


4.3.5 Données d'activité	Flux et calculs intermédiaires pour obtenir les pertes en azote et en matière organique des animaux d'élevage	
--------------------------------	--	---

Rédacteurs : Sandrine Espagnol (IFIP), Vincent Blazy (ITAVI), Armelle Gac et Elise Lorinquer (Idele)

Cette fiche a pour objectif de présenter les différentes approches possibles pour mettre en œuvre les calculs de pertes en azote et en matière organique des animaux d'élevage. Les calculs doivent être adaptés à la disponibilité et la qualité des données à disposition.

Contenu

1. Préambule	2
2. Calcul de l'ingestion.....	2
2.1. Bovins	2
2.1.1. Matière sèche ingérée.....	2
2.1.1. Azote et Matière organique totale ingérée.....	5
2.2. Autres herbivores	6
2.3. Porcins	7
2.4. Volailles	7
3. Calcul des éléments fixés (croissance, production)	8
3.1. Bovins	8
3.1.1. Calcul de la production laitière corrigée	8
3.1.2. La production brute de viande vive.....	9
3.1.1. Azote fixé par les herbivores	9
3.2. Porcins	10
3.3. Volailles	10
4. Calcul de l'excrétion	11
4.1. Le cas des bovins	11
4.1.1. Calcul de l'azote excrété.....	11
4.1.1. Calcul de la matière organique non digestible.....	12
4.2. Porcins	16
4.3. Volailles	17
5. Références bibliographiques.....	18

1. Préambule

Deux options peuvent être prises pour déterminer les éléments azote (N) et matière organique (MO) excrétés par les animaux qui servent ensuite à déterminer les émissions des déjections sur toute la chaîne, respectivement azotées (ammoniac, protoxyde d'azote) et carbonées (méthane). Si l'utilisateur n'a pas d'information très précise sur les pratiques d'élevage (alimentation, type d'effluents produits, taux de paillage...), il est nécessaire d'utiliser des valeurs forfaitaires et/ou appliquer des facteurs d'émissions de niveau 1 (souvent à l'animal). Si on dispose d'une information plus précise des pratiques d'élevage dans ce cas il peut être intéressant de réaliser une évaluation spécifique à l'élevage ou au territoire pour déterminer les éléments N et MO excrétés.

Pour l'azote, il faudra réaliser le calcul suivant : Excrété = Ingéré – fixé par l'animal. L'explication par filière est détaillée dans les paragraphes suivants. Pour la matière organique, les calculs gèreront davantage la partie de l'énergie brute ingérée qui n'aura pas été digérée et/ ou érucitée via les fermentations entériques et qui donnera la matière organique excrétée (non digestible).

2. Calcul de l'ingestion

2.1. Bovins

2.1.1. Matière sèche ingérée

Afin de pouvoir calculer l'azote ingéré et la matière organique ingérée, il est nécessaire de déterminer au préalable la matière sèche ingérée. Celle –ci se compose de fourrages (conservés et herbe pâturée) et de concentrés. La matière sèche ingérée est calculée par catégorie animale.

Les calculs ci-dessous sont ceux retenus pour l'outil CAP2ER® de diagnostic environnemental en élevage de ruminants (Institut de l'Élevage, 2018).

2.1.1.1. MSI en concentrés

La quantité de concentrés doit être récupérée à l'échelle de l'analyse que l'on souhaite réaliser / ou selon les données disponibles pour l'analyse. Ainsi à partir de la ration moyenne des animaux (par catégorie animale), il faudra se référer aux tables et valeurs de références de chaque aliment qui composent la ration, si les analyses ne sont pas disponibles.

2.1.1.2. MSI en fourrages (conservés et herbe pâturée)

Le calcul de la matière sèche ingérée en fourrages (conservés et herbe pâturée) se fait différemment selon la catégorie animale considérée.

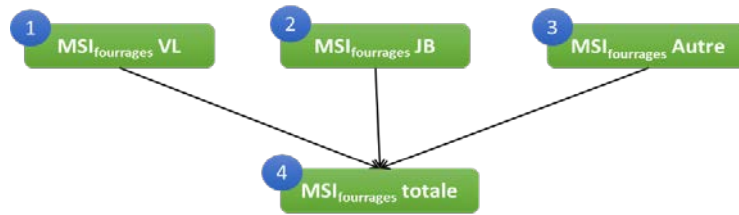


Figure 1 : Etapes pour le calcul de la matière sèche ingérée en fourrages (conservés et herbe pâturée) (source : Idele, 2018)

1 Calcul de la matière sèche ingérée en fourrages pour les vaches laitières

La matière sèche ingérée en fourrages des vaches laitières ($MSI_{fourrages\ VL}$) est calculée grâce à la formule de la capacité d'ingestion. Cette formule permet de prendre en compte la substitution du fourrage par le concentré (Institut de l'Élevage, 2010).

$$MSI_{fourrages\ VL} (T\ MS/VL/an) = (2921 + 0,722 * (PL_{VL} (\text{litres bruts}/VL/an) * 1,033) + (3,57 * PV_{VL} (\text{kg vif})) - (1,04 * MSI_{concentrés\ VL} (\text{kg brut}/VL/an)) - (3254 * UFL_{fourrages})^2) - (0,1975 * (PL_{VL} (\text{litres bruts}/VL/an) * 1,033) * UFL_{fourrages}) / 1000$$

Où

$UFL_{fourrages}$: la teneur en UFL des fourrages est variable de 0.80 à 0.95 UFL/kg de MS. Cependant, pour des systèmes avec une ration mixte pâture/ensilage de maïs, elle se situe aux alentours de 0.90.

Équation 1: Calcul de la matière sèche ingérée en fourrages des vaches laitières (Institut de l'Élevage, 2010)

2 Calcul de la matière sèche ingérée en fourrages pour les jeunes bovins

La matière sèche ingérée en fourrages des jeunes bovins ($MSI_{fourrages\ JB}$) est déterminée par des références, puisque leur alimentation est relativement standardisée selon les races. Ces références (Tableau 1, Tableau 2, Tableau 3) se basent sur la quantité de concentrés ingérés car, comme pour les vaches laitières, cela permet de prendre en compte la substitution du fourrage par le concentré.

Tableau 1: Ingestion en fourrages des jeunes bovins laitiers (Institut de l'Élevage, Chambre d'agriculture de Bretagne, Arvalis, 2011)

MSI _{fourrages} JB lait					
Consommation en concentrés	≤2,5 kg bruts/JB/jour	>2,5 et ≤3,5 kg bruts/JB/jour	>3,5 et ≤4,5 kg bruts/JB/jour	>4,5 et ≤5,5 kg bruts/JB/jour	>5,5 kg bruts/JB/jour
Ingestion en fourrages des JB 0-1 an <i>T MS/JB/an</i>	1,4	1,1	0,5	0,5	0,3
Ingestion en fourrages des JB 1-2 an <i>T MS/JB/mois</i>	0,25	0,22	0,15	0,15	0,07

Tableau 2: Ingestion en fourrages des jeunes bovins allaitants de race Charolaise (Institut de l'Élevage, Chambre d'agriculture de Bretagne, Arvalis, 2011)

MSI _{fourrages} JB allaitants Charolais				
Consommation en concentrés	≤3 kg bruts/JB/jour	>3 et ≤4,5 kg bruts/JB/jour	>4,5 et ≤5,5 kg bruts/JB/jour	>5,5 kg bruts/JB/jour
Ingestion en fourrages des JB 0-1 an <i>T MS/JB/mois</i>	0,19	0,15	0,11	0,061
Ingestion en fourrages des JB 1-2 an <i>T MS/JB/mois</i>	0,25	0,21	0,15	0,061

Tableau 3: Ingestion en fourrages des jeunes bovins allaitants de race Limousine (Institut de l'Elevage, Chambre d'agriculture de Bretagne, Arvalis, 2011)

MSI _{fourrages} JB allaitants limousin				
Consommation en concentrés	≤3 kg bruts/JB/jour	>3 et ≤4,5 kg bruts/JB/jour	>4,5 et ≤5,5 kg bruts/JB/jour	>5,5 kg bruts/JB/jour
Ingestion en fourrages des JB 0-1 an <i>T MS/JB/mois</i>	0,13	0,11	0,11	0,04
Ingestion en fourrages des JB 1-2 an <i>T MS/JB/mois</i>	0,19	0,16	0,16	0,04

3

Calcul de la matière sèche ingérée en fourrages pour les autres catégories animales

Pour toutes les autres catégories animales (vaches allaitantes, génisses laitières et allaitantes, bœufs), le calcul de la matière sèche ingérée en fourrages (MSI_{fourrages} Autres) se fait sur la base du poids métabolique (Poids^{0,75}), journalier, tel que détaillé ci-dessous.

$$\text{MSI}_{\text{fourrages Autres}} (\text{T MS}/\text{tête}/\text{an}) = ((\text{PV (kg vif)})^{0,75} * 0,095 / 1,05 * \text{Tps_présence (jours)}) / 1000$$

Où

1,05 : correspond à l'encombrement moyen des fourrages distribués. Il est considéré que pour ces catégories animales, le fourrage est de moins bonne qualité (1,05 UFL) que pour les vaches laitières (0,9 UFL).

0,095 : correspond aux besoins en UFL/kg de poids des vaches allaitantes, génisses et autres mâles

Tps_présence = durée de présence effective de la catégorie animale considérée. Par exemple, une vache laitière est présente 365 jours/an en moyenne ; une génisse de 2-3 ans vêlant à 30 mois est présente 182 jours/an.

Équation 2 : Calcul de la matière sèche ingérée en fourrages des autres catégories animales (INRA, 2007)

4

Calcul de la matière sèche ingérée en fourrages totale

$$\text{MSI}_{\text{fourrages totale}} (\text{T MS/an}) = \text{MSI}_{\text{fourrages VL}} (\text{T MS/tête/an}) * \text{Eff}_{\text{moyen, VL}} + \text{MSI}_{\text{fourrages JB}} (\text{T MS/tête/an}) * \text{Eff}_{\text{moyen, JB}} + \sum_i \text{MSI}_{\text{fourrages Autres}_i} (\text{T MS/tête/an}) * \text{Eff}_{\text{moyen, } i}$$

Où $\text{Eff}_{\text{moyen, } i}$ est l'effectif moyen par catégorie animale mais non pondéré.

Équation 3 : Calcul de la matière sèche ingérée en fourrages totale à l'échelle de l'exploitation

2.1.1. Azote et Matière organique totale ingérée

L'azote ingéré se calcule à partir de la matière sèche ingérée en fourrages et en concentrés et de la teneur en MAT (Matière Azotée Totale) des différents types d'aliments composant la ration (INRA, 2018). Le calcul se fait par catégorie animale.

$$\text{N}_{\text{ingéré}} (\text{kg N/tête/an}) = [\sum_j (\text{MSI}_{\text{fourrage } j} (\text{T MS/tête/an}) * \text{Teneur MAT}_{\text{fourrage } j} (\text{g N/kg MS})) + \sum_j (\text{MSI}_{\text{concentré } j} (\text{kg brut/tête/an}) * \text{Teneur MAT}_{\text{concentré } j} (\text{g N/kg brut})) / 1000] / 6,25$$

Où :

j = type d'aliment

Teneur MAT : Teneur en MAT de chaque type d'aliment (cf Annexe 2).

6,25 : permet de passer des kg de MAT à des kg N.

Équation 4 : Estimation de l'azote ingéré par les animaux (INRA, 2007)

Chaque aliment possède également une valeur en MO (en g/kg). Pour calculer la MO de la ration il suffit de sommer les quantités d'aliments (en MS) qui composent la ration en pondérant chacun d'eux par leur propre teneur en MO.

$$\text{MO}_i (\text{kg N/tête/an}) = [\sum_j (\text{MSI}_{\text{fourrage } j} (\text{T MS/tête/an}) * \text{Teneur MO}_{\text{fourrage } j} (\text{g N/kg MS})) + \sum_j (\text{MSI}_{\text{concentré } j} (\text{kg brut/tête/an}) * \text{Teneur MO}_{\text{concentré } j} (\text{g N/kg brut})) / 1000]$$

Où :

i = catégorie animale

j = type d'aliment

Teneur MO : Teneur en MO de chaque type d'aliment

Équation 5 : Estimation de la matière organique ingérée (INRA, 2007)

2.2. Autres herbivores

Pour les autres herbivores, les lignes directrices du guide IPCC 2006, préconise une estimation de niveau 1, c'est-à-dire mobilisant des données forfaitaires qui sont précisées dans la fiche faisant la synthèse des facteurs d'émissions.

Pour les ovins, une approche de niveau 2 est également proposée dans ce même guide. Elle est caractérisée par l'énergie brute, qui prend en compte l'énergie nécessaire à un animal pour survivre et subvenir à des activités comme la croissance, la lactation et la gestation.

$$EB = \frac{\frac{ENa + ENs + Enl + ENg}{TES} + \frac{ENCce + ENlaine}{TEC}}{\frac{DA\%}{100}}$$

Où :

EB = énergie brute, MJ jour⁻¹

ENa = énergie nette nécessaire aux activités de l'animal, MJ jour⁻¹ (équations 10.4 et 10.5 du guide IPCC 2006)

ENs = énergie nette requise par l'animal pour sa survie, MJ jour⁻¹ (équation 10.3 du guide IPCC 2006)

ENl = énergie nette nécessaire à la lactation, MJ jour⁻¹ (équations 10.8, 10.9 et 10.10 du guide IPCC 2006)

ENg = énergie nette nécessaire à la gestation, MJ jour⁻¹ (équation 10.13 du guide IPCC 2006)

TES = taux d'énergie nette disponible dans l'alimentation pour la survie par rapport à l'énergie digestible consommée (équation 10.14 du guide IPCC 2006) 10.24 Lignes directrices 2006 du GIEC pour les inventaires nationaux de gaz à effet de serre

ENCce = énergie nette nécessaire à la croissance, MJ jour⁻¹ (équations 10.6 et 10.7 du guide IPCC 2006)

ENlaine = énergie nette nécessaire à la production d'une année de laine, MJ jour⁻¹ (équation 10.12 du guide IPCC 2006)

ENtravail = énergie nette nécessaire au travail, MJ jour⁻¹ (équation 10.11 du guide IPCC 2006)

TEC = Taux d'énergie nette dans l'alimentation disponible à la croissance par rapport à l'énergie digestible consommée (équation 10.15 du guide IPCC 2006)

DA % = énergie digestible exprimée sous forme de pourcentage d'énergie brute

Équation 6 : Estimation de l'énergie brute nécessaire aux autres herbivores (IPCC, 2006)

Une fois qu'on a calculé les valeurs d'EB de chaque sous-catégorie animale, on devra également calculer la consommation d'alimentation en unités de matière sèche par jour, en kilogrammes (kg jour⁻¹). Pour convertir l'EB en unités d'énergie en consommation de matière sèche (CMS), diviser EB par la densité énergétique de l'alimentation. Une valeur par défaut de 18,45 MJ kg⁻¹ de matière sèche peut être utilisée si l'on ne dispose pas d'informations spécifiques à l'alimentation. Le résultat, la consommation de matière sèche quotidienne, devra être de l'ordre de 2 à 3 % du poids corporel des animaux adultes ou en croissance.

2.3. Porcins

Le calcul de l'ingestion en porc nécessite de connaître la quantité d'aliments consommés et la composition alimentaire au cours de la vie de l'animal. Les animaux consomment plusieurs aliments au cours de leur croissance : on parle d'alimentation par phase. Par exemple, les porcs charcutiers ont majoritairement une alimentation biphasé avec un aliment croissance puis un aliment finition.

Pour ce qui est de la quantité consommée, elle est fournie par les performances techniques des ateliers porcins avec :

- Pour les porcs en croissance, l'indice de consommation (exemple indice de consommation sevrage vente de la GTE 2015 pour les naisseurs - engraisseurs : 2.48 kg d'aliments pour 1 kg de croît)
- Pour les truies, la quantité d'aliments annuels consommée par truie (exemple pour les élevages naisseur engraisseur de la GTE 2015 : 1218 kg / truie présente).

Des références de compositions des aliments pour une alimentation biphasé sont fournies par le RMT élevages et environnement (2016).

Tableau 4 : Teneurs en protéines des aliments dans le cadre d'une conduite alimentaire biphasé, suivant les recommandations du RMT élevages et environnement (2016)

		Protéines (%)
Truies reproductrices	Aliment gestation	14
	Aliment lactation	16.5
Post-sevrage	Aliment 1 ^{er} âge	20
	Aliment 2 ^{ème} âge	18
Engraissement	Aliment croissance	16
	Aliment finition	15

2.4. Volailles

Le calcul de l'ingestion en volaille nécessite de connaître la quantité d'aliments consommés et la composition alimentaire au cours du lot. Les animaux consomment en général plusieurs aliments au fil de leur croissance, par exemple pour les poulets de chair standards, un aliment démarrage, un croissance et un finition. On obtiendra une estimation des éléments ingérés la plus précise possible si on connaît la composition de chaque aliment et la quantité consommée à chaque phase alimentaire.

Les caractéristiques de l'aliment sont traditionnellement les concentrations en Matière Azotée Totale (MAT), phosphore total, potassium, calcium, zinc et cuivre, exprimées en % de poids bruts ou en mg/kg de poids brut.

En filière volaille, les éleveurs sont en majorité intégrés à des groupements de production qui leur fournissent les aliments. Les recettes et les conduites alimentaires sont optimisées au niveau des

teneurs en nutriments et des prix des matières premières qui les composent. De fait, l'alimentation est un secteur concurrentiel où il n'est pas toujours évident d'obtenir des données de composition.

L'ITAVI propose des données moyennes pondérées de compositions alimentaires (pour les productions les plus courantes en volailles de chair, palmipèdes à gaver et reproducteurs) utilisées par les professionnels en 2010-2011 dans son document de 2013 : *Estimation des rejets d'azote – phosphore – potassium calcium - cuivre – et zinc par les élevages avicoles (pages 21-22)*.

Si l'éleveur dispose d'informations plus précises notamment sur la teneur en MAT, phosphore, potassium, calcium, cuivre et zinc de chacun des aliments de son plan d'alimentation, il est possible de calculer l'ingestion de façon plus juste. Ces informations (MAT et teneurs en éléments de chaque aliment, quantité consommée) peuvent être entrées par l'éleveur dans le calculateur Bilan Réel Simplifié pour calculer l'ingestion.

De façon encore plus précise, il est possible de simuler une courbe d'ingestion (prenant en compte l'indice de consommation) et de calculer l'ingestion au jour le jour du cheptel, ingestion qui sera à mettre en parallèle avec la croissance et la mortalité notamment.

3. Calcul des éléments fixés (croissance, production)

3.1. Bovins

3.1.1. Calcul de la production laitière corrigée

La production laitière (lait produit, vendu, autoconsommé, donné aux veaux et jeté) est nécessaire au calcul afin de déterminer une quantité d'éléments (N, MO) exportée/fixée via les produits animaux (lait, viande, jeunes). Une fois-celle-ci renseignée, on peut calculer la production laitière corrigée selon la formule suivante :

$$PL_{\text{corrigée}} \text{ (litres corrigés/an)} = PL_{\text{brute}} \text{ (litres bruts/an)} * (0,1226 * \%MG + 0,076 * \%Protéine \text{ vraie} + 0,2534)$$

Où

$PL_{\text{brute}} = \text{Lait vendu (litres)} + \text{Lait autoconsommé (litres)} + \text{Lait donné aux veaux (litres)} + \text{Lait jeté (litres)}$

$\%MG = \% \text{ de matière grasse} = TB \text{ (g/kg)} / 10$

$\%Protéine \text{ vraie} = TP \text{ (g/kg)} / 10$

Équation 7 : Calcul de la production laitière corrigée (FIL, 2010)

Ainsi, ce calcul permet d'obtenir un lait corrigé avec un taux butyreux de 40 g/kg et un taux protéique 33 g/kg.

Lait donné aux veaux/autoconsommé/jeté

Cette donnée peut être calculée par l'utilisateur de la façon suivante :

$$\text{Lait donné aux veaux/autoconsommé/jeté (litres bruts/an)} = (\text{Conso_lait_veau_m\^ale} * \text{Nb_VL} * \text{Sexe_ratio}) + (\text{Conso_lait_g\^enisse} * \text{Nb_g\^enisses})$$

Où

Conso_lait_veau_m\^ale = Consommation de lait pour un mâle vendu à 8 – 15 jours = 50 litres bruts

Conso_lait_g\^enisse = Consommation de lait pour une génisse = 450 litres

Sexe_ratio = Sexe ration mâles/femelles = 0.5

Nb_VL = Nombre moyen de vaches laitières présentes sur l'année renseignées

Nb_g\^enisses = Nombre de génisses ayant v\^elées sur l'année étudiée (primipares)

Équation 8 : Calcul du lait donné aux veaux/autoconsommé/jeté (Source : Idele et partenaires Carbon Dairy, Dires d'expert)

3.1.2. La production brute de viande vive

La Production Brute de Viande Vive (PBVV) est le critère technique qui caractérise le mieux la performance de l'atelier allaitant ou viande en général (Idele, 2012). La PBVV se calcule de la façon suivante :

$$\text{PBVV (kg/an)} = \text{Inventaire fin (kg/an)} - \text{Inventaire début (kg/an)} + \text{Ventes (kg/an)} - \text{Achats (kg/an)}$$

Où

Inventaire début = $\sum_{\text{catégorie animale } i} \text{Eff début}_i \text{ (têtes)} * \text{Poids début}_i \text{ (kg vifs/tête)}$

Inventaire fin = $\sum_{\text{catégorie animale } i} \text{Eff fin}_i \text{ (têtes)} * \text{Poids fin}_i \text{ (kg vifs/tête)}$

Ventes = $\sum_{\text{catégorie animale } i} \text{Eff vente}_i \text{ (têtes)} * \text{Poids vente}_i \text{ (kg vifs/tête)}$

Achats = $\sum_{\text{catégorie animale } i} \text{Eff achat}_i \text{ (têtes)} * \text{Poids achat}_i \text{ (kg vifs/tête)}$

Équation 9 : Calcul de la production brute de viande vive (Institut de l'Élevage, 2012)

Le poids des animaux est converti en kg vifs. Les dates d'inventaires doivent encadrer au mieux une période de v\^elages, ainsi que les ventes annuelles des animaux pour éviter les variations trop importantes. La PBVV / UGB est l'indicateur le plus pertinent pour mesurer la productivité du troupeau et comparer au sein d'un même système les exploitations entre elles.

3.1.3. Azote fixé par les herbivores

La quantité d'azote fixé est évaluée par catégorie animale sur la base de l'azote fixé dans la viande ou dans le lait produit. Pour les vaches laitières, l'azote fixé par la production laitière est pris en compte, ainsi que l'azote fixé par le veau pendant la phase de gestation. Pour toutes les autres catégories animale, l'azote fixé par la production viande sur la période considérée est pris en compte.

$$N_{\text{fixé, VL}} \text{ (kg N/tête/an)} = [(PL_{\text{VL}} \text{ (litres bruts/VL/an)} * 1,033 * TP \text{ (g/kg)}) / (0,9 * 6,38)] / 1000 + N_{\text{viandeBL}} \text{ (kg N/kg vif)} * PV_{\text{veau}} \text{ (kg vif)}$$

Où :

1,033 : est le coefficient de conversion des litres de lait en kg de lait

0,9*6,38 : est le coefficient utilisé pour convertir la teneur en protéine du lait en azote total contenu le lait.

$PV_{\text{veau}} = 50 \text{ kg vif}$

$N_{\text{viandeBL}} = 0,024 \text{ kg N/kg vif}$

Équation 10 : Estimation de l'azote fixé par les vaches laitières (INRA, 2007) et (CORPEN, 2001)

$$N_{\text{fixé, i}} \text{ (kg N/tête/an)} = N_{\text{viande}_i} \text{ (kg N/kg vif)} * PBVV_i \text{ (kg vif/tête/an)}$$

Où :

i = catégorie animale

$N_{\text{viande}_i} = 0,024 \text{ kg N/kg vif}$ pour un animal issu d'un troupeau laitier et $0,029 \text{ kg N/kg vif}$ pour un animal issu du troupeau allaitant

$PBVV_i$ = la production brute de viande vive pour la catégorie animale i considérée

Équation 11 : Estimation de l'azote fixé par les autres catégories animales (CORPEN, 2001)

3.2. Porcins

Le RMT élevages et environnement (2016) fournit une équation de rétention pour l'azote.

$$N \text{ retenu (kg/porc)} = e^{(-0,9559 - 0,0145 * TMP)} * (0,96 PV)^{(0,7417 + 0,0044 * TMP)} / 6,25$$

Avec :

TMP : taux de muscle des pièces au poids habituel d'abattage

PV : poids vif du porc (ex : 119.6 kg, GTE 2015)

Équation 12 : Calcul N retenu pour un porc (RMT élevages et environnement. 2016)

Concernant la matière organique, l'excrétion en MO sera fonction de la fraction non digérée de l'énergie brute ingérée. Cette fraction peut être déduite de la digestibilité en énergie du régime alimentaire des porcs.

3.3. Volailles

La fixation est appréhendée par le produit de la composition corporelle et de la prise de poids de l'animal au cours de la durée du lot. La mortalité, exprimée si possible en kg de poids d'animal mort, doit être retranchée pour tenir compte des éléments fixés dans ces carcasses.

Dans le cas où des œufs sont produits, cette « fixation » doit être également prise en compte.

Les compositions corporelles et des œufs ont fait l'objet d'une revue bibliographique (les données d'une composition d'un animal entier restent assez rares) et de mesures en laboratoire de carcasses/œufs entiers (aliquotes post broyage).

Ces résultats sont synthétisés dans le document : *Estimation des rejets d'azote – phosphore – potassium calcium - cuivre – et zinc par les élevages avicoles, 2013* (pages 23-24).

Concernant le poids final et le pourcentage mortalité, il convient de disposer des données zootechniques de l'élevage étudié. Le cas échéant, le document : *Estimation des rejets d'azote – phosphore – potassium calcium - cuivre – et zinc par les élevages avicoles, 2013* (pages 27-30) proposent une synthèse des performances zootechniques nationales issue de la compilation de différentes enquêtes.

La fiche donnée d'activité élevage de ce guide offre aussi un référentiel de données zootechniques issues de différentes enquêtes.

Des travaux sont actuellement en cours, pour certaines espèces, pour mettre en parallèle les courbes d'ingestion, de mortalité, de croissance voire de ponte du cheptel et pouvoir calculer une ingestion, une fixation et donc une excrétion au jour le jour pour le cheptel considéré. Cela implique de calculer l'excrétion lot par lot, et non directement par année.

4. Calcul de l'excrétion

4.1. Bovins

4.1.1. Calcul de l'azote excrété

L'estimation de la quantité d'azote excrété est nécessaire pour déterminer les différentes émissions liées principalement à la gestion des déjections : émissions de protoxyde d'azote, d'ammoniac et de monoxyde d'azote. Le calcul de l'azote excrété, qui s'effectue par catégorie animale, intègre les quantités d'azote ingéré et fixé (Figure 4).

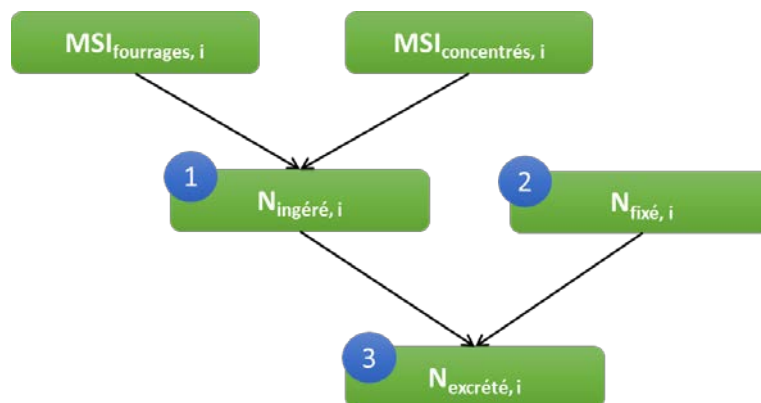


Figure 2 : Les étapes à suivre pour déterminer l'azote excrété par catégorie animale (source : Idele, 2018)

$$N_{\text{excrété}, i} \text{ (kg N/an)} = N_{\text{ingéré}, i} \text{ (kg N/an)} - N_{\text{fixé}, i} \text{ (kg N/an)}$$

Où i = catégorie animale

Équation 13 : Calcul de l'azote excrété par animal (CORPEN, 2001)

4.1.1. Calcul de la matière organique non digestible

Tout comme l'azote excrété, l'estimation de la Matière Organique Digestible (MOD) et Non Digestible (MOND) est nécessaire pour déterminer respectivement les émissions de méthane entérique (voir [Fiche 4.1.1](#)) et les émissions de méthane liées à la gestion des déjections (voir [Fiche 4.1.2](#)).

Le calcul de la MOD et de la MOND s'effectue par catégorie animale à partir de la MO ingérée et donc de la matière sèche ingérée.

La méthode détaillée ci-dessous provient des travaux de Sauvart et Nozière (2013), repris dans le nouveau système d'alimentation des herbivores Systali (INRA, 2018) et telle qu'appliquée dans l'outil CAP'2ER® (Institut de l'Élevage, 2018) et désormais dans AGRIBALYSE (Version 1.4 et 3.0 à paraître).

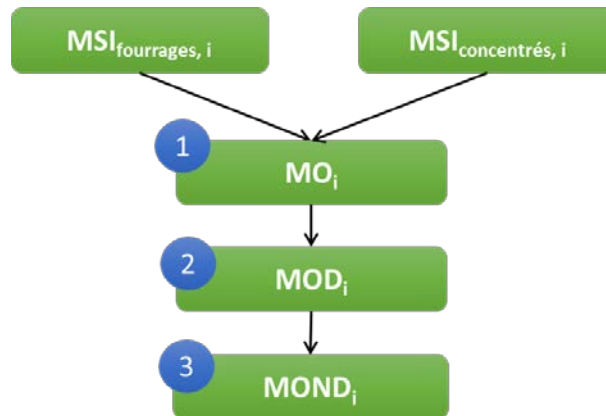


Figure 3 : Les étapes à suivre pour déterminer la MOD et la MOND (source : Idele, 2018)

4.1.1.1. MOD

La MOD est déterminée à partir de la dMO (digestibilité de la matière organique, ci-dessous) et de la MO de la ration :

$$dMO_{ration} (\%) = \left[\sum_j (MSI_{fourrage_j} (T MS/tête/an) * Teneur MO_{fourrage_j} (g N/kg MS) * dMO_{fourrage_j} (\%)) + \sum_j (MSI_{concentré_j} (kg brut/tête/an) * Teneur MO_{concentré_j} (g N/kg brut) * dMO_{concentré_j} (\%)) / 1000 \right] / MO_i * 100$$

Où :

j = type d'aliment

Teneur MO : Teneur en MO de chaque type d'aliment

dMO : Digestibilité de la matière organique de chaque type d'aliment

Équation 14 : Estimation de la dMO_{ration} (Sauvant & Nozière, 2013)

Cependant, la dMO de la ration n'est pas toujours égale à la moyenne pondérée des digestibilités des aliments qui la composent. C'est notamment le cas des rations composées de fourrages et de concentrés. En effet, il existe des phénomènes d'interactions digestives, ce qui entraîne l'application de corrections. Ainsi, MOD est calculée de la façon suivante :

$$MOD_{corrigée} = MO * dMO_{corrigée}$$

Équation 15 : Estimation de la $MOD_{corrigée}$ (Sauvant & Nozière, 2013)

Les principaux facteurs responsables de ces interactions digestives sont au nombre de 4 (Figure 6) :

- La digestibilité de la ration théorique,
- Le niveau d'ingestion,
- La part de concentrés dans la ration,
- La balance protéique du rumen.

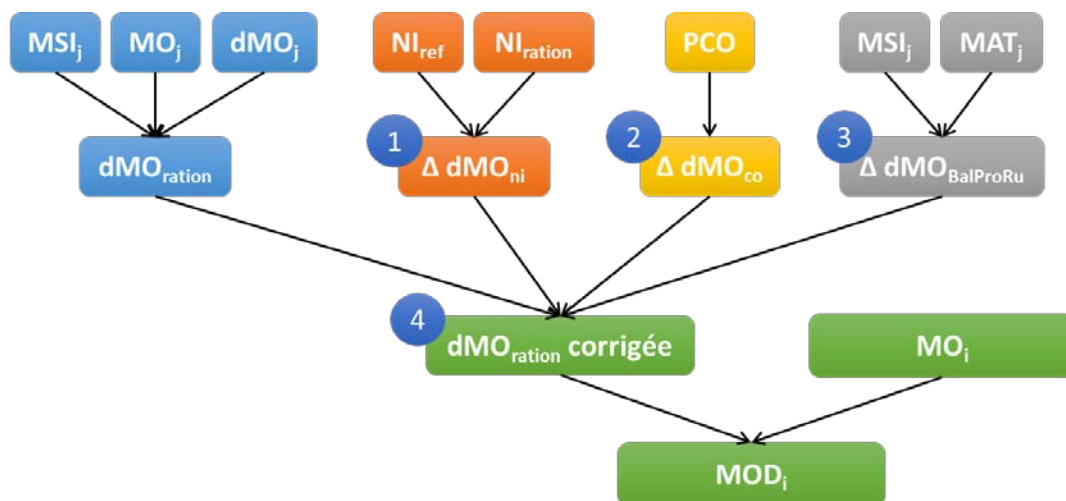


Figure 4 : Les étapes à suivre pour déterminer la MOD (source : Idele, 2018)

Étape 1 : Correction de la dMO par le niveau d'ingestion (ΔdMO_{ni})

Le niveau d'ingestion de la ration (NI_{ration}) est le principal facteur d'interaction digestive rencontré en pratique. Le niveau d'ingestion s'exprime en kg MS pour 100 kg de poids vif de manière à pouvoir

s'affranchir des différences entre espèces. La correction à apporter à la dMO_{ration} pour traduire l'effet du niveau d'ingestion (ΔdMO_{ni}) est la suivante :

$$\Delta dMO_{ni} \text{ (sans unité)} = 2,74 * [NI_{\text{ration}} \text{ (kg MS)} - NI_{\text{ref}} \text{ (kg MS)} / MSI_{\text{ration}} \text{ (kg MS)}]$$

Où :

NI_{ration} est le niveau d'ingestion de la ration réel pour la catégorie animale considérée

NI_{ref} est le niveau d'ingestion de la ration de référence pour la catégorie animale considérée

MSI_{ration} est matière sèche ingérée de la ration

Équation 16 : Estimation de ΔdMO_{ni} (Sauvant & Nozière, 2013)

NI_{ration}

Le niveau d'ingestion équivaut à estimer les apports alimentaires de la ration en MS en les exprimant en pourcentage du poids vif ($MSI\%PV$)

$$NI_{\text{ration}} \text{ (kg MS)} = \frac{MSI_{\text{ration}} \text{ (kg MS)} * 100}{PV_i \text{ (kg vif)}}$$

Où

MSI_{ration} est matière sèche ingérée de la ration (cf partie 3.4)

PV_i est le poids vif des animaux de la catégorie animale considérée (cf partie 3.1.2)

Équation 17 : Estimation de NI_{ration} (Sauvant & Nozière, 2013)

NI_{ref}

Le NI de référence (NI_{ref}) est la somme pondérée des NI de chaque aliment (NI_j) qui compose la ration de la catégorie animale considérée. Ainsi :

$$NI_{ref} \text{ (kg MS)} = \sum_j NI_j \text{ (kg MS)} * MSI_j \text{ (kg MS)}$$

Où

j : type d'aliment

NI_j est le niveau d'ingestion de l'aliment j

MSI_j est la matière sèche ingérée de l'aliment j

Équation 18 : Estimation de NI_{ref} (Sauvant & Nozière, 2013)

Le NI de chaque aliment (NI_j) varie selon s'il s'agit de concentrés ou de fourrages. Le NI_j des concentrés est constant et fixé à 2 alors que le NI_j des fourrages varie en fonction de leur ingestibilité. On a donc :

$$NI_j \text{ (kg MS)} = \frac{(75 / UEM_j) * (UEM_{mouton}^{0,75}) / 1000}{UEM_{mouton}} * 100$$

Où

UEM_j est l'unité d'encombrement de l'aliment j (cf Annexe 2) en kg MS

UEM_{mouton} est l'unité d'encombrement du mouton en kg MS

75 traduit le fait qu'une herbe de référence (exploitée au stade pâturage et ayant une dMO de 0,80) est ingérée par un mouton « standard » de 60 kg de poids vif à raison de 75 g MS par kg de $PV^{0,75}$ (=poids métabolique du mouton) (MARTHELY, 2014).

Équation 19 : Estimation de NI de chaque aliment (Sauvant & Nozière, 2013)

Étape 2 : Correction de la dMO par la part de concentrés dans la ration (ΔdMO_{co})

Sauvant et al., (2013) ont montré que la dMO estimée à partir des valeurs tables (dMO_{ration}) surestime la dMO vraie des rations les plus riches en concentrés. L'écart est lié à la proportion de concentrés dans la ration.

$$\Delta dMO_{co} \text{ (sans unité)} = 65 / (1 + (0,35 / PCO_{ration})^3) / 100$$

Où

PCO_{ration} est la part de concentrés dans la ration en %

Équation 20 : Estimation de $\Delta dMco$ (Sauvant & Nozière, 2013)

Étape 3 : Correction de la dMO par la balance protéique du rumen ($\Delta dMO_{BalProRu}$)

La dernière correction à apporter au calcul de la dMO_{ration} concerne les variations de dMO liées à la balance protéique du rumen ($\Delta dMO_{BalProRu}$). En effet, chez les ruminants la quantité d'azote qui sort du rumen (évaluée par des mesures effectuées au niveau de duodénum) peut être inférieure ou supérieure à celle qui est ingérée via la ration. Cette différence entre MAT (Matières Azotées Totales)

ingérées et MAT au duodénum représente le bilan digestif azoté apparent du rumen, plus communément appelé BalProRu (exprimée en g/kg MS). Sa variation se calcule comme suit :

$$\Delta \text{dMO}_{\text{BalProRu}} \text{ (sans unité)} = -0,26 - 0,060 * \text{BalProRu (g MAT/kg MS)}$$

Où

$$\text{BalProRu} = -84,5 + 0,61 * \text{MAT}_{\text{ration}}$$

MAT_{ration} est la teneur en MAT de la ration

Équation 21 : Estimation de $\Delta \text{dMO}_{\text{BalProRu}}$ (Sauvant & Nozière, 2013)

Etape 4 : Calcul de la $\text{dMO}_{\text{corrigée}}$

Ainsi, la correction de la dMO de la ration ($\text{dMO}_{\text{corrigée}}$) s'appuie sur la $\text{dMO}_{\text{ration}}$ (théorique) à laquelle on retranche les interactions digestives citées préalablement.

$$\text{dMO}_{\text{corrigée}} = \text{dMO}_{\text{ration}} - \Delta \text{dMO}_{\text{ni}} - \Delta \text{dMO}_{\text{co}} - \Delta \text{dMO}_{\text{BalProRu}}$$

Équation 22 : Calcul de la $\text{dMO}_{\text{corrigée}}$ à partir de la $\text{dMO}_{\text{ration}}$ (Sauvant & Nozière, 2013)

4.1.1.2. MOND

Le calcul de la MOD préalablement réalisé permet d'en déduire la valeur de la MOND par différence entre la MO et la MOD. Cette valeur sera mobilisée pour le calcul du méthane lié à la gestion des déjections.

$$\text{MOND}_i \text{ (kg MO/an)} = \text{MO}_i \text{ (kg MO/an)} * \text{MOND}_{\text{corrigée}, i} \text{ (kg MO/an)}$$

Où i = catégorie animale

Équation 23 : Estimation de la MOND (Sauvant, Giger-Reverdin, Serment, & Broudiscou, 2011)

4.2. Porcins

L'excrétion en azote des porcs résultera donc de la différence entre l'azote ingéré et l'azote retenu. Le RMT élevages et environnement (2016) fournit quelques références dans le cas d'une alimentation biphasé.

Tableau 5 : Références d'excrétion azotée des porcs (RMT élevages et environnement, 2016)

	Excrétion azotée
Truies (kg N/an)	20.3
Porcelets en post-sevrage 8-31 kg (kg N / porcelet)	0.55
Porc en engraissement 31-118 kg (kg N / porc)	3.68
Par kg de différence de poids d'abattage	0.042

Pour ce qui est de la matière organique excrétée, l'IPCC (2006) fournit une équation qui permet de l'évaluer en fonction de régime alimentaire des porcs.

$$\text{MO excrétée (kg/porc)} = [\text{EB} \times (1 - \text{dEB}) + 0.02] \times (1 - \text{Cendres}) / 18.45$$

Avec :

EB : énergie brute ingérée par le porc (kg/ porc)

dEB : digestibilité de l'énergie brute du régime alimentaire du porc (%)

Cendres : teneur en cendres du régime alimentaire du porc (%)

Équation 24 : Calcul de l'excrétion de la matière organique d'un porc (IPCC. 2006)

4.3. Volailles

L'excrétion est calculée à partir du bilan de masse suivant :

$$\text{Éléments excrétés} = (\text{aliments ingérés} + \text{apports des autres intrants}) - (\text{nutriments fixés par les oeufs et/ou la carcasse} + \text{nutriments fixés par les animaux morts})$$

Avec

aliments ingérés = quantité x composition

apport par litière = quantité x composition

apport par oisillons = poids vif x composition corporelle

nutriments fixés par les oeufs = poids des oeufs x composition

nutriments fixés par les carcasses : poids vif moyen x composition

nutriments fixés par les animaux morts : poids vif moyen des animaux morts x

Équation 25 : Calcul de l'excrétion de la matière organique en volailles

Dans cette formule les « autres intrants » correspondent à la litière et les oisillons.

La fiche données d'activité élevage de ce guide offre aussi un référentiel de données zootechniques issues de différentes enquêtes (poids moyen en fin de lot et poids des oisillons).

Le Bilan Réel Simplifié (BRS) volaille est un calculateur de l'excrétion en volaille qui intègre les données de compositions corporelles et de litière. Moyennant la saisie des données de composition et de consommation alimentaire et de zootechnie (poids animaux, mortalité, durée et nombre de lot...), l'excrétion peut être directement calculée. Comme mentionné plus haut, des travaux sont en cours pour améliorer encore la prise en compte de la mortalité (plus de mortalité en début de lot, donc sortie moindre que si calcul avec poids moyen) et aboutir à un calcul quotidien au cours du lot de l'excrétion du cheptel.

5. Références bibliographiques

CORPEN, 2001. Estimation des flux d'azote, de phosphore et de potassium associés aux bovins allaitants et aux bovins en croissance ou à l'engrais, issus des troupeaux allaitants et laitiers, et à leur système fourrager.

FIL, 2010. Approche commune au calcul de l'empreinte carbone pour la production laitière. Guide de la FIL sur la méthodologie standard d'analyse de cycle de vie appliquée à l'industrie laitière. Bulletin de la Fédération Internationale du Lait(445), p. 47.

INRA, 2007. Alimentation des bovins, ovins et caprins - Besoins des animaux et Valeurs des aliments. Quae.

INRA, 2018. INRA Feeding System for Ruminants . INRA.

Institut de l'Elevage, 2010. Guide pratique de l'alimentation du troupeau laitier. Quae.

Institut de l'Elevage, 2012. La production brute de viande vive : la calculer, se situer et l'améliorer. 4. Réseaux d'Elevage pour le conseil et la prospective - Collection Théma.

Institut de l'Elevage, 2015, tableau de synthèse des données d'activités fournit pour le projet PLAGE, mise à jour de juin 2019

Institut de l'Elevage, 2016. Table de paramétrage du tableau de bord de CAP'ECO. Non publié.

Institut de l'Elevage, 2018. Guide méthodologique CAP'2ER® Niveau 2. VERSION 0.4. Novembre 2018. Non publié.

Institut de l'Elevage, 2019 Données de paramétrage de l'outil CAP'2ER®. Non publié

Institut de l'Elevage, Chambre d'agriculture de Bretagne, Arvalis, 2011. Production de jeunes bovins de races à viande et de races laitières.

IPCC, 2006. Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories - Chapter 10: Emissions from livestock and manure management, 87p.

ITAVI, 2013. Estimation des rejets d'azote – phosphore – potassium calcium - cuivre – et zinc par les élevages avicoles : Mise à jour des références CORPEN-Volailles de 2006

ITAVI, 2018. Bilan Réel Simplifié (BRS Volaille), Estimation des rejets par les élevages avicoles azote, phosphore, potassium, calcium, cuivre et zinc. Mise à jour en cours

RMT élevages et environnement, 2016. Evaluation des rejets d'azote, phosphore, potassium, cuivre et zinc des porcs – influence de l'alimentation, du mode de logement et de la gestion des effluents, 26p.

Sauvant, D., & Nozière, P., 2013. La quantification des principaux phénomènes digestifs chez les ruminants : les relations utilisées pour rénover les systèmes d'unités d'alimentation énergétique et protéique. INRA Productions Animales, 26 (4), 327 - 346.

Sauvant, D., Giger-Reverdin, S., Serment, A., & Broudiscou, L., 2011. Influence des régimes et de leur fermentation dans le rumen sur la production de méthane par les ruminants.