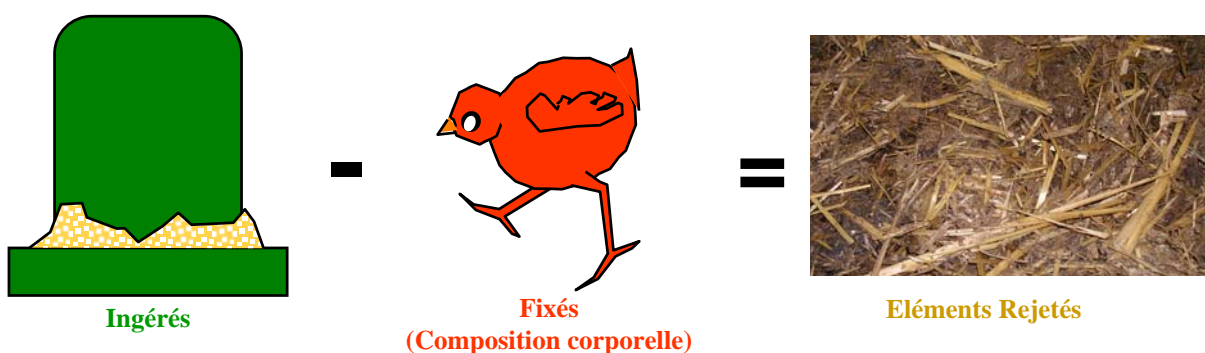


Partie 2 : Facteurs de variation de l'excrétion en N, P, K, Cu et Zn

Les références concernant les rejets avicoles publiées en 1996 et 1997 par le CORPEN (Comité d'Orientation des Pratiques agricoles respectueuses de l'Environnement), dans le but d'établir les recommandations agro-environnementales, sont calculées à partir de la méthode du bilan (CORPEN, 1996, 1997). Or, les compositions corporelles utilisées sont anciennes et nécessitent d'être revues. Les progrès de la génétique et des techniques d'élevage les ont en effet modifiées (Havenstein et al, 1994a-b, 2003a-b ; Rouffineau et al, 1999 ; Bregendahl et al, 2002 ; Wylie et al, 2003; Fatufe et al, 2004 ; Quentin et al, 2004). C'est pourquoi l'objectif de cette deuxième partie est :

- de réactualiser les références concernant la composition corporelle en protéines, phosphore et oligo-éléments des volailles par un état des lieux des données disponibles sur le sujet ;
- d'acquérir de nouvelles références pour la dinde, pour laquelle peu de données existent.

Méthode du bilan utilisé pour le calcul des rejets avicoles



II.1. Réactualisation des références relatives à la composition corporelle en protéines, phosphore et oligo-éléments des volailles: état des lieux et impact sur les rejets avicoles

1. Matériels et Méthodes

Le travail a consisté à recenser les études relatives à la composition corporelle des volailles, à collecter et à analyser les données. L'objectif était de dresser un état des lieux des références disponibles, postérieurs à 1995 et à déterminer les informations manquantes (Tableau 5).

Les références concernant la composition corporelle en protéines, phosphore et oligo-éléments des volailles proviennent d'animaux élevés en conditions de terrain ou expérimentales. Les animaux sont euthanasiés et leurs carcasses entières broyées, plumes incluses, puis lyophilisées. Le lyophilisat est ensuite analysé chimiquement ou à l'aide de la spectroscopie dans le proche infrarouge pour déterminer les teneurs en protéines, phosphore et oligo-éléments. Les résultats sont exprimés par rapport au poids frais en pourcentage, g/kg ou mg/kg (\pm écart type de la moyenne). Les compositions des régimes de même que les quantités d'aliments consommées sont recueillies afin de calculer les différents rejets.

Les données sont saisies dans un tableur Excel[®], puis une analyse descriptive est réalisée à l'aide du logiciel Statview[®].

Tableau 5 : Références bibliographiques postérieures à 1995, relatives à la composition corporelle des volailles en protéines, phosphore et minéraux

Espèce	Référence	Eléments étudiés
Canard Pékin	Timmler et al, 2003	N
	Rodehutschord et al, 2003	P
Canards de Barbarie	Rouffineau et al, 1997	N, P, Zn, Cu
	Euronutrition, 2002	N
Dinde reproductrice	Melnychuk et al, 1998	N
Dindon	Rouffineau et al, 1997	N, P, Zn, Cu
	Euronutrition, 2002	N, P
Poule pondeuse	Fatufe et al, 2004	N
Poule reproductrice	Renema et al, 1999	N
Poulet label	Rouffineau et al, 1997	N, P, Zn, Cu
	Euronutrition, 2002	N
Poulet standard	Rouffineau et al, 1997	N, P, Zn, Cu
	Mohanna et Nys, 1997	N, Zn, Cu, Mn
	Aletor et al, 2000	N
	Bregendahl et al, 2002	N
	Carré et al, 1998	N
	Crespo et al, 2002	N
	Euronutrition, 2002	N
	Fatufe et al, 2004	N
	Fatufe et al, 2005	N
	Gonzalez-Esquerra et al, 2005	N
	Rehfeldt et al, 1997	N
	Sklan et al, 2004	N
	Wiseman et al, 1998	N
	Nys et al, 1997	P, Zn, Cu, Mn, Fe
Nys et Mohanna, 1999	Zn	
Pintade	Sales et al, 1997	N
Autruche	Cilliers et al, 1998	N
Oeuf	Skrivan et al, 2005	Zn, Cu, Fe
Oeuf sans coquille	Nys, et al, 2004	N, Zn, Cu, Mn, Fe
	Novak et al, 2004	N
	Prochaska et al, 1996	N
	Shafer et al, 1998	N
	Vieira et al, 1998	N
Coquille d'œuf	Nys et al, 1996	N
	Ahmed et al, 2003	N

2. Les chiffres

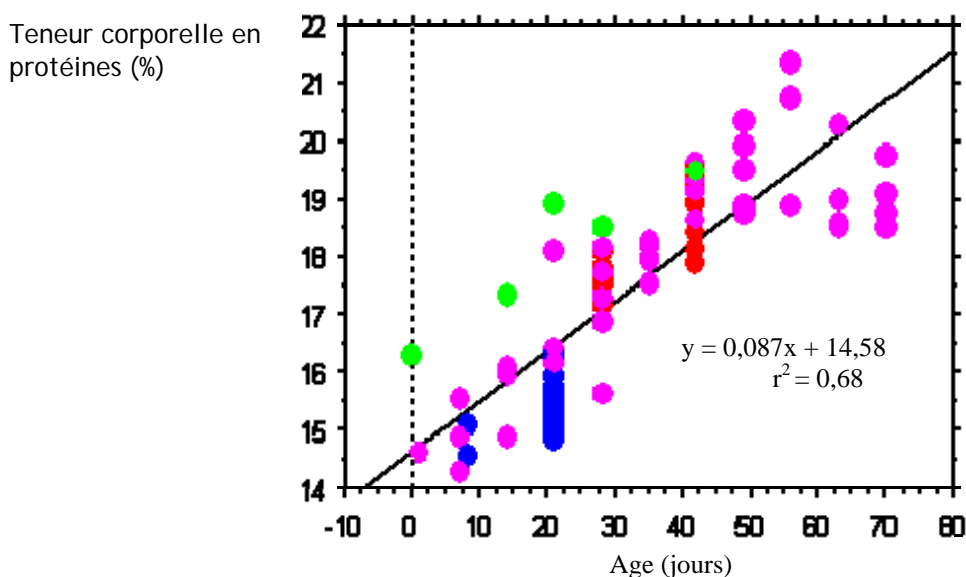
2.1. Poulets

2.1.1. Teneur en protéines

- Poulets standard

Au regard des travaux effectués après 1995, la concentration corporelle en protéines, pour des poulets standards âgés de 33 à 44 jours, est en moyenne de 18,5% ($\pm 0,73$) et varie de 16,9% à 19,8% (Gonzalez-Esquerra et al, 2005 ; Mohanna, 1998 ; Nys et al, 2003 ; Rouffineau et al, 1999 ; Rouffineau, 1997 ; Sklan et al, 2003, 2004 ; Wiseman et Lewis, 1998, Wiseman, 1999 ; Aletor et al, 2000, Carré et al, 1998 ; Cardinale, 1996 ; Euronutrition, 2002). La référence CORPEN (1996) est de 20%, soit un écart de 1,5 point par rapport à la valeur moyenne recensée. La teneur corporelle en protéines des poulets standards croît avec l'âge. Chez le poulet standard mâle Ross, une relation linéaire est observée entre la teneur en protéines corporelles et l'âge des animaux ($r^2 = 0,68$) (Fatufe et al, 2004, 2005 ; Gonzalez-Esquerra et al, 2005 ; Sklan et al, 2003, 2004 ; Wiseman et Lewis, 1998, Wiseman, 1999) (Figure 9).

Figure 9 : Evolution de la teneur corporelle en protéines chez le poulet standard mâle Ross (Fatufe et al, 2004, 2005 ; Gonzalez-Esquerra et al, 2005 ; Sklan et al, 2003, 2004 ; Wiseman et al, 1998, 1999)



- Poulets label

Les poulets à croissance lente de type label, âgés de 84 à 86 jours, ont en moyenne, une teneur corporelle en protéines de 20,5% ($\pm 0,15$). Suivant les auteurs, la teneur corporelle en protéines varie très peu : de 20,3% à 20,7% (Rouffineau et al, 1999 ; Rouffineau, 1997 ; Euronutrition, 2002), et est proche de la référence CORPEN (1996), fixée à 20%.

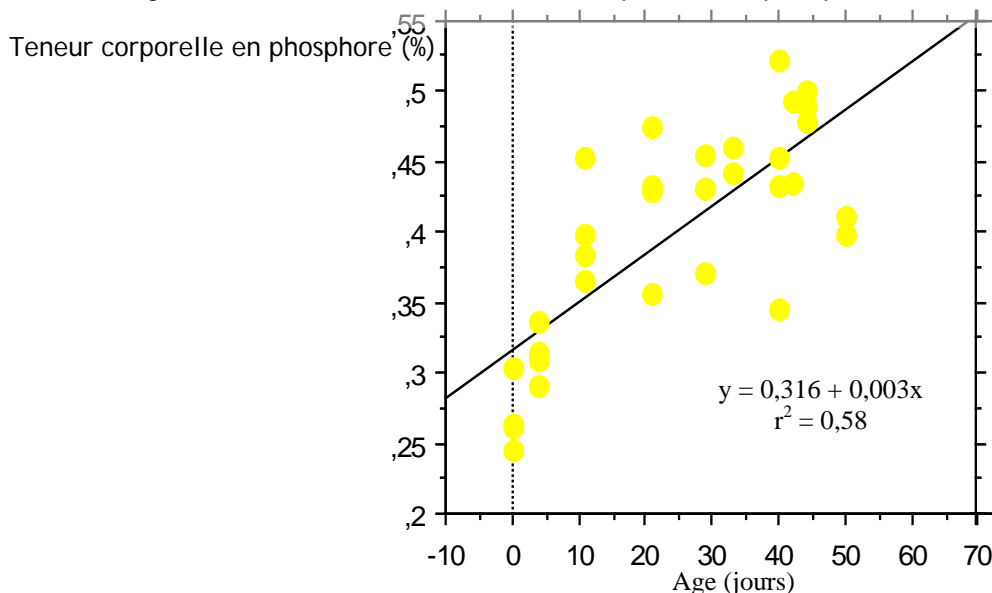
- Poules reproductrices

D'après Renema et al (1999), pour des poules reproductrices, âgées de 147 à 210 jours, la teneur corporelle en protéines est en moyenne de 20,05% ($\pm 0,59$), valeurs comprises entre 19,4% et 21,0%. La référence CORPEN (1996) est de 20%. Aucune donnée récente, relative à la composition corporelle en protéines des coqs adultes, n'a pu être collectée.

En résumé, en utilisant la totalité des données collectées et relatives à Gallus, la teneur corporelle en protéines est liée linéairement à l'âge de l'animal, quelle que soit leur souche (r^2

= 0,61, $y=0,078x + 15,15$) (Gonzalez-Esquerria et al, 2005 ; Mohanna, 1998 ; Nys et al, 2003 ; Rouffineau et al, 1999 ; Rouffineau, 1997 ; Sklan et al, 2003, 2004 ; Wiseman et Lewis, 1998, Wiseman, 1999 ; Aletor et al, 2000, Carré et al, 1998 ; Cardinale, 1996 ; Euronutrition, 2002 ; Fatufe et al, 2004, 2005 ; Renema et al, 1999 ; Bregendahl et al, 2002 ; Mavromichalis et al, 2000 ; Crespo et Esteve-Garcia, 2002 ; Stilborn et al, 1997).

Figure 10 : Evolution de la teneur corporelle en phosphore chez les poulets de type standard



2.1.2. Teneur en phosphore

- Poulets standard

Pour les poulets de type standard, âgés de 33 à 44 jours, la teneur corporelle en phosphore est en moyenne de 4,6g/kg de poids vif ($\pm 0,43$) et varie de 3,5 à 5,2g/kg (Nys et al, 2003 ; Rouffineau et al, 1999 ; Rouffineau, 1997 ; Nys et al, 1997). La référence CORPEN (1997) est de 4,8g/kg de poids vif, soit un écart de 0,2g/kg au-dessus la valeur moyenne collectée. Par ailleurs, la concentration corporelle en phosphore des poulets de type standard augmente avec l'âge des animaux ($r^2 = 0,58$) (Rouffineau, 1997 ; Rouffineau et al, 1999 ; Nys et al, 1997) (Figure 10).

- Poulets label

D'après Rouffineau et al (1999), les poulets labels âgés de 84 jours, ont en moyenne, une teneur corporelle en phosphore de 4,8 g/kg de poids vif ($\pm 0,27$). La valeur CORPEN (1997) de 4,7 g/kg y est relativement proche. Aucune teneur corporelle en phosphore concernant les reproducteurs, n'a pu être recensée.

2.1.3. Teneur en oligo-éléments

- Poulets standard

Les poulets de chair de type standard, âgés de 33 à 44 jours, ont en moyenne une concentration corporelle en métaux de 19,1 mg/kg de poids vif ($\pm 3,5$) pour le zinc, 2,5 mg/kg ($\pm 0,96$) pour le cuivre, 0,7 mg/kg ($\pm 0,37$) pour le manganèse, 29,1 mg/kg ($\pm 1,72$) pour le fer, (Rouffineau et al, 1997 ; Montrésor, 2000 ; Mousset, 1997 ; Mohanna, 1998 ; Mohanna et Nys, 1997a-b, 1999 ; Nys et Mohanna, 1999).

- Poulets label

Pour les poulets label, la teneur corporelle moyenne en zinc est de 23,22 mg/kg de poids vif ($\pm 0,92$) et de 3,73 mg/kg ($\pm 0,60$) en cuivre (Rouffineau, 1997 ; Montrésor, 2000). Dans ce recueil de données, les concentrations corporelles en oligo-éléments relatives aux reproducteurs n'ont pas pu être collectées.

2.2. Dindes

2.2.1. Teneur en protéines

- Dindes standard

La teneur corporelle moyenne en protéines de dindes mâles ou femelles âgées d'environ 100 jours, est de 22,0% ($\pm 0,81$) et fluctue de 21,0% à 23,0% (Rouffineau, 1997 ; Rouffineau et al, 1999 ; Euronutrition, 2002). La différence avec la référence CORPEN (1996) qui est de 22,6%, est de 0,6 point.

- Dindes reproductrices

D'après Melnychuk et al (1997), la concentration corporelle moyenne en protéines des dindes destinées à la reproduction est de 22,69% ($\pm 0,09$). Aucune référence relative à la composition corporelle en protéines des dindes de type label n'a pu être recueillie.

2.2.2. Teneur en phosphore

- Dindes standard

D'après Rouffineau et al (1999), la teneur corporelle moyenne en phosphore des dindes standard mâles ou femelles, âgées d'environ 100 jours, est de 5,1g/kg de poids vif ($\pm 0,12$), alors que la référence CORPEN (1997) est de 6,7g/kg, soit un écart de 1,6g/kg au-dessus de la valeur recensée. Aucune teneur corporelle en phosphore concernant les dindes de type label et les reproducteurs, postérieure à 1995, n'a pu être recensée.

2.2.3. Teneur en oligo-éléments

- Dindes standard

La concentration corporelle moyenne en métaux des dindes de type standard est de 27,1 mg/kg de poids vif ($\pm 2,05$) en zinc et de 2,8 mg/kg de poids vif ($\pm 0,49$) en cuivre (Rouffineau, 1997 ; Montrésor, 2000). Les concentrations corporelles en oligo-éléments relatives aux dindes de type label et aux reproducteurs n'ont pas pu être collectées.

2.3. Canards

2.3.1. Teneur en protéines

- Canards de Barbarie

La teneur corporelle moyenne en protéines des canards de Barbarie, mâles ou femelles, âgés de 70 à 84 jours, est de 18,5% ($\pm 1,41$), et varie de 15,5 à 19,3% (Rouffineau, 1997, Rouffineau et al, 1999 ; Baeza et Leclercq, 1995; Baeza et al, 1998 ; Euronutrition, 2002) pour une référence CORPEN (1996) à 19%.

2.3.2. Teneur en phosphore

- Canards de Barbarie

Pour les canards de Barbarie mâles ou femelles, âgés de 72 à 79 jours, la concentration corporelle moyenne en phosphore est de 5,3g/kg de poids vif ($\pm 0,06$) (Rouffineau et al, 1999 ; Rouffineau, 1997), alors que la référence CORPEN (1997) est de 6,1g/kg, soit une différence de 0,8g/kg.

2.3.3. Teneur en oligo-éléments

- Canards de Barbarie

La teneur corporelle moyenne des canards de Barbarie âgés de 72 à 79 jours, en zinc est de 28,0 mg/kg ($\pm 1,82$) et s'élève à 5,9 mg/kg ($\pm 0,42$) en cuivre (Rouffineau, 1997 ; Montrésor, 2000 ; Baeza et Leclercq, 1995, 1998). Les travaux récents, relatifs à l'analyse de la composition corporelle des canards Pékin, s'effectuent à un âge précoce. Timmler et Rodehutschord (2003) déterminent la teneur corporelle en protéines des canards Pékin à un âge de 21 jours, la concentration moyenne en protéines trouvée est de 14,89 % ($\pm 0,3$). Quant à Rodehutschord et al (2003), ils établissent la teneur corporelle moyenne en phosphore des canards Pékin âgés de 21 jours à 4 g/kg de poids vif ($\pm 0,67$). Aucune donnée relative à la composition corporelle des canards prêts à gaver ou gavés (Mulards) n'a été trouvée.

2.4. Autres espèces

2.4.1. Teneur en protéines

- Pintades

La concentration corporelle moyenne en protéines des pintades de souche Pearl Grey, proche des pintades communes (*Numida Meleagris*), âgées de 71 jours est de 22,1% ($\pm 0,02$), celles âgées de 127 jours ont une teneur de 24,0% ($\pm 1,57$) (Sales et al, 1997). Concernant les pintades de type standard et label couramment utilisées en France, aucune référence en protéines, phosphore et oligo-éléments n'a pu être trouvée.

- Autruches

Selon Cilliers et al (1998), la teneur corporelle moyenne en protéines, sans les viscères, est de 20,9%. Les concentrations en phosphore et oligo-éléments n'ont pu être recensées. Aucune référence récente relative à la teneur corporelle en protéines, phosphore et oligo-éléments des oies, cailles, perdrix, faisans et pigeons n'a été recensée.

2.5. Œufs

2.5.1. Teneur en protéines

La concentration moyenne en protéines des œufs de poules, sans leur coquille, est d'environ 10,7% ($\pm 1,24$), teneur calculée par rapport au poids de l'œuf entier (Nys et Sauveur, 2004, Shafer et al, 1998 ; Prochaska et al, 1996 ; Novak et al, 2004 ; Vieira et Moran, 1998). La coquille représente environ 0,2 point de la teneur en protéines de l'œuf entier (Ahmed et al, 2003 ; Nys, 1996). Par conséquent, la concentration moyenne en protéines des œufs entiers est de 10,9%, la référence CORPEN (1996) étant de 11,1%.

2.5.2. Teneur en phosphore

La teneur moyenne en phosphore des œufs entiers de poules est de 0,22% (Nys et Sauveur, 2004) pour une référence CORPEN (1997) de 0,215%.

2.5.3. Teneur en oligo-éléments

La concentration en métaux des œufs de poules est en zinc de 12,57 mg/kg d'œufs entier ($\pm 0,56$), en cuivre de 0,88 mg/kg ($\pm 0,1$) et en fer de 20,82 mg/kg ($\pm 3,46$) (Skrivan et al, 2005 ; Nys et Sauveur, 2004).

3. Le bilan

Des données globalement cohérentes avec les références CORPEN 1996-1997... Mais ...

Les références CORPEN relatives à la composition corporelle en protéines et phosphore, établies respectivement en 1996 et 1997, paraissent globalement cohérentes avec les données actualisées.

Néanmoins, les teneurs corporelles en protéines tendent à être plus faibles, et notamment chez le poulet de chair standard : 18,5 % en moyenne pour 20% retenu pour la référence CORPEN. Liée à l'âge, cette valeur est d'ailleurs de l'ordre de 17,5 à 18% pour des animaux âgés de 35 à 40 jours.

Les teneurs corporelles en phosphore sont également plus faibles chez la dinde (-1,6 g/kg) et chez le canard de Barbarie (-0,8 g/kg) comparées à la référence CORPEN.

Par ailleurs, cette étude permet de compiler des références relatives aux teneurs corporelles en oligo-éléments.

Quelles sont les conséquences de ces écarts sur les rejets avicoles ?

Pour les **poulets standard**, âgés de 33 à 44 jours, avec des performances techniques similaires (poids à l'abattage de 1,9kg, régime à 19% de MAT, indice de consommation de 1,8 et perte d'azote par volatilisation de 40%), les rejets calculés avec la référence CORPEN 1996, sont de 26 g d'azote à épandre par animal, alors qu'ils sont de 29 g avec la valeur actualisée, soit un écart relatif de 11%.

Concernant les **dindes standard**, avec des performances techniques équivalentes, les rejets en phosphore avec la référence CORPEN 1997 sont de 180 g de P₂O₅ à épandre par animal tandis qu'ils sont de 214 g avec la référence actualisée, soit une différence de 19%. Quant **aux canards de Barbarie**, avec un référentiel technique similaire, les rejets en phosphore avec la référence CORPEN sont de 75 g de P₂O₅ à épandre par animal alors qu'ils sont de 84,5 g avec la valeur modifiée, soit un écart relatif de 13%.

Ces résultats mettent en évidence une sous estimation des rejets mais ceci *pour un même référentiel technique*. Les rejets calculés ci-avant ne prennent pas en compte l'évolution des indices de consommation constatée dans les élevages, de même que les avancées techniques enregistrées ces dernières années.

Influences respectives de la génétique et des techniques d'élevage sur les rejets ?

La réduction des apports, l'emploi d'acides aminés de synthèse, de phytases, de chélates, etc.... contribuent à la réduction des rejets. L'amélioration de l'efficacité alimentaire est un des autres leviers majeurs. Après avoir enregistré de constantes améliorations, les indices de consommation stagnent, voire se détériorent, depuis 1995 (ITAVI, 2005). Pour les poulets standard âgés de 33 à 44 jours ainsi que les canards, il est observé une légère amélioration (Tableau 6), contrairement à l'indice des dindes qui se dégrade fortement. Quelles sont les conséquences de ces changements sur les rejets ? La diminution de l'indice de consommation des poulets standard de 4,8% permet une réduction de 9% des rejets azotés et de 8% des pertes en phosphore. En revanche, la dégradation de l'indice de consommation des dindes de 9%, due en partie à l'augmentation de problèmes sanitaires comme les entérites, entraîne une augmentation de 16% des rejets en azote et de 14% en phosphore.

Concernant l'azote, la part d'azote volatilisée dans les déjections reste encore mal connue et conditionne grandement la part d'azote à épandre. La volatilisation de l'azote est estimée approximativement à 40% pour les poulets et les dindes standard, à 30% pour les poulets label et à 60% pour les canards. De nombreux facteurs influencent les pertes d'azote par volatilisation : les conditions d'ambiance des bâtiments, les modalités de stockage des déjections, la densité des animaux, les types de litière et d'alimentation utilisés...

Afin de mesurer l'impact de chacun de ces facteurs, différentes simulations présentées dans le tableau 7, permettent de mesurer les rejets azotés chez le poulet de chair standard. La

diminution de la fixation des protéines corporelles de 20 à 18,5 % entraîne une augmentation des rejets de 10%. Une amélioration de l'efficacité alimentaire (2,0 à 1,6) engendre une baisse de rejets azotés de 14g N/animal, soit 64%. Enfin, à performances techniques équivalentes, un taux de volatilisation de l'azote de 30% comparé à 50%, entraîne 29% de rejets en plus. Ainsi, prendre en compte les paramètres techniques et connaître précisément le taux de volatilisation de l'azote au regard de la situation de l'élevage, paraît donc particulièrement important.

Tableau 6 : Comparaison des indices de consommation volailles de chair de 1995 et 2004

	Indices de consommation moyens		
	Ch. d'Agri., 1995	Ch. d'Agri., 2004	Evolution
Poulets standard (33-44 jours)	1,84	1,80	- 2,2%
Poulets label	3,02	3,11	+ 3,0%
Dindes	2,23	2,40	+ 7,6%
Canards de Barbarie	2,79	2,74	-1,8%

Tableau 7 : Influences respectives de la génétique et des techniques d'élevage sur les rejets en azote du poulet de chair standard, tous les autres paramètres fixés par ailleurs

Paramètre	Variation	Impact sur les rejets azotés
MAT aliment	18 à 20%	+ 26 %
Poids	1,6 à 2,0 kg	- 22 %
Teneur corporelle en protéines	18,5 à 20%	-10 %
IC	1,6 à 2,0	+ 64 %
Taux de volatilisation de l'azote	30 à 50%	- 29 %

Paramètres fixés : MAT aliment = 18,5%, IC=1,8, Poids moyen : 1,8 kg, Teneur corporelle en protéines : 18,5 %, Taux de volatilisation de l'azote : 40%

Conclusion

Ce travail met l'accent sur la nécessité de réactualiser les références relatives à la composition corporelle des volailles. De plus, il souligne le manque d'information concernant les palmipèdes, les pintades et l'évaluation des teneurs corporelle en oligo-éléments. Dans l'ensemble, les données recueillies concordent avec les références CORPEN (1996, 1997), excepté pour la concentration corporelle en protéines des poulets standards et celle en phosphore des dindes et des canards standard. Ces écarts de valeurs entraînent une sous estimation des rejets avicoles chez ces espèces. Cependant, les progrès techniques constatés ces dernières années permettent de réduire significativement ces rejets ce qui compensent notamment l'incidence des nouvelles références dans le calcul des rejets. Enfin, évaluer précisément la part d'azote volatilisée sera également un des enjeux majeurs de la prévention des risques de pollution agricole.

II.2. Acquisition de nouvelles références pour le dindonneau

Dans cette partie, nous cherchons à actualiser les éléments conditionnant l'excrétion, relatifs à au dindonneau : la digestibilité de l'azote et du phosphore en fonction de l'âge, et la composition corporelle à l'âge usuel d'abattage.

1. Digestibilité

L'objectif de cette étape est de mesurer la digestibilité : énergie, azote, acides aminés et phosphore de différents aliments variant par leurs teneurs en protéines et phosphore, afin d'une part de comparer les valeurs observées sur des animaux d'âge différents et d'autre part, de valider ou invalider les valeurs de digestibilité théoriques utilisées pour la formulation (Tables INRA, 2002). Ce travail est réalisé en complément de l'étude effectuée en 2004-2005 (cf Rapport OFIVAL Limitation des rejets azotés et phosphorés en élevage de dindes, 2005).

1.1. Matériel et méthodes

Les animaux utilisés pour ces mesures sont issus d'un même troupeau élevé au sol à la Station de Recherches Avicoles et recevant le même aliment. A l'âge de 8 semaines, 60 animaux sont transportés au domaine INRA du Magneraud. A réception, ils sont placés en cages individuelles à digestibilité et reçoivent l'un des 6 aliments Finition 1 (Tableau 8). Le schéma expérimental se décompose en une phase d'adaptation à l'aliment de 4.5 jours suivie d'une mise à jeun de 18 heures. L'aliment est à nouveau distribué pendant 54 heures avec contrôle de la consommation, puis les dindonneaux sont à nouveau mis à jeun pendant 18 heures. Une collecte individuelle des excréta est effectuée chaque jour pendant les 72 heures du bilan. Les excréta de chaque animal sont homogénéisés et pesés, puis un aliquote d'environ 45-60% de l'excrété total est prélevé et lyophilisé. Des mesures de matière sèche sont effectuées pour déterminer les quantités sèches totales excrétées.

Un protocole identique est pratiqué à l'âge de 12 semaines sur d'autres dindonneaux, toujours issus du même troupeau et nourris avec l'aliment A Finition 2, afin de mesurer les digestibilités des 6 aliments Finition 2.

Les aliments et tous les fécès sont analysés pour leurs teneurs en matière sèche, énergie brute et azote total et Terpstra (Tableaux 9 et 10). Pour les dosages d'acides aminés fécaux, 5 animaux par régime sont retenus parmi les 10 possibles sur la base de leur gain de poids, EMAn et CUDn.

La digestibilité des aliments est appréciée par la teneur en énergie métabolisable apparente à bilan azoté nul (EMAn) et la digestibilité apparente de l'azote (CUDn) avec traitement individuel des oiseaux, soit 10 répétitions par aliment. La digestibilité des acides aminés est calculée sur 5 animaux par régime.

1.2. Résultats

Ils sont présentés au tableau 11 pour ce qui concerne l'énergie métabolisable, la digestibilité des protéines et du phosphore. Les digestibilités des acides aminés pour les aliments finition 1 et 2 sont présentées au tableau 12.

La digestibilité de l'énergie, de l'azote et du phosphore des aliments finition 1 est indépendante du taux azoté de la ration et de sa teneur en phosphore. Les valeurs d'EMAn mesurées sont légèrement supérieures à 3300 kcal/kg de matière sèche, elles sont proches de la valeur de formulation (3050 kcal/kg de produit brut), compte tenu des valeurs de matière sèche des aliments. Il en est de même des aliments Finition 2 dont les digestibilités sont également indépendantes des teneurs en protéines et phosphore. La digestibilité de l'azote varie de 83% en finition 1 à 74% en finition 2.

Les variabilités des mesures pratiquées sont supérieures avec les animaux les plus âgés, quelque soit le critère retenu. Cette constatation est particulièrement vraie pour le phosphore, empêchant ainsi toute interprétation.

D'une manière générale, les digestibilités apparentes des principaux acides aminés des aliments finition 1 et 2 sont indépendantes des niveaux d'azote et de phosphore de la ration, exception faite de la leucine en finition 1. La digestibilité du tryptophane en finition 1 diminue légèrement ($p=0.09$) lorsque le taux azoté de la ration diminue, à l'inverse, celle de la lysine en finition 2 augmente ($p=0.07$) lorsque le taux azoté diminue. Toutes les digestibilités mesurées en finition 2 sont significativement inférieures à celles obtenues en finition 1, montrant ainsi un effet de l'âge très significatif.

Le tableau 13 présente les teneurs en acides aminés digestibles théoriques et mesurées des aliments distribués aux animaux. Les quantités digestibles ont été calculées en retenant les teneurs et les digestibilités mesurées des acides aminés pour les différents régimes ; pour les acides aminés soufrés, la teneur en Alimet[®] multipliée par 0.88 a été ajoutée aux quantités d'acides aminés soufrés digestibles. D'une façon générale, les valeurs mesurées sont toutes inférieures aux valeurs théoriques, quelle que soit la période d'élevage considérée. En finition 1, ces écarts sont de l'ordre de 10%, mais varient dans de grandes proportions selon les acides aminés : de quelques pourcents pour la lysine et les acides aminés soufrés à plus de 15% pour la leucine (régime D).

En finition 2, les valeurs théoriques sont aussi supérieures aux valeurs mesurées et les différences entre ces valeurs sont au minimum de 10% mais peuvent atteindre 20%, compte tenu de la baisse des digestibilités observées pour cette période d'élevage.

2. Composition corporelle

A J56, 8 dindons représentatifs du lot (poids vif moyen de 4kg) ont été euthanasiés (injection de penthobarbital), puis plumés à la main. Les carcasses ont été stockées à -20°C .

A J112, le même protocole a été appliqué avec 6 animaux du lot A (poids moyen=12.5kg) et 7 du B (poids moyen=12.6kg) (A= normo protéique, B=MAT plus faible)(Tableau 8).

Les carcasses ont été broyées grossièrement en totalité puis un premier aliquote de 3kg environ a été prélevé pour subir un broyage plus fin. En sortie de ce 2^{ème} broyage, un nouvel aliquote (1,2kg en moyenne) a été prélevé, stocké à -20°C , puis lyophilisé. La teneur en eau de la carcasse a été estimée par la perte en eau à la lyophilisation et lors d'une mesure de matière sèche sur le résidu lyophilisé.

Les plumes ont été broyées et la matière sèche analysée, ainsi que la teneur en protéines. Les carcasses lyophilisées ont été analysées pour leur teneur en MAT, lipides totaux, cendres et phosphore. Le tableau 14 donne la composition corporelle en ces éléments, de dindons à 112j ainsi que le gain en protéines, lipides, minéraux et cendres de ces mêmes dindons en fonction des deux aliments comparés.

La composition corporelle des dindonneaux n'est pas modifiée significativement par la teneur en protéines de l'aliment. En moyenne, la teneur corporelle en protéines est de 21g/kg poids vif et en phosphore de 5,2 g/kg poids vif, pour des animaux âgés de 112 jours. Ces résultats sont cohérents avec les résultats de la bibliographie, qui ont montré que la teneur corporelle en protéines est de 21-23g/kg poids vif et en phosphore, de 5,1 g/kg poids vif. La teneur corporelle en protéines se situe donc plutôt dans une fourchette basse.

Conclusion :

Ce travail permet de disposer de valeurs d'utilisation digestive de l'azote, de l'ordre de 83% à 8 semaines et de 74% à 12 semaines d'âge. Le critère 1-CUD N représentant la part d'azote rejetée pourrait être utilisée en formulation pour limiter les rejets. Pour le phosphore, il s'avère que la méthode de bilan utilisée n'est pas appropriée. Les valeurs de digestibilité des acides aminés utilisées en formulation (valeurs coq, tables INRA 2002) sont surestimées en phase finale d'élevage, les dindonneaux âgés valorisant moins bien les aliments. Une approche plus juste de la digestibilité, associée à une meilleure connaissance des besoins alimentaires, permettrait de limiter les rejets dans l'environnement durant cette période la plus « excrétrice ».

Par ailleurs, cette étude permet de préciser les teneurs corporelles du dindonneau en protéines et en phosphore, plus basses que les valeurs retenues par le CORPEN (1996, 1997), notamment pour le phosphore.

Tableau 8- Composition et caractéristiques calculés des régimes alimentaires expérimentaux (en g/kg) (digestibilité, INRA 2002)

COMPOSITION g/kg	FINITION 1						FINITION 2					
	A	B	C	D	E	F	A	B	C	D	E	F
Blé	200	200	200	200	200	200	250,00	221,15	192,30	250,00	250,00	221,17
Maïs	333	374	416	461	334	375	341	385	429	432	342	386
Tourteau soja	381	343	306	262	381	343	259	258	257	217	259	258
Huile colza	5,56	4,995	4,43	3,74	5,55	4,99	5	5	5	4,64	5	5
CaCO3	0,545	0,56	0,575	0,594	0,755	0,766						
Phosp, bicalcique	1,37	1,385	1,40	1,42	1,09	1,11						
Sel	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3						
Premix	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5						
Phytase	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15
Lysine HCl	0,05	0,16	0,27	0,392	0,05	0,16						
Alimet [®]	0,22	0,254	0,288	0,33	0,22	0,254						
Theonine		0,045	0,09	0,142		0,045						
Tryptophane				0,005								
Arginine				1,1						1,54		
Valine				0,52						0,75		
Isoleucine				0,3						0,37		
Energie Métabolisable, en Kcal/kg	3050	3050	3050	3050	3050	3050	3150	3150	3150	3150	3150	3150
MAT	224,46	212,25	200,1	187,83	224,45	212,19	214,97	203,86	192,73	177,56	215,03	203,92
Lysine	12,14	12,09	12,04	11,96	12,13	12,08	11,39	11,40	11,40	11,29	11,39	11,40
Acides Aminés Soufrés	8,56	8,54	8,52	8,51	8,56	8,54	8,36	8,37	8,37	8,28	8,37	8,37
Thréonine	8,41	8,32	8,22	8,12	8,40	8,31	7,75	7,66	7,57	7,46	7,76	7,66
Tryptophane	2,87	2,67	2,46	2,28	2,86	2,66	2,45	2,41	2,36	2,10	2,45	2,41
Leucine	17,96	17,11	16,26	15,27	17,96	17,11	19,64	17,71	15,79	14,27	19,64	17,72
Isoleucine	9,52	8,87	8,21	7,74	9,52	8,86	8,80	8,34	7,89	7,27	8,80	8,35
Valine	10,36	9,72	9,08	8,86	10,36	9,72	9,78	9,27	8,76	8,55	9,78	9,27
Arginine	14,46	13,40	12,34	12,17	14,46	13,39	12,35	12,10	11,85	11,76	12,35	12,10
Lysine dig	10,99	11,02	11,05	11,06	10,98	11,01	10,400	10,410	10,420	10,430	10,400	10,410
Acides Aminés Soufrés dig	7,83	7,86	7,88	7,93	7,83	7,86	7,710	7,720	7,730	7,720	7,710	7,720
Thréonine dig	7,43	7,40	7,36	7,32	7,43	7,39	6,870	6,790	6,710	6,700	6,870	6,795
Tryptophane dig	2,58	2,40	2,21	2,06	2,58	2,4	2,210	2,170	2,130	1,900	2,210	2,170
Leucine dig	16,66	15,90	15,13	14,25	16,67	15,9	18,470	16,560	14,650	13,280	18,480	16,570
Isoleucine dig	8,76	8,16	7,55	7,14	8,76	8,15	8,120	7,670	7,220	6,700	8,120	7,670
Valine dig	9,41	8,84	8,26	8,11	9,41	8,83	8,930	8,430	7,930	7,820	8,930	8,430
Arginine dig	13,27	12,30	11,33	11,26	13,27	12,29	11,370	11,120	10,880	10,900	11,370	11,125
Phosphore disp,	3,49	3,50 ³⁴	3,50	3,50	3,01	3,01	3,00	3,00	3,00	3,00	2,51	2,51

Tableau 9 : Résultats analytiques des aliments finition 1

	A	B	C	D	E	F
Matière sèche ¹ %	90,02	90,17	90,62	90,25	90,30	89,92
Matière sèche ² %	86,67	89,78	90,32	89,95	89,86	89,62
Matière sèche ³ %	91,00	91,18	91,53	91,17	91,84	91,24
Protéines brutes ¹ %	22,42	21,28	19,87	18,94	22,23	21,30
Protéines brutes ² %	22,44	21,13	20,05	18,90	22,66	21,20
Protéines brutes ³ %	23,01	21,59	20,48	19,53	22,91	21,72
LYS ¹ %	1,22	1,21	1,19	1,18	1,20	1,19
MET %	0,31	0,29	0,27	0,26	0,31	0,29
Alimet ⁴	0,228	0,240	0,281	0,350	0,232	0,256
Met, + Cys (Alimet ⁴ inclus)%	0,65 (0,85)	0,61 (0,82)	0,58 (0,83)	0,55 (0,86)	0,65 (0,86)	0,61 (0,84)
THR, %	0,83	0,82	0,80	0,79	0,83	0,81
TRP %	0,278	0,258	0,237	0,218	0,282	0,259
ALA %	1,03	0,97	0,93	0,88	1,03	0,97
ARG %	1,43	1,33	1,22	1,20	1,45	1,30
ILE %	0,95	0,88	0,81	0,78	0,95	0,86
LEU %	1,80	1,70	1,63	1,54	1,81	1,68
VAL %	1,02	0,95	0,90	0,88	1,03	0,95
HIS %	0,57	0,53	0,50	0,46	0,57	0,53
TYR %	0,74	0,70	0,66	0,62	0,77	0,70
PRO %	1,38	1,35	1,25	1,23	1,44	1,33
SER %	1,09	1,03	0,96	0,88	1,09	1,02
Phytase ⁵ (U/kg): Alim, farine	906	993	1012	1036	1013	916
Phytase ⁵ (U/kg): Alim, granulé	1105	1062	957	1033	1175	885

¹= mesurée par Ajinomoto-Eurolysine, ²= par INRA-SRA, ³= par INRA Magneraud, ⁴= Novus International, ⁵=DSM Nutritional products

Tableau 10 : Résultats analytiques des aliments finition 2

	A	B	C	D	E	F
Matière sèche ¹ %	95,08	90,86	96,77	96,36	95,62	95,56
Matière sèche ² %	90,51	90,09	90,01	90,56	90,85	90,14
Matière sèche ³ %	91,20	91,18	90,98	91,30	91,87	91,32
Protéines brutes ¹ %	22,61	20,60	20,64	19,23	22,87	21,46
Protéines brutes ² %	21,33	20,04	19,03	17,93	21,42	20,15
Protéines brutes ³ %	21,63	20,92	19,54	18,22	22,14	20,67
LYS ¹ %	1,15	1,13	1,15	1,14	1,13	1,14
MET %	0,32	0,29	0,29	0,26	0,33	0,30
Alimet ³	0,174	0,225	0,270	0,336	0,160	0,210
Met, + Cys (Alimet ⁴ inclus)%	0,66 (0,81)	0,61 (0,81)	0,61 (0,85)	0,55 (0,85)	0,67 (0,81)	0,62 (0,81)
THR, %	0,77	0,75	0,77	0,74	0,77	0,76
TRP %	0,254	0,242	0,246	0,218	0,258	0,249
ALA %	1,12	0,99	0,94	0,85	1,13	1,03
ARG %	1,24	1,19	1,21	1,20	1,25	1,22
ILE %	0,88	0,81	0,81	0,75	0,89	0,84
LEU %	1,99	1,75	1,64	1,47	2,01	1,80
VAL %	0,99	0,90	0,91	0,89	1,00	0,95
HIS %	0,53	0,49	0,50	0,44	0,53	0,51
TYR %	0,74	0,68	0,66	0,57	0,74	0,68
PRO %	1,47	1,27	1,23	1,16	1,50	1,38
SER %	1,05	0,97	0,96	0,84	1,05	0,99
Phytase ⁵ (U/kg): Alim, farine	1089	1054	856	617	920	872
Phytase ⁵ (U/kg): Alim, granulé	1143	1043	871	980	1114	1113

¹= mesurée par Ajinomoto-Eurolysine, ²= par INRA-SRA, ³= par INRA Magneraud, ⁴= Novus International, ⁵=DSM Nutritional products

Tableau 11 : Energie métabolisable (EMAn), digestibilité de l'azote (CUD N) et du phosphore (CUD P) des aliments expérimentaux

FINITION 1						
	MAT %	P, disponible %	Phytase	EMAn Kcal/Kg de matière sèche	CUD N %	CUD P %
A	22,5	0,35	Oui	3332±52	83,4±1,9	38,6±9,3
B	21,2	0,35	Oui	3335±69	83,5±1,8	39,2±6,8
C	20,0	0,35	Oui	3285±89	81,9±3,0	39,7±3,7
D	18,8	0,35	Oui	3333±57	83,0±1,9	43,0±4,8
Effet aliment				NS	NS	NS
A	22,5	0,35	Oui	3332±52	83,4±1,9	38,6±9,3
B	21,2	0,35	Oui	3335±69	83,4±1,8	39,2±6,8
E	22,5	0,30	Oui	3318±66	83,2±1,6	41,1±3,7
F	21,2	0,30	Oui	3318±44	82,3±2,0	42,3±1,5
Effet MAT				NS	NS	NS
Effet P				NS	NS	NS
Interaction				NS	NS	NS

FINITION 2						
	MAT %	P, disponible %	Phytase	EMAn Kcal/Kg de matière sèche	CUD N %	CUD P %
A	21,5	0,30	Oui	3377±70	74,0±2,1	5,4±10,9
B	20,4	0,30	Oui	3425±110	77,2±2,4	18,0±7,2
C	19,3	0,30	Oui	3450±76	74,7±2,1	8,2±7,9
D	17,8	0,30	Oui	3443±59	73,9±4,5	7,1±7,3
Effet aliment				NS	NS	NS
A	21,5	0,30	Oui	3377±70	74,0±2,1	5,4±10,9
B	20,4	0,30	Oui	3425±110	77,2±2,4	18,0±7,2
E	21,5	0,25	Oui	3415±57	76,5±3,6	20,1±12,5
F	20,4	0,25	Oui	3416±51	75,9±1,8	19,8±5,6
Effet MAT				NS	NS	NS
Effet P				NS	NS	NS
Interaction				NS	S	NS

Tableau 12 : Influence de l'aliment et de l'âge du dindonneau sur la digestibilité des acides aminés alimentaires

FINITION 1																				
Aliment	LYS	THR	MET	CYS	AAS	TRP	ALA	ARG	ASP	GLU	GLY	HIS	ILE	LEU	PHE	SER	TYR	VAL	PRO	
A	88	79,1	84,7	77,3	80,8	84,4	78,6	86,2	84,7	88,2	59,4	88,3	84,5	84,7a	85,1	83,7	84,1	81,7	84,5	
B	87,7	79,5	83,1	76,2	79,5	83,3	77,5	84,9	84,2	88	55,9	87,1	83,4	83,8a	84	83,1	83,6	80,9	84,1	
C	87,5	79,2	82,2	77,1	79,5	81,6	77,1	84,5	83,6	87,8	58,7	87	83,1	84,0a	84,2	82,6	83	80,9	83,1	
D	88,8	80,4	83,5	77	80,1	81,8	77,2	85,6	83,3	88	58,6	87,1	83,7	72,6b	84,3	82,4	83,6	81,8	83,9	
Effet Aliment	NS	NS	NS	NS	NS	P=0,09	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	S	NS	NS	NS	NS	NS	
A	88	79,1	84,7	77,3	80,8	84,4	78,6	86,2	84,7	88,2	59,4	88,3	84,5	84,7a	85,1	83,7	84,1	81,7	84,5	
B	87,7	79,5	83,1	76,2	79,5	83,3	77,5	84,9	84,2	88	55,9	87,1	83,4	83,8a	84	83,1	83,6	80,9	84,1	
E	87,5	79,2	84	78,3	81	83,3	78,3	87,1	85,5	88,4	60,2	88,8	85	86,3	85,8	84,1	85,1	82,7	85,2	
F	87,1	78,4	82,4	77,1	79,6	82,4	76,5	85,2	74,4	76,8	58,3	87,1	82,9	83,6	83,8	82,9	83,3	80,5	83,4	
Effet protéines	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	S	S	S	NS	S	NS	NS	S	NS	NS	NS	NS	
Effet P	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	S	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	
Interaction	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	S	S	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	
FINITION 2																				
Aliment	LYS	THR	MET	CYS	AAS	TRP	ALA	ARG	ASP	GLU	GLY	HIS	ILE	LEU	PHE	SER	TYR	VAL	PRO	
A	80,5	69,6	76,8	73	74,9	75,3	72,6	80,4	76,2	84,1	43,5	82,8	76,3	80,6	79,2	77,9	78,3	74,6	81,5	
B	83,8	73,3	79	75,4	77,1	78	74,3	82,6	79,7	85,9	49,5	84,7	78,9	82,1	81	79,7	80,2	76,6	80,8	
C	81,9	71	78,1	74,3	75,7	77,1	69	80,7	77,3	83,9	37,6	82,6	76,2	78,5	77,6	76,8	76,6	73,5	79,6	
D	83,7	73,5	77,1	74,6	77,5	79	69,8	83,2	77,3	84,6	48,5	82,6	77,9	79,3	78,4	77,3	76,9	76,6	80,3	
Effet Aliment	P=0,07	NS	NS	NS	NS	NS	p=0,07	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	
A	80,5	69,6	76,8	73	74,9	75,3	72,6	80,4	76,2	84,1	43,5	82,8	76,3	80,6	79,2	77,9	78,3	74,6	81,5	
B	83,8	73,3	79	75,4	77,1	78	74,3	82,6	79,7	85,9	49,5	84,7	78,9	82,1	81	79,7	80,2	76,6	80,8	
E	82	72,5	80,7	75,4	78	78,9	75,2	83	79,1	85,9	51,6	84,1	79,2	83	80,6	79,7	80,2	76,8	83,4	
F	82	70,8	77,8	74,1	75,9	76,7	71,6	81,6	77,2	84,3	46,3	83,3	77	79,9	78,6	77,7	77,1	74,9	80,9	
Effet protéines	S	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	
Effet P	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	
Interaction	NS	S	S	NS	S	S	S	S	S	S	NS	S	S	S	S	S	S	S	NS	
Effet Age																				
FINITION 1	87,8	79,3	83,3	77,2	80,1	82,8	77,5	85,6	82,6	86,2	58,5	87,6	83,8	82,5	84,5	83,1	83,8	81,4	84	
FINITION 2	82,3	71,8	78,2	74,5	76,5	77,5	72,1	81,9	77,8	84,8	46,2	83,4	77,6	80,6	79,2	78,2	78,2	75,5	81,1	
	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	NS	S	S	S	S	S	

Tableau 13 : Teneurs en acides aminés digestibles théoriques et mesurées des aliments expérimentaux

FINITION 1												
	A		B		C		D		E		F	
	Théorique	Déterminée	Théorique	Déterminée	Théorique	Déterminée	Théorique	Déterminée	Théorique	Déterminée	Théorique	Déterminée
LYS	10,99	10,74	11,02	10,61	11,05	10,41	11,06	10,47	10,98	10,5	11,01	10,37
SAA*	7,83	7,26	7,86	6,96	7,88	7,08	7,93	7,49	7,83	7,31	7,86	7,11
THR	7,43	6,57	7,40	6,52	7,36	6,34	7,32	6,35	7,43	6,57	7,39	6,35
TRP	2,58	2,35	2,40	2,15	2,21	1,93	2,06	1,78	2,58	2,35	2,40	2,13
LEU	16,66	15,25	15,90	14,25	15,13	13,69	14,25	11,18	16,67	15,62	15,90	14,04
ILE	8,76	8,03	8,16	7,34	7,55	6,73	7,14	6,53	8,76	8,08	8,15	7,13
VAL	9,41	8,33	8,84	7,69	8,26	7,28	8,11	7,2	9,41	8,52	8,83	7,65
ARG	13,27	12,33	12,30	11,29	11,33	10,31	11,26	10,27	13,27	12,63	12,29	11,08

FINITION 2												
	A		B		C		D		E		F	
	Théorique	Déterminée	Théorique	Déterminée	Théorique	Déterminée	Théorique	Déterminée	Théorique	Déterminée	Théorique	Déterminée
LYS	10,40	9,26	10,41	9,47	10,42	9,42	10,43	9,54	10,40	9,27	10,41	9,35
SAA*	7,71	6,47	7,72	6,68	7,73	7,00	7,72	7,22	7,71	6,64	7,72	6,56
THR	6,87	5,36	6,79	5,50	6,71	5,47	6,70	5,44	6,87	5,58	6,79	5,38
TRP	2,21	1,91	2,17	1,89	2,13	1,90	1,90	1,72	2,21	2,04	2,17	1,91
LEU	18,47	16,04	16,56	14,37	14,65	12,87	13,28	11,66	18,48	16,68	16,57	14,38
ILE	8,12	6,71	7,67	6,39	7,22	6,17	6,70	5,84	8,12	7,05	7,67	6,47
VAL	8,93	7,39	8,43	6,89	7,93	6,69	7,82	6,82	8,93	7,63	8,43	7,12
ARG	11,37	9,97	11,12	9,83	10,88	9,76	10,90	9,98	11,37	10,38	11,13	9,96

*=AAS analysés*digestibilité+Alimet*0.88

Tableau 14 : Composition corporelle du dindonneau

	Composition à 112 jours						Gain 56-112jours			
	Poids vif 112j (g)	Matière Sèche %	Protéines (%)	Lipides (%)	Minéraux (%)	Phosphore (%)	Protéines (g)	Lipides (g)	Minéraux (g)	Phosphore (g)
Lot A	12.66	36.9	21.2	11.6	3.29	0.53	1821	1306	282	45
Lot B	12.65	36.7	20.6	10.4	3.14	0.52	1741	1150	263	44
	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS

Plan de diffusion

- Perrot P., Bouvarel I., Lescoat I., 2006. Réactualisation des références relatives à la composition corporelle en protéines, phosphore et oligo-éléments des volailles: état des lieux et impact sur les rejets avicoles. STA à paraître.
- Prévion des composés azotés dans les litières, 7èmes JRA, soumission août 2005.
- Digestibilité chez le dindonneau, 7èmes JRA, soumission août 2005.

Références bibliographiques

- Ahmed A, Rodriguez-Navarro A, Vidal ML, Gautron J, Garcia-Ruiz JM, Nys Y, 2003. Effet de la mue sur la qualité de la coquille d'oeuf chez les poules âgées. Cinquièmes Journées de la Recherche Avicole, 477-480
- Aletor VA, Hamid II, Nieb E, Pfeffer E, 2000. Low protein amino acid supplemented diets in broiler chickens: effects on performance, carcass characteristics, whole body composition and efficiencies of nutrient utilisation. *J Sci Food Agri*, 80, 547-554.
- Aubert C, Aman G, Bouvarel I, Lubac S, Renault P, Valancony H, Blondel R, Conan S, Delabrosse C, Hamon JP, Quideau P, Vernon P, 2001. La réduction des rejets d'azote, de phosphore et de métaux. *Sci et Techn Av*, hors série, sept 2001, 39-41
- Aubert C, Gadais C, 2005. Caractérisation des fumiers issus de dindes à la sortie des bâtiments et estimation des rejets en azote et en phosphore. Sixièmes Journées de la Recherche Avicole, 112-116
- Baeza E, Leclercq B, 1995. Supplémentation des aliments de finition du caneton de barbarie par des acides aminés de synthèse. Premières Journées de la Recherche Avicole, 18-20.
- Baeza E, Leclercq B, 1998. Use of industrial amino acids to allow protein concentrations in finishing diets for growing Muscovy ducks. *Br Poult Sci* 39, 90-96.
- Bregendahl K, Sell JL, Zimmerman DR, 2002. Effect of low-protein diets on growy performance and body composition of broiler chicks. *Poult Sci* 81, 1156-1167.
- Carré B, Lessire M, Juin H, 1998. Bases d'évaluation de l'énergie nette des aliments pour les poulets en croissance. Rapport Contrat INRA-GERNA-Fonds SYPRAM Energie nette- poulets, 75p.
- Cardinale S, 1996. Programme energie nette volailles : résultats de croissance et bilans digestifs comparé de 28 régimes alimentaires complexes sur poulets de chair en croissance. Rapport, 109p.
- Chambre d'Agriculture. Volailles de chair. Résultats technico-économiques 2004-2005. [en ligne] Disponible sur <http://www.cra-normandie.fr/volaille/volaille.htm> Consulté le 9/04/2006
- CORPEN, 1996. Estimation des rejets d'azote par les élevages avicoles. 9p
- CORPEN, 1997. Estimation des rejets de phosphore par les élevages avicoles. 8p
- Cilliers SC, Hayes JP, Chwalibog A, Sales, Du Preez JJ, 1998. Determination of energy, protein and amino acid requirements for maintenance and growth in ostriches. *Ani Feed Sci Technol* 72, 283-293.
- Crespo N, Esteve-Garcia E, 2002. Dietary polyunsaturated fatty acids decrease fat deposition in separable fat depots but not in the remainder carcass. *Poult Sci* 81, 512-518.
- Euronutrition (GIE), 2002. Alimentation minérale et azotée - Gestion des rejets en élevages avicoles. Rapport 134p (le GIE Euronutrition est un GIE entre CCPA et TECHNIA).
- Fatufe AA, Timmler R, Rodehustcord M, 2004. Response to lysine intake in composition of body weight gain and efficiency of lysine utilization of growing male chickens from two genotypes. *Poult Sci* 83, 1314-1324.
- Fatufe AA, Rodehustcord M, 2005. Growth, body composition and marginal efficiency of methionine utilization are effected by noessential amino acid nitrogen supplementation in male broiler chicken. *Poult Sci* 84, 1584-1592.
- Gonzalez-Esquerra R, Leeson S, 2005. Effects of acute versus chronic heat stress on broiler response to dietary protein. *Poult Sci* 84, 1562-1569.
- Havenstein GB, Ferket PR, Scheideler SE, Rives DV, 1994a. Carcass composition and yield of 1991 versus 1957 type broilers when fed 'typical' 1957 and 1991 broiler diets. *Poult Sci* 73, 1795-1804.
- Havenstein GB, Ferket PR, Scheideler SE, Larson BT, 1994b. Growth, livability and feed conversion of 1991 versus 1957 type broilers when fed "typical" 1957 and 1991 broiler diets. *Poult Sci* 73, 1785-1794.
- Havenstein GB, Ferket PR, Qureshi MA, 2003a. Carcass composition and yield of 1957 versus 2001 broilers when fed representative 1957 and 2001 broiler diets. *Poult Sci* 82, 1509-1518.
- Havenstein GB, Ferket PR, Qureshi MA, 2003b. Growth, livability and feed conversion of 1957 versus 2001 broilers when fed representative 1957 and 2001 broiler diets. *Poult Sci* 82: 1500-1508.
- ITAVI, Gallot S., 2005. Performances technico-économiques en volailles de chair : résultats 2004 et évolution depuis 20 ans. Tendances des marchés oct 2005.

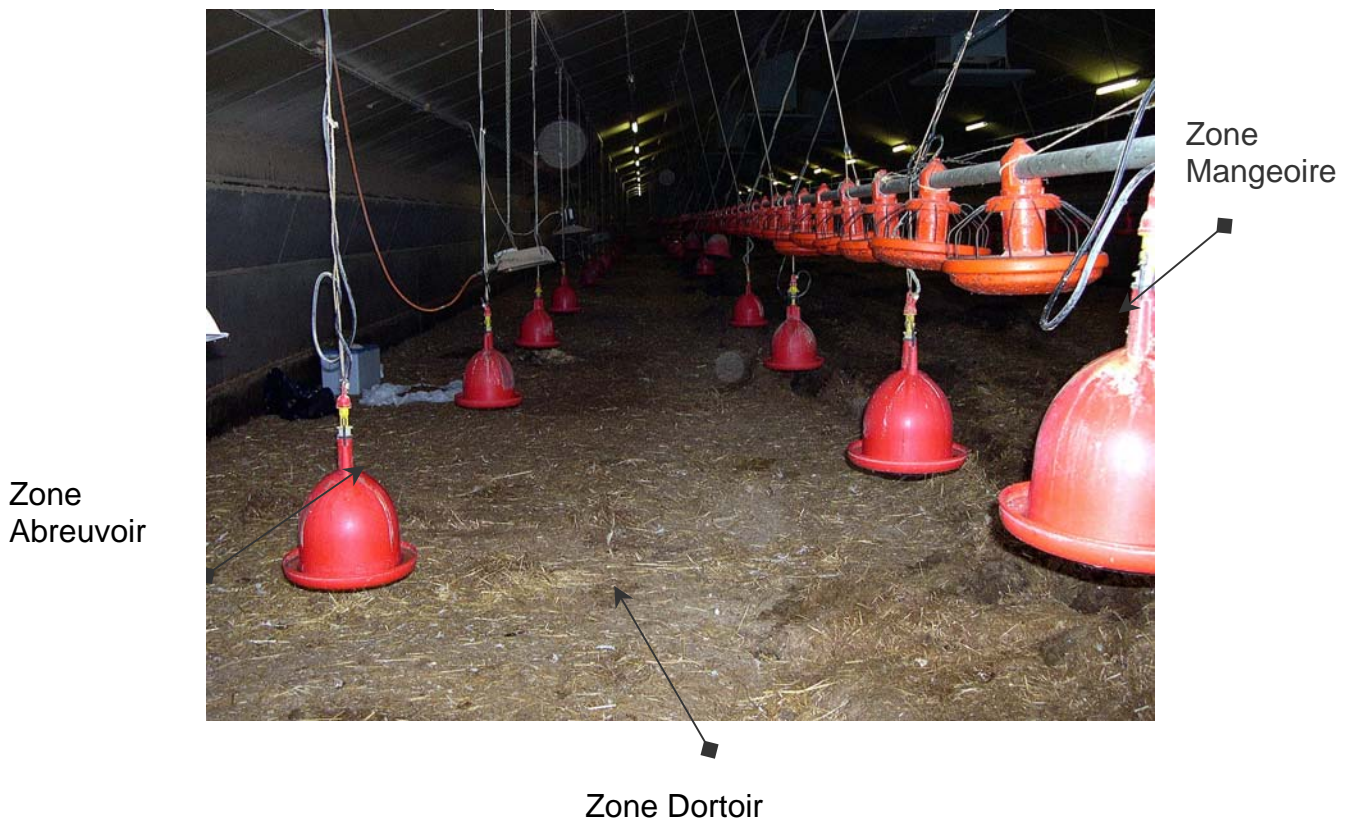
- Latshaw JD, Bishop B, 2001. Estimating body weight and body composition of chickens by using noninvasive measurements. *Poult Sci* 80, 868-873
- Mavromichalis I, Emmert JL, Aoyagi S, Baker DH, 2000. Chemical composition of whole body, tissues and organs of young chickens (*Gallus domesticus*). *J Food Comp and Anal* 13, 799-807.
- Melnichuk VL, Robinson FE, Renema RA, Hardin RT, Emmerson DA, Bagley LG, 1997. Carcass traits and reproductive development at the onset of lay in two lines of female turkeys. *Poult Sci* 76, 1197-1204.
- Mohanna C, Nys Y 1997. Variation de la composition des carcasses de poulets de chair en oligo-éléments (zinc, cuivre, zinc et manganèse) en fonction de l'âge, du sexe et de la lignée. Deuxième Journées de la Recherche Avicole, 181-184
- Mohanna C, Nys Y 1997. Influence of age, sex and cross on body concentrations of trace elements (zinc, iron, copper and manganese) in chickens. *Br Poult Sci* 39, 536-543.
- Mohanna C, 1998. Réduction par voie nutritionnelle du risque de phytotoxicité associé à la forte teneur en oligo-éléments dans les déjections du poulet de chair. Thèse Ecole doctorale ENSAR, 80p.
- Mohanna C, Nys Y, 1999. Effect of dietary zinc content and sources on the growth, body zinc deposition and retention, zinc excretion and immune response in chickens. *Br Poult Sci* 40, 108-114.
- Montresor C, 2000. Evaluation par bilan sur animaux du risque de toxicité des sols induit par les oligo-éléments supplémentés en alimentation avicole. Rapport de Maîtrise des Science de l'environnement Université F Rabelais Tours, 34p.
- Mousset D, 1997. Estimation des rejets en oligo-éléments (Cu, Zn, Mn) chez le poulet de chair par détermination de la composition corporelle et effet de l'apport alimentaire en zinc sur la rétention corporelle de zinc. Rapport de la MST CHIMAGRI Université de Poitiers, 35p.
- Novak C, Yakout H, Scheideler S, 2004. The combined effects of dietary lysine and total sulfur amino acid level on egg production parameters and egg components in dekalb delta laying hens. *Poult Sci* 83, 977-984.
- Nys Y, 1996. L'œuf et les ovoproduits. Actes du colloque ENSA. Qualité nutritionnelle de l'œuf et des ovoproduits. 24-27.
- Nys Y, Guivarc'h F, Mohanna C, 1997. Variation de la composition des carcasses de poulets de chair en phosphore, en fonction de l'âge, du sexe et de la lignée. Deuxième Journées de la Recherche Avicole, 177-180.
- Nys Y, Mohanna C, 1999. Réduction par voie nutritionnelle du risque de phytotoxicité associé à la forte teneur en Zn dans les déjections avicoles. Troisième Journées de la Recherche Avicole, 77-80.
- Nys Y., Rouffineau F., Guivarc'h F., 2003. Whole growing birds nitrogen and phosphorus composition. 14th Eur Symp Poult Nutr, Lillehammer (Norway), 135-136.
- Nys Y, Sauveur B, 2004. Valeur nutritionnelle des œufs. *INRA Prod Ani* 17, 385-393.
- Prochaska JF, Carey JB, Shafer DJ, 1996. The effect of L-Lysine intake on egg component yield and composition in laying hens. *Poult Sci* 75, 1268-1277.
- Quentin M, Bouvarel I, Bastianelli D, Picard M, 2004. Quels "besoins" du poulet de chair en acides aminés essentiels ? Une analyse critique de leur détermination et de quelques outils pratiques de modélisation. *INRA Prod Anim*, 17, 19-34.
- Renema RA, Robinson FE, Newcombe M, McKay RI, 1999. Effects of body weight and feed allocation during sexual maturation in broiler breeder hens. Growth and carcass characteristics. *Poult Sci* 78, 619-628.
- Rodehutschord M, Timmler R, Wendt P, 2003. Response of growing pekin ducks to supplementation of monobasic calcium phosphate to low-phosphorus diets. *Poult Sci* 82, 309-319.
- Rouffineau F, 1997. Les rejets azotés et phosphorés des volailles de chair. Estimation à partir de la composition corporelle des animaux vifs. Mémoire de fin d'études.
- Rouffineau F, Guivarc'h F, Nys Y, 1999. Actualisation de la composition corporelle en azote et phosphore des principales volailles de chair française. Conséquences sur les rejets des élevages. *Sci et Tech Avi* 27, 35-40.
- Sales J, Du Preed JJ, Van Niekerk SA, 1997. Chemical composition of Pearl Grey guinea fowl. *Br Poult Sci* 38, 223-224.
- Shafer DJ, Carey JB, Prochaska JF, Sams AR, 1998. Dietary methionine intake effects on egg component yield, composition, functionality and texture profile analysis. *Poult Sci* 77, 1056-1062.
- Sklan D, Noy Y, 2004. Catabolism and deposition of amino acids in growing chicks: effect of dietary supply. *Poult Sci* 83, 952-961.

- Sklan D, Noy Y, 2003. Crude protein and essential amino acid requirements in chicks during the first week posthatch. *Br Poult Sci*, 44, 266-274.
- Skrivan M, Skrivanova V, Marounek M, 2005. Effects of dietary zinc, iron and copper in layer feed on distribution of these elements in eggs, liver, excreta, soil and herbage. *Poult Sci* 84, 1570-1575.
- Stilborn HL, Moran ET, Gous RM, Harrison MD, 1997. Effect of age on feather amino acid content in two broiler strain crosses and sexes. *J Appl Poultry Res* 6, 205-209.
- Timmler R, Rodehutscord M, 2003. Dose-response relationships for valine in the growing white pekin duck. *Poult Sci* 82, 1755-1762.
- Vieira SL, Moran ET, 1998. Broiler chicks hatched from egg weight extremes and diverse breeder strains. *J Appl Poultry Res* 7, 392-402.
- Wiseman J, 1999. Growth of body components in broilers. *Proc Austr Poult Sci Sym.* 135-138.
- Wiseman J, Lewis CE, 1998. Influence of dietary energy and nutrient concentration on the growth of body weight and of carcass components of broiler chickens. *J of Agric Sci*, 131, 361-371.
- Wylie LM, Robertson GW, Hocking PM, 2003. Effects of dietary protein concentration and specific amino acids on body weight, body composition and feather growth in young turkeys. *Br Poult Sci* 44, 75-87.

ANNEXES

Annexe 1 : Modalités de prélèvement du fumier

1. Identification de 3 zones



2. Prélèvement



3. Homogénéisation du prélèvement



4. Prise d'échantillon



5. Mise en sac

Annexe 2 : Résultats obtenus sur les litières de dindes (d) et de poulets (ps)

c = composite ; i : individuel ; a : mangeoire ; m : mangeoire ; d : dortoir ; t : total

Num	nature	HUMB	HUM	MM	Nt	ADF	ADL	NH3	NH3b	AU	Ni	REC
001	d1 ca	53.9	3.9	13.9	5.49	35.7	8.8	0.66	0.97	2.37	2.02	92.0
002	d1 cm	46.5	4.5	15.1	5.60	32.6	8.2	0.76	1.03	2.25	2.17	92.3
003	d1 cd	43.3	3.1	16.4	4.97	34.1	9.4	0.64	0.86	1.77	2.39	96.7
004	d1 ct	46.3	7.3	16.6	5.29	40.5	12.2	0.77	0.92	2.07	2.04	92.3
005	d1 ia 1	53.3	4.0	14.0	5.50	34.9	8.6	0.66	0.77	2.42	1.92	90.8
006	d1 ia 2	44.7	3.3	15.0	4.56	40.5	10.6	0.63	1.10	1.55	2.00	91.7
007	d1 im 1	52.8	4.2	14.2	5.85	33.1	5.6	0.73	0.91	2.62	2.02	91.7
008	d1 im 2	47.5	8.1	15.4	5.28	34.0	8.5	0.83	1.02	2.11	2.09	95.2
009	d1 id 1	47.2	3.5	15.4	5.38	35.6	10.0	0.65	0.78	2.22	2.14	93.0
010	d1 id 2	29.3	3.6	17.4	4.05	30.7	7.2	0.66	0.70	0.85	2.54	99.9
011	d1 id 3	53.8	4.0	18.8	5.94	30.5	4.5	0.74	1.06	2.57	2.28	94.2
012	d1 id 4	25.7	9.2	18.6	3.95	38.4	10.3	0.78	0.72	0.64	2.25	92.7
091	ps1 cm 1	35.9	6.9	11.3	2.41	40.7	5.5	0.37	0.54	0.70	1.43	103.8
092	ps1 cd	34.5	8.1	12.5	2.97	39.5	7.7	0.42	0.49	0.85	1.69	99.8
093	ps1 ct	27.0	6.7	9.9	2.13	42.7	5.3	0.32	0.42	0.77	1.00	98.4
094	ps1 ia 1	36.5	4.2	14.1	3.04	35.5	5.3	0.34	0.55	0.74	2.13	105.6
095	ps1 ia 2	35.2	7.2	10.3	2.59	42.1	6.0	0.48	0.65	0.86	1.32	102.9
096	ps1 ia 3	36.8	3.5	9.9	1.75	43.9	4.9	0.23	0.36	0.58	1.13	110.6
097	ps1 ia 4	36.7	4.0	12.3	3.73	33.7	5.7	0.40	0.49	1.39	1.94	100.1
098	ps1 im 1	28.6	3.4	10.8	3.36	33.7	4.7	0.30	0.30	1.18	1.76	96.4
099	ps1 im 2	16.0	6.5	8.2	1.86	49.8	9.4	0.13	0.13	0.77	0.96	100.1
100	ps1 im 3	25.7	9.0	10.3	2.03	46.6	7.2	0.30	0.29	0.65	1.16	103.6
101	ps1 id 1	36.0	6.7	11.9	2.46	42.5	5.9	0.47	0.53	0.64	1.31	98.5
102	ps1 id 2	37.1	3.7	12.9	2.99	35.7	5.3	0.33	0.56	0.81	2.07	107.0
103	ps1 id 3	28.7	7.5	9.4	1.80	45.7	6.2	0.31	0.39	0.68	0.96	108.3
104	ps1 id 4	33.9	8.4	11.2	2.59	46.4	8.7	0.35	0.50	0.93	1.33	100.9
105	ps1 id 5	33.7	7.6	12.8	2.84	37.7	5.5	0.41	0.54	0.68	1.74	99.5
106	ps1 id 6	32.7	8.8	13.0	3.53	35.9	7.7	0.37	0.47	1.15	1.59	88.0
107	ps1 id 7	37.1	5.9	10.6	3.18	34.2	5.1	0.41	0.53	1.25	1.18	89.4
108	ps2 ca	14.1	4.1	6.7	1.40	50.5	7.4	0.18	0.16	0.47	1.00	117.6
109	ps2 cm	13.1	3.0	6.5	1.86	45.6	6.8	0.19	0.15	0.60	1.06	99.6
110	ps2 cd	40.3	2.9	12.5	2.91	36.8	6.2	0.30	0.67	0.63	2.16	106.7
111	ps2 ct	17.2	4.3	7.2	1.66	48.6	7.0	0.23	0.20	0.50	1.17	114.7
112	ps2 ia 1	19.6	5.8	7.9	1.71	46.6	7.1	0.24	0.23	0.49	1.15	109.9
113	ps2 ia 2	24.4	7.2	11.1	2.52	39.0	5.3	0.28	0.27	0.54	1.66	98.3
114	ps2 ia 3	21.3	7.0	8.8	1.96	44.0	6.7	0.29	0.23	0.50	1.34	108.2
115	ps2 ia 4	17.7	6.9	9.4	2.13	43.4	6.1	0.26	0.19	0.64	1.44	110.2
116	ps2 im 1	14.9	6.0	7.0	1.55	47.4	6.2	0.20	0.17	0.54	1.16	123.1
117	ps2 im 2	15.9	2.9	7.2	1.79	42.7	5.4	0.13	0.12	0.61	1.22	109.5
118	ps2 im 3	16.7	8.4	12.9	3.52	31.1	3.7	0.23	0.19	1.35	1.83	96.6
119	ps2 id 1	30.2	3.5	8.8	2.29	42.8	6.9	0.39	0.33	0.56	1.53	108.3
120	ps2 id 2	40.8	3.3	13.6	3.27	32.5	5.1	0.32	0.65	0.77	2.38	106.1
121	ps2 id 3	30.5	8.4	9.4	2.34	43.2	6.3	0.36	0.38	0.51	1.57	104.3
122	ps2 id 4	36.2	3.4	12.2	2.55	37.7	4.9	0.30	0.52	0.54	1.97	110.2
123	ps2 id 5	23.1	7.6	10.2	2.02	48.7	8.6	0.32	0.42	0.58	1.29	108.3
124	ps2 id 6	37.0	3.1	10.3	2.51	39.0	5.1	0.41	0.72	0.54	1.71	105.9
125	ps2 id 7	32.7	7.7	11.9	2.73	37.3	5.7	0.44	0.53	0.45	2.01	105.8
163	ps2 co 1	14.3	3.6	9.2	2.52	40.1	5.4	0.13	0.08	1.21	1.31	105.0
164	d1 co 1	39.5	2.1	17.6	3.16	46.1	13.0	0.57	0.80	0.56	1.83	93.7
165	ps1 co 1	12.2	7.1	12.3	2.94	34.8	5.0	0.16	0.08	1.27	1.60	103.1
166	ps1 co 2	14.9	7.0	9.4	2.25	36.8	4.7	0.14	0.10	1.10	1.54	123.9
167	d1 co 2	52.1	5.0	15.1	6.63	34.0	7.4	0.77	1.21	3.25	2.16	93.3
168	d1 ia 3	47.1	3.8	16.2	4.78	36.6	8.5	0.69	1.00	1.80	1.79	89.6
169	d1 co 3	22.8	8.4	14.0	4.09	37.6	9.4	0.65	0.55	0.82	2.28	91.8
170	d1 im 3	51.7	8.9	15.4	5.63	35.6	10.9	0.92	1.27	2.02	2.10	89.6
171	ps1 co 3	39.0	8.6	11.2	4.24	30.3	5.0	0.51	0.43	1.91	1.45	91.2
172	d1 co 4	66.5	4.5	17.6	4.70	33.3	9.0	0.64	0.85	1.04	2.86	96.5
173	d1 im 4	37.4	9.0	15.9	4.93	39.3	11.9	0.82	0.96	1.53	1.97	87.8
174	d1 co 5	22.7	8.4	13.3	4.04	41.2	10.9	0.60	0.50	0.99	2.09	91.1
175	d1 co 6	48.0	9.4	14.2	6.56	37.2	11.5	0.75	0.66	2.98	2.00	87.3
176	ps2 co 5	12.6	7.3	7.3	2.01	51.9	10.1	0.14	0.10	0.84	1.18	107.1
177	ps1 cm 2	30.1	3.4	10.3	2.99	34.6	4.6	0.24	0.35	1.20	1.61	102.2
178	ps2 co 2	22.6	8.1	11.4	2.36	49.6	11.0	0.22	0.23	0.62		
179	ps2 co 3	13.9	6.9	6.9	1.60	48.3	6.7	0.21	0.13	0.73		
180	d1 ia 4	55.9	9.7	15.1	5.94	31.0	7.9	0.89	0.93	2.77	2.03	95.8
181	d1 co 7	64.7	9.2	15.0	5.89	38.3	13.9	0.87	0.97	2.10	2.42	91.4
182	ps1 co 4	38.0	8.2	14.0	3.94	27.5	4.9	0.42	0.47	1.03	2.46	99.4
183	ps1 co 5	26.6	7.9	12.7	3.16	39.2	8.9	0.26	0.19	0.83		
184	ps2 co 4	25.8	7.9	10.7	2.36	44.1	6.9	0.42	0.45	0.45	1.30	92.1

Préparation des litières de volailles en vue de l'analyse

Objet : ce protocole concerne

- A. Les échantillons destinés à une analyse en frais parallèlement à un séchage + analyse en sec. Ce protocole était celui de la mise au point initiale de la méthode (estimation pertes NH₃)
- B. Les échantillons destinés à une analyse de routine, sur poudre sèche

A. Protocole pour l'analyse sur frais et analyse sur sec

1. Prélèvement d'un sous-échantillon représentatif

Les échantillons sont conservés congelés.

Pour les litières contenant majoritairement des fientes (cas des dindes), sortir les échantillons au moins 2 heures avant.

Mettre des gants.

Étaler le contenu du sachet sur la paille. Séparer grossièrement la paille des fientes. Découper la paille en segments de 1 à 2 cm à l'aide d'un cutter, émietter les parties de fientes congelées de manière à obtenir des morceaux de taille inférieure à 1 cm². Rassembler à nouveau la paille et les fientes et mélanger de façon la plus homogène possible.

Séparer grossièrement le mélange en 4 parties, et diviser à nouveau chaque partie en 4.

Prélever alors un sous-groupe par partie en prenant par exemple le groupe 2 de la partie 1, le groupe 3 de la partie 2

Rassembler les 4 sous-groupes, bien mélanger et diviser à nouveau comme précédemment.

Recommencer jusqu'à obtenir un échantillon de 60 à 80 grammes (il faut obtenir un échantillon sec d'environ 50 grammes).

2. Prélèvement d'un échantillon pour analyse sur frais

A ce stade, un sous-échantillon de 5 à 10g pour analyse sur frais peut être prélevé.

3. Acidification et séchage

Tarer un bac en porcelaine ou en aluminium, soit M_0 sa masse en grammes

Y étaler l'échantillon obtenu précédemment, peser l'ensemble. Soit M_1 leur masse en grammes.

A l'aide d'un pulvérisateur recouvrir l'échantillon d'acide chlorhydrique 0,3 M afin de l'humidifier suffisamment (pour les litières déjà humides, on ajoutera une quantité d'acide environ égale à la moitié du poids de l'échantillon, pour les litières très pailleuses, on ajoutera une quantité d'acide environ égale au poids de l'échantillon).

Mettre le bac dans une étuve ventilée à 60 °C pendant 24 heures.

Au bout de 24 heures, sortir le bac et le peser. Soit M_2 sa masse en grammes.

Le taux d'humidité de l'échantillon frais est :

$$\% HUM = 100 - \frac{(M_2 - M_0)}{(M_1 - M_0)}$$

4. Broyage

Broyer l'échantillon de manière à ce qu'il passe entièrement à travers une grille de 0,5 mm.
Conditionner l'échantillon dans un récipient hermétique.

B. Protocole pour l'analyse de routine sur sec

L'analyse de routine se fait à partir de l'échantillon dès son prélèvement, avec seulement les points 3 et 4 de la partie A. L'échantillon séché est plus volumineux ; le sous échantillonnage peut se faire de manière très simple sur poudre sèche.

