

# Conception et évaluation d'un système innovant de production de foie gras : le cas de la substitution du maïs par du sorgho chez l'oie

J. ARROYO<sup>1,2,3,6</sup>, J. AUBIN<sup>4,5</sup>, A. AUVERGNE<sup>1,2,3</sup>, J.-P. DUBOIS<sup>6</sup>, M. BRACHET<sup>1,2,3</sup>,  
X. FERNANDEZ<sup>1,2,3</sup>, P. DEBAEKE<sup>7,8</sup>, L. FORTUN-LAMOTHE<sup>2,1,3</sup>

<sup>1</sup> Université de Toulouse INPT ENSAT, UMR1289 TANDEM, F-31326 Castanet-Tolosan, France

<sup>2</sup> INRA, UMR1289 TANDEM, F-31326 Castanet-Tolosan, France

<sup>3</sup> Université de Toulouse INPT ENVT, UMR1289 TANDEM, F-31076 Toulouse, France

<sup>4</sup> INRA UMR1069, SAS, 65 rue de Saint Briec, F-35042 Rennes, France

<sup>5</sup> Agrocampus Ouest, UMR1069, SAS, 65 rue de Saint Briec, F-35042 Rennes, France

<sup>6</sup> ASSELDOR-Station d'expérimentation appliquée et de démonstration sur l'oie,  
La Tour de Glane, F-24420 Coulaures, France

<sup>7</sup> INRA, UMR1248, AGIR, F-31326 Castanet-Tolosan, France

<sup>8</sup> Université de Toulouse ENSAT-INPT, UMR1248, AGIR, F-31326 Castanet-Tolosan, France

Courriel : laurence.lamothe@toulouse.inra.fr

Le foie gras est un produit de luxe qui fait partie du patrimoine gastronomique français. Pour autant, comme les autres filières de production animale, cette filière innove constamment pour mieux répondre, entre autres, aux attentes sociétales. Des innovations dans le système d'alimentation permettent de réduire l'impact environnemental de la production de foie gras d'oie tout en maintenant les performances économiques et sociales.

Le développement de pratiques agricoles plus durables est aujourd'hui une priorité. En effet, la loi d'orientation agricole (1999), renforcée par le « Grenelle de l'Environnement » (Tuot 2007) et la Politique Agricole Commune, a réorienté progressivement les missions de l'agriculture vers des objectifs de durabilité : productions de qualité, aménagement du territoire, entretien de l'espace, protection des ressources naturelles et contribution à l'emploi rural. L'aviculture par ses spécificités et sa diversité, entre productions traditionnelles rationalisées et élevage intensif (taille des ateliers, mécanisation des tâches, utilisation d'animaux à croissance rapide...), éclaire de manière particulière ces enjeux du développement durable. La production de foie gras en est un exemple emblématique. La production de foie gras est en effet une méthode ancestrale originaire d'Égypte, décrite depuis 2 500 av. JC. Mais elle a bénéficié de nombreux progrès en termes de sélection génétique, de techniques d'élevage (utilisation de gavageuses hydrauliques) et de stratégie d'alimentation qui ont permis d'améliorer les performances tel que l'indice de consommation (13 kg de maïs contre plus de 20 kg il y a deux décennies) ou la durée

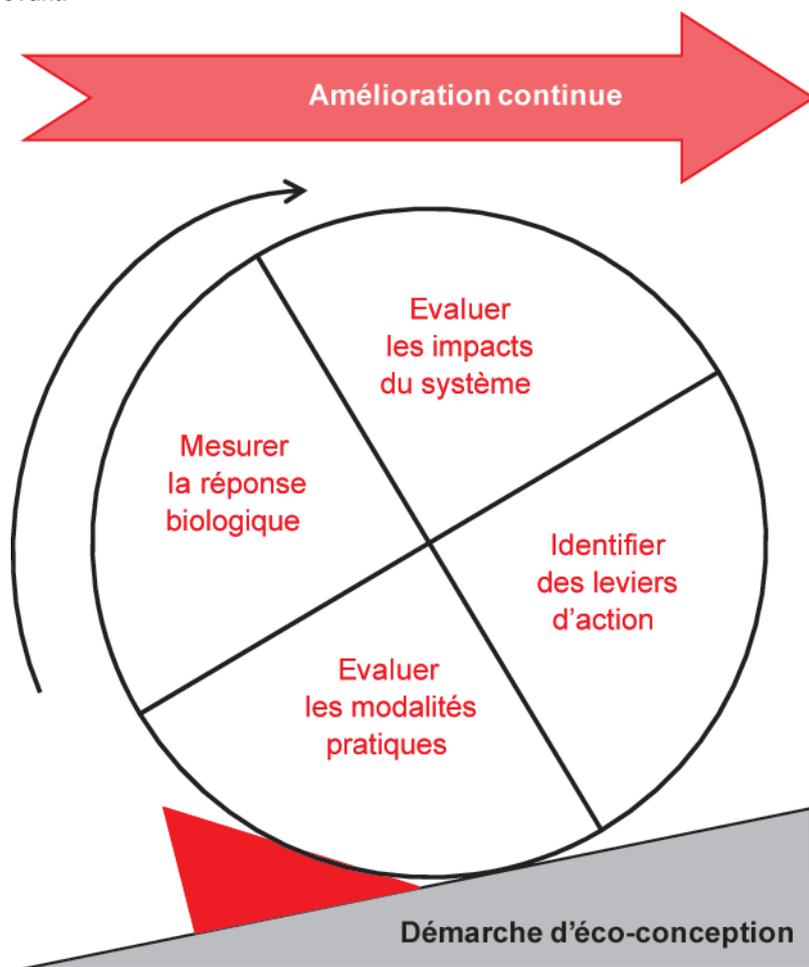
du gavage (14-18 jours contre plus de 21 jours il y a deux décennies).

Plusieurs rapports ont montré la forte contribution de l'élevage aux problématiques environnementales telles que l'usage des terres, les émissions de gaz à effet de serre, l'utilisation de la ressource en eau et les pollutions de l'eau et des sols (Steinfeld *et al* 2006). Au niveau international, la production de foie gras est très faible (27 100 t en 2011 ; CIFOG 2012) comparée à celle des viandes de volailles (80 000 000 t) ou de porc (106 000 000 t, FAO 2013). Certains auteurs suggèrent des changements d'habitudes alimentaires pour réduire les impacts environnementaux liés à la consommation, tel qu'acheter des produits locaux et/ou de saison, manger végétarien ou réduire le gaspillage (Jungbluth *et al* 2012). La suppression des produits de luxe tels que le café ou l'alcool par exemple, en opposition avec les produits de première nécessité, est également une stratégie proposée (Jungbluth *et al* 2012). Le foie gras entre dans cette catégorie. Il semble donc nécessaire d'évaluer les marges de progrès potentielles et de proposer des stratégies permettant de limiter l'empreinte

environnementale de la production de foie gras, sans dégrader les performances économiques et sociales de l'atelier de production. C'est dans cet objectif que l'UMR TANDEM, en partenariat avec la station d'expérimentation appliquée et de démonstration sur l'oie, travaillent à la conception de systèmes de production du foie gras plus respectueux de l'environnement.

Nous présentons ici une démarche de conception incrémentale basée sur le principe de l'éco-conception. Nous avons identifié les leviers d'action les plus pertinents pour réduire les impacts environnementaux de la production de foie gras, proposé des innovations, évalué leur mise en œuvre pratique, mesuré et essayé de comprendre les réponses du système biologique à ces changements de pratiques et évalué les conséquences de ces innovations sur les impacts environnementaux liés à la fabrication du produit et la durabilité à l'échelle de l'atelier de production. Ces conséquences mesurées nous permettent d'émettre de nouvelles hypothèses d'amélioration à tester afin d'effectuer de nouvelles modifications du système, incrémentant ainsi la démarche d'éco-conception (figure 1).

**Figure 1.** Démarche mise en œuvre pour la conception du système d'élevage innovant.



## 1 / La démarche d'éco-conception

La démarche d'éco-conception a pour objectif de diminuer quantitativement et/ou qualitativement les impacts environnementaux d'un produit ou d'un service, tout en conservant ses qualités et ses performances intrinsèques (Rio *et al* 2013). Son principe consiste à évaluer la contribution relative des différentes étapes de fabrication ou de réalisation pour identifier les leviers d'action prioritaires permettant de réduire les impacts environnementaux du système de production, et ce dès sa phase de conception. Ici, nous proposons d'adapter cette approche en alternant des phases de diagnostic avec des phases expérimentales qui testent les hypothèses de progrès soulevées, afin de créer une boucle d'amélioration d'un système existant (figure 1). La méthode la plus répandue pour réaliser la phase de diagnostic en éco-conception est l'Analyse des Cycles de Vie (ACV) qui prend en compte les différentes phases du cycle de vie du produit : l'extraction des matières premières, la fabrication, le transport, l'usage et la fin de vie du produit (Guinée *et al*

2002). Il s'agit de quantifier les ressources utilisées et les émissions vers l'environnement à chacune des étapes de fabrication du produit. Il a été montré que cette méthode est pertinente pour les systèmes de production agricole (van der Werf et Petit 2002). Toutefois, dans le cas des produits d'origine agricole, l'analyse s'arrête généralement à l'obtention du produit brut (de Vries et de Boer 2010). Dans notre travail, nous avons considéré les étapes de fabrication du foie gras depuis l'élevage des oies reproductrices jusqu'à l'obtention du foie gras cru à la sortie de l'abattoir, en intégrant les phases amont de production des intrants nécessaires à l'élevage (semences, engrais, machines agricoles, matériaux pour les bâtiments...).

## 2 / Les impacts environnementaux de la production de foie gras

Pour notre analyse, nous avons défini un système de production standard, représentatif du système de production français moyen, pour lequel tous les maillons de la chaîne de production,

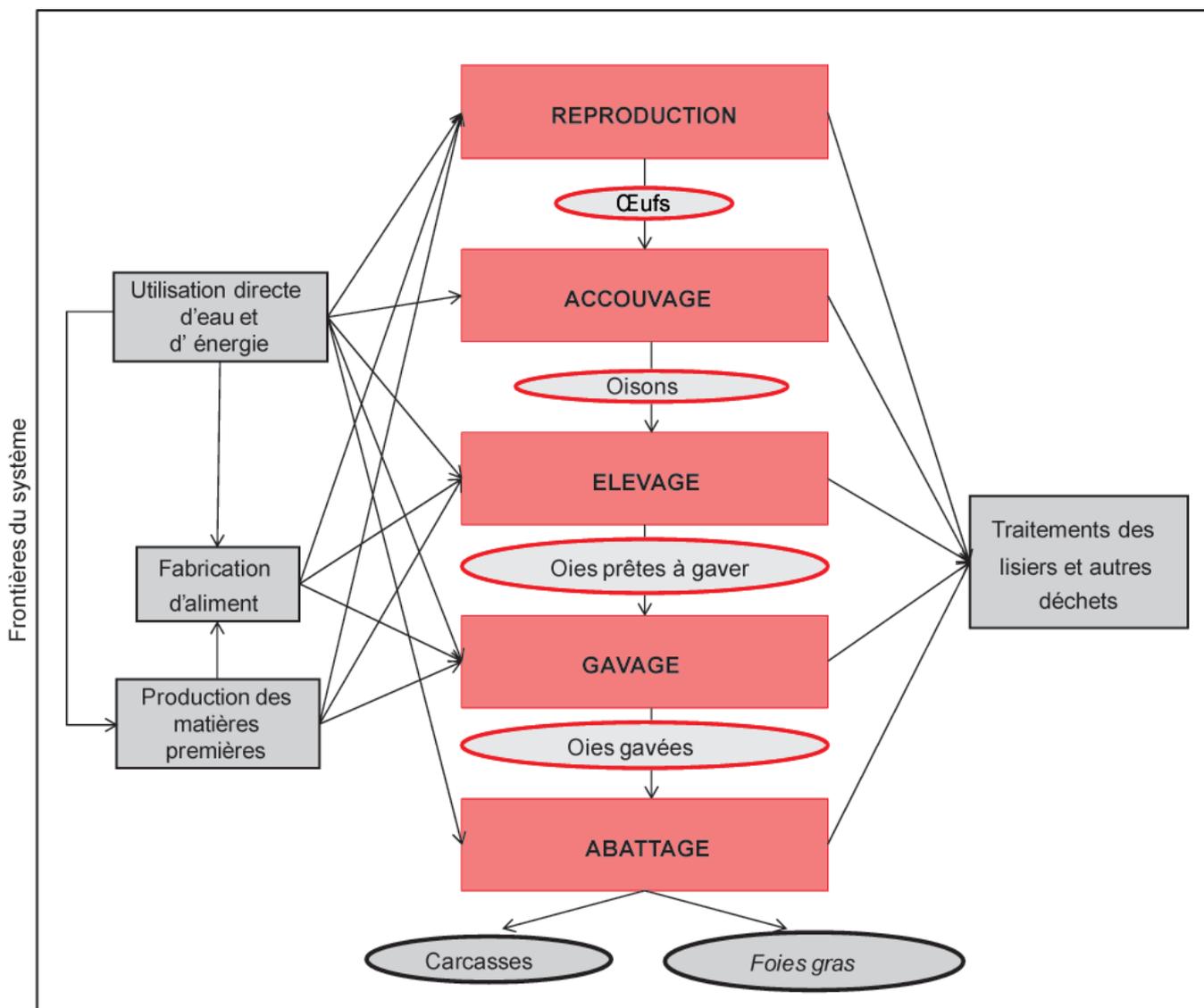
élevage des oies reproductrices, accoupage, ateliers d'élevage et de gavage et abattoirs sont situés en Dordogne, principal bassin de production du foie gras d'oie (Arroyo *et al* 2013f, figure 2). La conduite alimentaire contient trois phases distinctes (Arroyo *et al* 2012c). L'atelier d'élevage comprend une phase de démarrage (de 1 à 6 semaines d'âge), pendant laquelle les animaux sont généralement logés en bâtiments et une phase de croissance-finition (de 7 à 14 semaines d'âge), pendant laquelle les animaux ont accès à un parcours herbagé. Pendant le gavage (de 15 à 16 semaines d'âge) les animaux sont logés dans des parcs collectifs d'une dizaine d'animaux. Dans notre représentation du système de production standard, les animaux sont nourris avec des aliments complets granulés pendant les phases de reproduction (oies reproductrices), de démarrage et de croissance-finition. Ces aliments contiennent du maïs comme source d'énergie alimentaire principale. Pendant la phase de gavage, les animaux reçoivent une pâte composée de maïs - sous forme d'un mélange de graines entières (25%) et de farine (34%) -, de complexe vitaminique (2%) et d'eau (39%).

L'ACV montre que, dans les conditions de production moyennes françaises, la production de 1 kg de foie gras entraîne un potentiel de réchauffement climatique de 37,5 kg CO<sub>2</sub>-eq., un potentiel d'eutrophisation de 0,27 kg PO<sub>4</sub>-eq., et une occupation des surfaces agricoles de 48,6 m<sup>2</sup>/an (Arroyo *et al* 2013f). Ces impacts sont plus élevés que ceux décrits pour la production d'autres produits animaux tels que la viande de porc et de volaille ou le lait, mais similaires à ceux décrits pour la viande de bœuf (de Vries et de Boer 2010, Leinonen *et al* 2012a). La production de 1 kg de foie gras entraîne un potentiel d'acidification de 0,52 kg SO<sub>2</sub>-eq., ce qui est similaire à celui de la production de viande de bœuf ou d'œufs (de Vries et de Boer 2010, Leinonen *et al* 2012b) ainsi qu'une utilisation d'énergie primaire de 282 MJ et une utilisation de la ressource en eau de 2741 L (Arroyo *et al* 2013f).

Les impacts environnementaux de la production de foie gras d'oie sont donc globalement plus élevés que ceux obtenus pour d'autres produits issus d'animaux monogastriques. Cela peut être expliqué par le mode de production d'une part, et par la procédure économique d'allocation des impacts environnementaux utilisée dans l'ACV d'autre part, comme nous allons le voir.

Les oies ont accès à un parcours extérieur pendant la phase d'élevage, elles sont élevées presque jusqu'à la puberté et le produit final est riche en lipides. Tous ces éléments entraînent une utilis-

**Figure 2.** Diagramme du processus de production du foie gras d'oie « du berceau à la sortie de l'abattoir » (adapté de Arroyo et al 2013f).



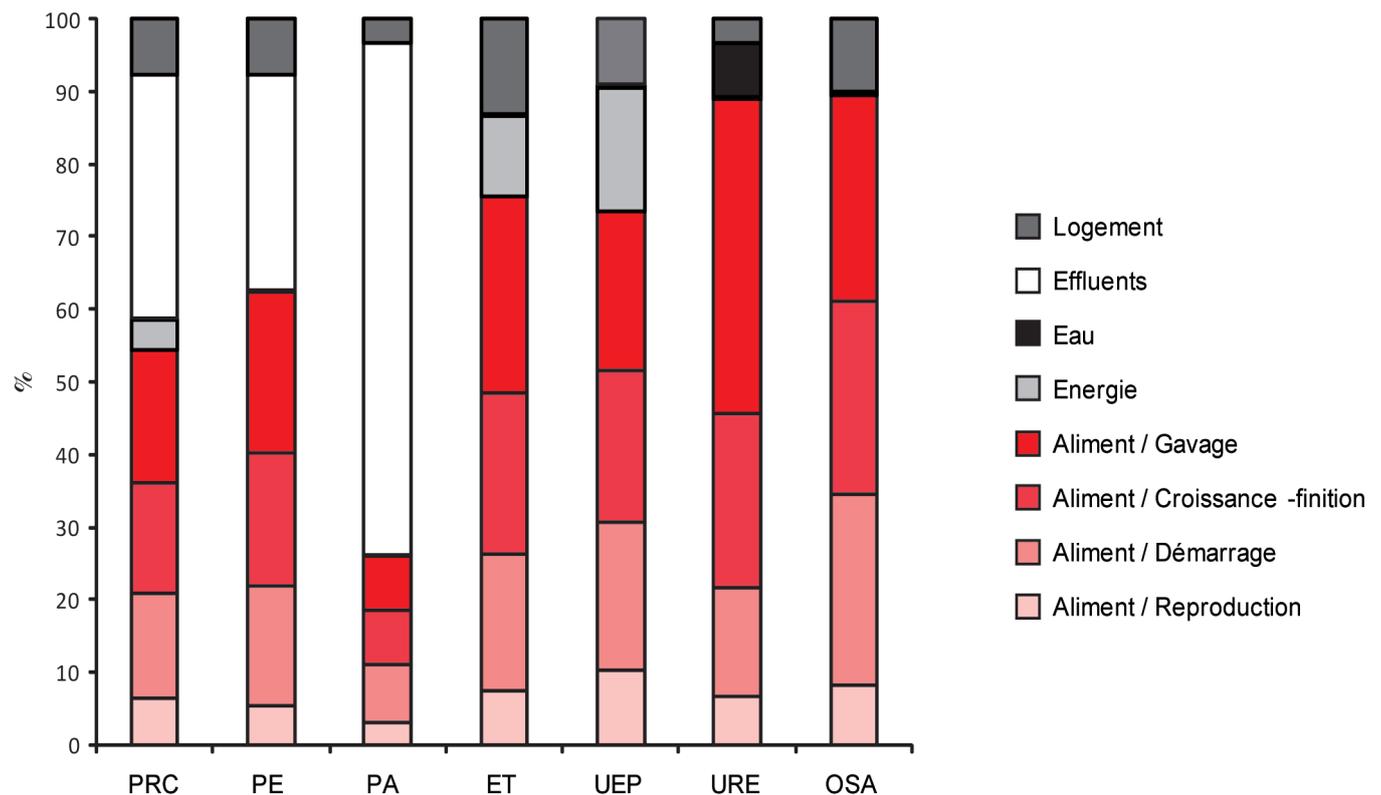
tion importante des ressources alimentaires nécessaires à l'obtention du produit (Indice de consommation global : 4,1) et donc des impacts environnementaux importants. A notre connaissance, aucune donnée n'est actuellement disponible concernant les impacts environnementaux de la production de foie gras de canards. Mais ces animaux sont élevés moins longtemps et leur efficacité alimentaire est meilleure pendant les phases d'élevage et de gavage que celle des oies (+ 4%, Guy *et al* 1995). Cela devrait entraîner des impacts environnementaux plus faibles pour la production de foie gras de canards comparée au foie gras d'oie sachant que la grande majorité du foie consommé en France et dans le monde provient du canard (90%, CIFO 2012).

Lorsqu'une étape du cycle de vie du produit aboutit à plusieurs coproduits, il est nécessaire de réfléchir à la meilleure méthode d'affectation des impacts aux

différents coproduits. Appelée « allocation », cette répartition influence fortement les résultats de l'ACV (Cederberg et Mattson 2000, Ardente et Cellura 2012). Sans allocation, les charges et émissions en amont sont attribuées au prorata du nombre de coproduits ; avec une allocation massique, les impacts en amont de l'étape de séparation des coproduits sont attribués au prorata de leur poids respectif. En revanche, dans le cas de la procédure d'allocation économique, ce prorata est effectué selon la valeur des coproduits, en multipliant les quantités produites (kg) par la valeur économique respective de chaque coproduit (€/kg). Cette dernière méthode d'allocation a pour objectif de représenter plus justement l'intérêt porté par l'utilisateur final à chaque coproduit. Cette méthode est actuellement la plus couramment utilisée pour le calcul des impacts environnementaux des produits animaux (de Vries et de Boer 2010). Nous l'avons

utilisée parce que le foie gras (dont la valeur économique est élevée) est le produit qui justifie le système d'élevage des oies et la viande d'oie peut être considérée comme un co- ou sous-produit du foie gras. Ainsi, le foie gras d'oie ne représente que 10% du poids de l'animal (900 g vs 8 500 g de carcasse) mais près de 80% de sa valeur économique (45 € de foie cru vs 13 € de carcasse à la sortie de l'abattoir). Avec la méthode d'allocation économique, les impacts environnementaux de la viande d'oie sont eux similaires à ceux obtenus pour d'autres produits issus d'animaux monogastriques. D'ailleurs, Arroyo *et al* (2013f) ont montré que l'utilisation d'une procédure d'allocation massique divise par 4 les impacts environnementaux de la production de foie gras, comparée à l'utilisation de la procédure d'allocation économique. Dans le cas du foie gras de canard, les conséquences de l'allocation économique seraient probablement

**Figure 3.** Contribution des différents postes d'émission aux impacts environnementaux potentiels de la production de foie gras d'oie alimentées avec du maïs (adapté de Arroyo et al 2013f).



PRC : Potentiel de Réchauffement Climatique ; PE : Potentiel d'Eutrophisation ; PA : Potentiel d'Acidification ; ET : Ecotoxicité Terrestre ; UEP : Utilisation d'Énergie Primaire ; URE : Utilisation de la Ressource en Eau ; OSA : Occupation des Surfaces Agricoles.

différents car, contrairement au magret d'oie, le magret de canard bénéficie d'une valeur économique proche de celle du foie gras (CIFOG 2012).

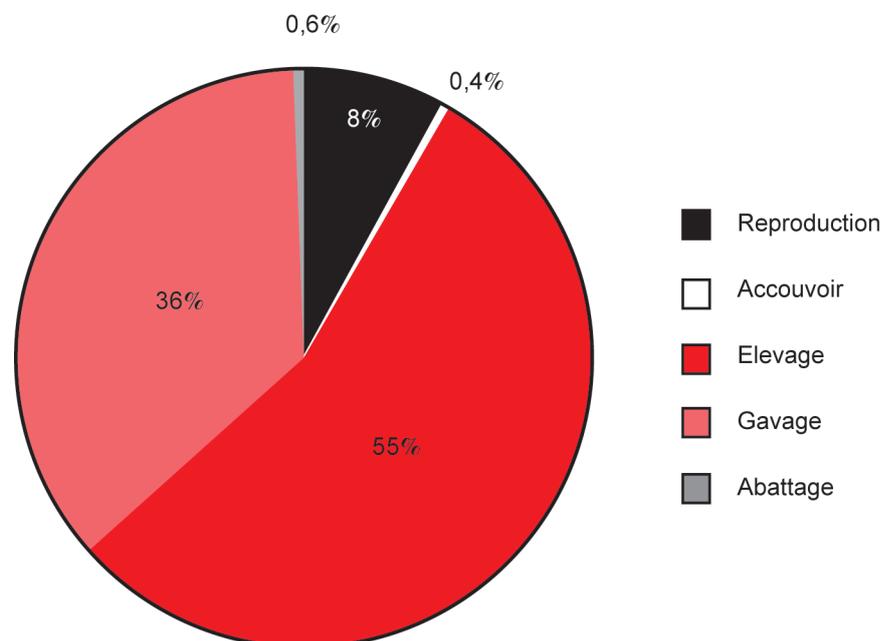
### 3 / Les leviers d'action prioritaires pour réduire les impacts environnementaux

La décomposition des impacts environnementaux en 5 postes d'émissions (alimentation, utilisation directe d'eau et utilisation directe d'énergie, bâtiments, gestion des effluents) montre que c'est l'alimentation des animaux qui contribue le plus aux impacts environnementaux de la production de foie gras d'oie : plus de 50% des impacts, sauf pour le potentiel d'acidification (26%) et jusqu'à 90% des impacts pour l'occupation des surfaces agricoles et l'utilisation de la ressource en eau (Arroyo et al 2013f, figure 3). Cette influence a déjà été démontrée pour d'autres systèmes de productions avicoles (Boggia et al 2010, Leinonen et al 2012a et b). Le potentiel d'acidification est principalement expliqué par les émissions liées aux effluents d'élevage (70%). Ces derniers contribuent également de façon importante aux potentiels d'eutrophisation (30%) et de réchauffement climatique (33%). Le

logement des animaux contribue pour moins de 15% à chacune des catégories d'impacts. L'utilisation directe d'eau pour l'abreuvement des animaux ou le nettoyage des bâtiments ne contribue que faiblement aux impacts totaux (7% de

l'utilisation de la ressource en eau). C'est l'alimentation qui, de manière indirecte notamment *via* l'irrigation des cultures d'été, contribue de façon majoritaire à l'utilisation de la ressource en eau. De même, l'utilisation directe d'énergie pour

**Figure 4.** Contribution des différentes étapes du processus de production au potentiel de réchauffement climatique induit par la production de foie gras d'oie (adapté de Arroyo et al 2013f).



le transport, le chauffage des bâtiments d'élevage ou le fonctionnement des machines ne contribue qu'à hauteur de 17% à l'utilisation d'énergie primaire tandis que l'alimentation y contribue de manière indirecte à hauteur de 73%.

Si l'on décompose la contribution de l'alimentation aux divers impacts environnementaux entre les différentes phases de consommation d'aliment, on constate que la phase de démarrage a une influence légèrement inférieure à celle de la phase de croissance-finition des oisons (26 vs 29% en moyenne). C'est la phase de gavage qui est la plus forte contributrice avec 35% de contribution moyenne pour toutes les catégories d'impact et jusqu'à 49% pour l'utilisation de la ressource en eau (figure 3). Ces résultats sont très fortement corrélés à la consommation totale d'aliment par animal pendant ces 3 phases : 10 kg, 11 kg et 13 kg, respectivement. La phase d'alimentation des oies reproductrices a peu d'influence sur les impacts totaux liés à l'alimentation (moins de 15% du poste alimentation).

Parmi les différentes étapes de production du foie gras, c'est l'étape d'élevage, c'est-à-dire les phases de démarrage et de croissance-finition, qui a le plus d'influence (56% en moyenne pour toutes les catégories d'impacts, la figure 4 illustrant le potentiel de réchauffement climatique), suivie de l'étape de gavage (33% en moyenne). Les étapes de reproduction (10%), d'accoupage (moins de 3%) et d'abattage (moins de 2%) contribuent peu aux impacts environnementaux de la production de foie gras.

Ces résultats d'ACV, et plus particulièrement la contribution de chacune des étapes de fabrication du produit, montrent que pour réduire les impacts environnementaux de la production de foie gras, le plus pertinent est d'agir sur l'alimentation des oies pendant les phases de croissance-finition et de gavage. C'est en effet ce facteur qui a le plus d'influence sur les impacts environnementaux du produit final.

#### 4 / Les innovations proposées

L'alimentation des oies pour la production de foie gras repose pour une large part sur l'utilisation du maïs (plus de 58%) comme source principale d'énergie alimentaire (Guéméné et Guy 2004), à la fois pendant la phase d'élevage et surtout pendant la phase de gavage où il représente quasiment l'ingrédient unique. Or, cette espèce végétale, bien qu'efficace en eau, présente l'inconvénient d'être fortement consommatrice en eau d'irrigation pour la production de grain (Amigues *et al* 2006). Par ailleurs, dans

**Tableau 1.** Caractéristiques nutritionnelles élémentaires, du maïs et du sorgho, exprimées par rapport au produit brut sauf indication contraire (moyenne et écart-type) (d'après Sauvans *et al* 2004).

	Maïs	Sorgho
Matière sèche (%)	86,4 ± 1,1	86,5 ± 1,6
Energie brute (kcal / kg)	3860 ± 70	3900 ± 90
Protéines brutes (%)	8,1 ± 0,7	9,4 ± 1,1
Cellulose brute (%)	2,2 ± 0,4	2,4 ± 0,5
Matière grasse brutes (%)	3,7 ± 0,4	2,9 ± 0,4
Cendres brutes (%)	1,2 ± 0,1	1,4 ± 0,2
Parois végétales (%)	9,1 ± 2,7	8,5 ± 0,8
Amidon (%)	64,1 ± 1,9	64,1 ± 2,6
Sucres totaux (%)	1,6 ± 0,5	1,1 ± 0,4

certaines régions, notamment celles où la production de palmipèdes est bien développée (Sud-Ouest de la France), le maïs est souvent produit en monoculture avec irrigation pour optimiser les rendements par rapport aux intrants (engrais, traitements), ce qui accroît la consommation d'eau, entraîne une perte de biodiversité (auxiliaires de culture) et contribue à la pollution des eaux (sols nus en hiver, souvent filtrants ; Barbut et Poux 2000). De plus, le séchage du maïs et son transport entre les lieux de récolte, de séchage, de stockage et d'utilisation sont coûteux en énergie.

Dans ce contexte, le sorgho (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) semble être un candidat intéressant pour se substituer au maïs. Il présente en effet les mêmes caractéristiques nutritionnelles que le maïs (Sauvans *et al* 2004, tableau 1). Il est notamment riche en énergie sous forme d'amidon, ce qui est nécessaire au développement de la stéatose hépatique (Baéza *et al* 2013). Mais le sorgho nécessite pour sa production une quantité d'eau (Nolot et Debaeke 2003, Farré et Faci 2006) et d'intrants bien inférieure (tableau 2) et ne nécessite pas de séchage avant la phase de stockage. En conséquence, pour une production moyenne les impacts environnementaux liés à la production de 1 kg de sorgho non-irrigué en Midi-Pyrénées (bassin principal de production française) sont plus faibles que ceux liés à la production de 1 kg de maïs irrigué en Aquitaine (bassin important de production française ; Arroyo *et al* 2013f ; tableau 2), sauf pour le potentiel d'eutrophisation (+ 18%) et l'occupation des surfaces agricoles (+ 33%) qui s'explique par la différence

de rendement à l'hectare. Ainsi, le potentiel de réchauffement climatique (- 38%), l'utilisation d'énergie primaire (- 57%) et l'utilisation de la ressource en eau (- 93%) sont plus faibles pour la production de sorgho que pour celle du maïs.

Afin de réduire les impacts environnementaux de la production de foie gras d'oie, nous proposons de substituer le maïs par du sorgho à la fois pendant la phase de croissance-finition et la phase de gavage. L'alimentation des volailles est le plus fréquemment distribuée sous forme d'aliments complets en granulés (Abdollahia *et al* 2013). Ce processus technologique a un coût économique et environnemental lié au transport et au broyage des différentes matières premières. Dozier *et al* (2006), ont estimé que le coût du broyage des céréales représente 25 à 30% du coût de fabrication des aliments (hors prix des matières premières). Une présentation de l'alimentation sous forme simplifiée dite « fermière », telle qu'un mélange de grains entiers et d'un granulé complémentaire riche en protéine, pourrait réduire les procédés de fabrication et donc les impacts environnementaux de l'alimentation (Umar Faruk *et al* 2010), tout en améliorant l'acceptabilité sociale des systèmes d'élevage en nourrissant les oiseaux avec un régime considéré comme plus « naturel » (Gabriel *et al* 2003).

Nous avons donc testé deux innovations : la substitution du maïs par du sorgho pendant les phases de croissance-finition et de gavage et l'utilisation du sorgho sous forme de graines entières ou de farine pendant la phase de croissance-finition.

**Tableau 2.** Principaux intrants utilisés, rendements, nitrates émis et impacts environnementaux potentiels des cultures de maïs et de sorgho (adapté de Arroyo *et al* 2013f).

Intrants utilisés	Maïs <sup>(a)</sup>	Sorgho <sup>(b)</sup>
N minéral (kg/ha)	189	68
N organique (kg/ha)	46	23
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (triple superphosphate) (kg/ha)	67	21
K <sub>2</sub> O (oxyde de potassium) (kg/ha)	85	8
CaO (oxyde de calcium) (kg/ha)	167	333
Semences (kg/ha)	20	13
Pesticides (matière active) (kg/ha)	3,1	2,2
Fioul (kg/ha)	82	76
Eau d'irrigation (m <sup>3</sup> /ha)	760	0
<b>Rendement en grain (matière sèche) (kg/ha)</b>	<b>8 820</b>	<b>5 525</b>
<b>Impacts environnementaux (par kg de céréale entré dans l'usine d'aliment)</b>		
Potentiel de réchauffement climatique (g CO <sub>2</sub> -eq.)	527	327,0
Potentiel d'eutrophisation (g PO <sub>4</sub> -eq.)	4,9	5,8
Potentiel d'acidification (g SO <sub>2</sub> -eq.)	3,0	1,7
Utilisation d'énergie primaire (MJ)	4,2	1,8
Utilisation de la ressource en eau (L)	97,8	6,9
Occupation des surfaces agricoles (m <sup>2</sup> an)	1,2	1,6

<sup>(a)</sup> d'après Mosnier *et al* 2011 ; <sup>(b)</sup> d'après Arvalis-Institut du végétal 2010.

## 5 / Modalités pratiques de l'utilisation du sorgho dans l'alimentation des oies

Après l'identification des voies potentielles d'amélioration du système, la phase suivante de la démarche d'éco-conception a été d'évaluer les modalités pratiques pour réaliser une substitution du maïs par du sorgho dans la ration alimentaire des oies en phase de croissance-finition et pendant le gavage. Il s'agit d'une démarche incrémentale qui vise à améliorer pas à pas le système en partant du système d'alimentation actuel, tel que décrit par Arroyo *et al* (2012c). Pour cela, deux essais destinés à la mise au point technique de l'utilisation du sorgho pendant la phase de croissance-finition (Arroyo *et al* 2012a et 2013b) et un essai destiné à son utilisation pendant la phase de gavage (Arroyo *et al* 2013c) ont été réalisés.

### 5.1 / Utilisation et forme de présentation du sorgho pendant la phase de croissance-finition des oies

Dans ces deux essais, le sorgho représentait 50% de la ration alimentaire. Dans un premier essai nous avons testé l'in-

fluence de la forme de présentation du sorgho pendant la période de croissance-finition sur les performances des oies (Arroyo *et al* 2012a) : incorporé dans un granulé complet, concassé, ou sous forme de graines entières en mélange avec des granulés riches en protéines. Les résultats ont montré que le poids vif à la mise en gavage (à 14 semaines d'âge) était plus faible chez les animaux consommant du sorgho concassé par rapport aux animaux consommant un aliment complet granulé (- 6%, P < 0,05 pour les mâles et - 3%, P < 0,05 pour les femelles). La consommation alimentaire pendant la phase de croissance-finition était de 5,5% plus élevée pour les oies recevant un mélange à base de graines entières de sorgho que pour les oies recevant le sorgho concassé ou l'aliment granulé complet (P < 0,05, tableau 3) mais l'indice de consommation (6,91, P > 0,05) était similaire dans les trois groupes. Les résultats de ce premier essai suggèrent donc qu'un régime « fermier » présenté sous la forme d'un mélange de graines entières de sorgho et de granulés riches en protéines est une perspective intéressante. En revanche, l'utilisation d'un aliment sous forme de graines de sorgho concassées, est à proscrire car sa faible granulométrie réduit ses capacités de préhension par les animaux et par conséquent leurs performances.

Le second essai avait pour but d'étudier les conséquences d'une alimentation à base de graines entières de sorgho sur le comportement alimentaire des oies (Arroyo *et al* 2013b). Nous avons montré que la forme de présentation de l'aliment, granulée ou mélange à base de graines entières, n'affecte pas la consommation alimentaire ni l'indice de consommation des oies. Toutefois, à la mise en gavage, les animaux recevant des graines entières sont plus lourds que les animaux recevant un granulé complet (+ 4%, P < 0,01, tableau 3).

L'utilisation d'un aliment sous forme de mélange de graines entières de sorgho et de granulés riches en protéines est donc une stratégie intéressante pour nourrir des oies en croissance sans affecter de manière importante le comportement alimentaire ni les performances des animaux.

### 5.2 / Forme et taux d'incorporation du sorgho en gavage

Dans la pratique actuelle, les pâtées de gavage sont constituées de 39% d'eau, 59% de maïs et 2% de complément riche en vitamines et minéraux (Arroyo *et al* 2012c). Le maïs est apporté sous forme d'un mélange de graines entières

**Tableau 3.** Effet de la forme de présentation du sorgho et du maïs sur les performances zootechniques en croissance-finition et en période de gavage (d'après Arroyo et al 2012a, b et 2013b).

	Arroyo et al (2012a)			Arroyo et al (2012b)		Arroyo et al (2013b)			
	Sorgho granulé	Sorgho concassé	Sorgho mélange <sup>(1)</sup>	Sorgho granulé	Sorgho Mélange <sup>(1)</sup>	Maïs granulé	Sorgho granulé	Maïs concassé <sup>(1)</sup>	Sorgho mélange <sup>(1)</sup>
<b>Période de croissance-finition</b>									
Période (jours)	42-98			42-97		52-102			
Consommation (g/oie)	17 962 <sup>b</sup>	17 843 <sup>b</sup>	18 893 <sup>a</sup>	13 968	14 480	14 227 <sup>b</sup>	15 021 <sup>b</sup>	15 442 <sup>a</sup>	15 424 <sup>a</sup>
Mortalité (%)	4,5	4,5	4,5	1,6	1,6	-	-	-	-
Poids vifs à la fin de l'élevage (g)	5552 <sup>a</sup>	5302 <sup>b</sup>	5 672 <sup>a</sup>	5 553 <sup>b</sup>	5 759 <sup>a</sup>	5 673 <sup>b</sup>	5 728 <sup>b</sup>	5 913 <sup>a</sup>	5 931 <sup>a</sup>
<b>Période de gavage</b>									
Consommation (g/oie)	-	-	-	-	-	13 324	13 238	13 223	13 264
Mortalité (%)	-	-	-	-	-	6,1	4,6	12,1	16,8
Poids vifs abattage (g)	-	-	-	-	-	7 968	8 122	8 256	8 219
Poids de foie (g)	-	-	-	-	-	858	880	889	816

<sup>(1)</sup> céréales entières (ou concassées) + granulés riches en protéines.

<sup>a, b</sup> : Les valeurs affectées d'une même lettre ne diffèrent pas significativement au seuil de 5%.

(42%) et de farine (58%). Le maïs est très riche en amidon ce qui permet d'initier et de maintenir la stéatose hépatique (Baéza *et al* 2013). Des travaux précédents ont en effet montré que des ingrédients riches en protéines (soja, Nir *et al* 1972), en glucides non amylacés (figues, Babilé *et al* 1998) ou en lipides (tourteaux de noix, Bouillier-Oudot *et al* 2002) sont moins efficaces pour induire la stéatose hépatique que les ingrédients riches en amidon. Cette mise au point technique avait pour objectif de tester des pâtées de gavage à base de sorgho, céréale riche en amidon (Sauvant *et al* 2004, tableau 1), qui soient techniquement fonctionnelles et zootechniquement performantes en substi-

tuant par du sorgho la fraction de graines entières (42% de sorgho), de farine (58% de sorgho) ou la totalité du maïs (100% de sorgho) (Arroyo *et al* 2013c). D'un point de vue fonctionnel, il s'agissait d'établir la quantité d'eau nécessaire pour que la texture de la pâtée permette une distribution facile et homogène. Les résultats ont montré qu'il est nécessaire d'ajouter plus d'eau (+ 13%) lorsque la pâtée est composée de sorgho plutôt que de maïs. Nous avons également montré que l'utilisation du sorgho pendant le gavage est techniquement possible puisque, quel que soit le taux d'incorporation du sorgho, le poids des foies produits (1 028 g, tableau 4) est similaire à celui obtenu avec une pâtée de gavage ne contenant que du maïs (906 g, Fernandez

*et al* 2003). Les oiseaux recevant une pâtée contenant 100% de sorgho (farine et graines) ont un indice de consommation plus faible et un foie gras plus lourd que les oiseaux recevant une pâtée contenant des graines de maïs et de la farine de sorgho (respectivement - 4% et + 8%,  $P < 0,05$ , Arroyo *et al* 2013c). Cette pratique est donc faisable et potentiellement intéressante même si elle nécessite un ajustement technique pour remédier à la diminution la valeur commerciale des foies qui se trouvent alors en dehors de la gamme recherchée par les conserveurs (850-950 g). Un des ajustements techniques possible est la diminution de la durée du gavage ou des quantités distribuées.

**Tableau 4.** Effets de la substitution totale ou partielle du maïs par du sorgho sur les performances des oies pendant le gavage (d'après Arroyo et al 2013c et d).

Elevage	Arroyo et al (2013c)			Arroyo et al (2013d)			
	Maïs granulé			Maïs granulé		Sorgho granulé	
Gavage	Sorgho farine /Maïs grain	Maïs farine /Sorgho grain	Sorgho farine /Sorgho grain	Maïs farine /Maïs grain	Sorgho farine /Sorgho grain	Maïs farine /Maïs grain	Sorgho farine /Sorgho grain
Consommation (g/oie)	13 259	13 210	13 192	12 725	12 699	12 759	12 773
Mortalité (%)	6,8	6,8	4,5	1,5 <sup>b</sup>	3,1 <sup>b</sup>	14,3 <sup>a</sup>	6,2 <sup>b</sup>
Poids vifs abattage (g)	8 278	8 334	8 312	8 252 <sup>b</sup>	8 315 <sup>a</sup>	8 224 <sup>b</sup>	8 410 <sup>a</sup>
Poids de foie (g)	982 <sup>b</sup>	1 033 <sup>ab</sup>	1 069 <sup>a</sup>	910 <sup>bc</sup>	943 <sup>b</sup>	860 <sup>c</sup>	1 026 <sup>a</sup>

<sup>a, b, c</sup> : Les valeurs affectées d'une même lettre ne diffèrent pas significativement au seuil de 5%.

## 6 / Conséquences de la substitution du maïs par du sorgho sur les performances zootechniques

La substitution partielle ou totale du maïs par du sorgho dans l'alimentation des oies est techniquement faisable. Nous avons donc ensuite évalué les réponses du système biologique lors des phases de croissance-finition et de gavage en comparant les performances des animaux alimentés avec du maïs ou du sorgho.

### 6.1 / Effets de l'utilisation du sorgho en élevage

La céréale incorporée dans l'aliment de croissance-finition, maïs ou sorgho, n'a aucun effet significatif sur la consommation alimentaire totale pendant la période de croissance-finition ( $P > 0,05$ ) ni le poids vif ( $P > 0,05$ , tableau 3, Arroyo *et al* 2012b). Toutefois la présentation de la céréale a une influence sur le poids de carcasse (+ 3,9%,  $P < 0,001$ ) et le développement des intestins (+ 9,3%,  $P < 0,001$ ) qui sont plus élevés lorsque le régime alimentaire est offert en mélange par rapport à une alimentation complète en granulés. Les animaux nourris avec des aliments complets granulés ont un volume de jabot plus important (+ 10,1%,  $P < 0,05$ ) que les animaux nourris avec un mélange à base de graines entières. La nature de la céréale et la forme de présentation de l'aliment n'ont aucun effet sur les caractéristiques de la carcasse à la fin du gavage. Cependant, la diminution du volume de jabot consécutive à l'utilisation de graines entières pendant la phase de croissance-finition entraîne une mortalité plus élevée pendant la phase de gavage (+ 13 pts), chez les jars uniquement. Nous pouvons

formuler l'hypothèse selon laquelle la plus faible capacité de gonflement des graines entières comparées aux aliments granulés expliquerait le plus petit volume du jabot des oies et leur moindre adaptation au gavage (Arroyo *et al* 2012b). Ce point pourrait être amélioré en associant au sorgho des matières premières à forte capacité de gonflement dans l'alimentation des oies. Par ailleurs, malgré une composition nutritionnelle proche, la nature de l'amidon est différente entre les deux céréales (amylopectine vs amylose). L'adaptation des capacités digestives des animaux n'a peut-être pas été suffisamment rapide pour qu'ils fassent ultérieurement face au challenge du gavage.

### 6.2 / Effets de l'utilisation du sorgho pendant le gavage

Nous avons étudié les conséquences d'une substitution partielle ou totale (croissance-finition et/ou gavage) du maïs par du sorgho sur les performances des oies et la qualité du foie gras (Arroyo *et al* 2013d). La céréale utilisée n'a pas modifié le poids vif des oies à leur entrée en gavage ( $P > 0,05$ ) ni la quantité de nourriture distribuée pendant le gavage ( $P > 0,05$ , tableau 4). Le animaux recevant une pâtée composée de sorgho pendant le gavage ont des foies plus lourds (+ 11%,  $P < 0,001$ ) et moins jaune (- 25%,  $P < 0,001$ ) que les oiseaux gavés avec du maïs. Les teneurs en matière sèche et en lipides des foies issus d'animaux gavés avec du sorgho sont plus faibles (- 2% et - 3% respectivement,  $P < 0,05$ ) tandis que la teneur en cendres est plus élevée (+ 20%,  $P < 0,05$ ). La composition en acides gras est aussi modifiée, avec notamment une teneur plus élevée en acide gras C-18 (+ 8%) et une teneur plus faible en acide gras C-18:1 $\omega$ 9 (- 2%,  $P < 0,05$ , Arroyo *et al*

2013d). Ces modifications biochimiques sont toutefois de faible ampleur.

Une substitution totale du maïs par du sorgho (*i.e.* pendant les phases d'élevage et de gavage) permet d'augmenter la performance pondérale des foies ; elle réduit toutefois l'intensité de leur couleur jaune car le sorgho est moins riche en caroténoïdes que le maïs (Sauvant *et al* 2004). En revanche, nous avons confirmé dans cet essai qu'une utilisation du sorgho pendant la phase de croissance-finition uniquement, augmente la mortalité des animaux pendant le gavage (14,3% vs 3,6%,  $P < 0,05$ , cf. § 6.1).

## 7 / Conséquences des innovations sur la durabilité du système de production

### 7.1 / Impacts environnementaux

Une substitution totale du maïs par du sorgho, à la fois pendant les phases de croissance-finition et de gavage, entraîne une baisse des impacts environnementaux de la production de 1 kg de foie gras calculés par ACV, pour le potentiel de réchauffement climatique (- 17%), le potentiel d'acidification (- 12%), l'utilisation d'énergie primaire (- 23%) et l'utilisation de la ressource en eau (- 62% ; Arroyo *et al* 2013f). A l'inverse, l'occupation des surfaces agricoles est plus élevée (+ 7%) et le potentiel d'eutrophisation est similaire (tableau 5). L'intérêt d'utiliser des aliments à moindres impacts environnementaux pour réduire les effets des systèmes de production animale a déjà été démontré pour d'autres espèces et d'autres matières premières (le porc : van der Werf *et al* 2005, Mosnier *et al* 2011 ; le saumon : Pelletier et Tyedmers 2007 ; la volaille : Mosnier *et al* 2011,

**Tableau 5.** Effets de la substitution du maïs par du sorgho sur les impacts environnementaux potentiels de la production d'un kg de foie gras <sup>(1)</sup> (d'après Arroyo *et al* 2013f).

	Maïs	Sorgho <sup>(2)</sup>
	Moyenne et écart-type	Moyenne
Potentiel de réchauffement climatique (g CO <sub>2</sub> -eq.)	35,0 ± 3,5	29,2
Potentiel d'eutrophisation (g PO <sub>4</sub> -eq.)	0,25 ± 0,03	0,25
Potentiel d'acidification (g SO <sub>2</sub> -eq.)	0,49 ± 0,04	0,43
Utilisation d'énergie primaire (MJ)	261 ± 30	201
Utilisation de la ressource en eau (L)	2547 ± 275	977
Occupation des surfaces agricoles (m <sup>2</sup> .an)	44,6 ± 5,7	47,9

<sup>(1)</sup> Produit cru à la sortie de l'abattoir, allocation économique des impacts.

<sup>(2)</sup> Substitution totale pendant les périodes de croissance-finition et de gavage, aliment apporté sous forme de granulé complet pendant la période de croissance-finition.

Nguyen *et al* 2012). Toutefois, dans ces travaux précédents, seul le gain théorique avait été estimé, en faisant l'hypothèse que le changement d'aliment ne modifierait pas les performances des animaux. Cependant, Arroyo *et al* (2013f) ont montré que le bénéfice théorique apporté par des aliments à moindre impacts environnementaux ne se transforme en bénéfice réel pour le système de production que si ces aliments n'entraînent pas de perte d'efficacité du système, tels qu'une augmentation de la mortalité ou une réduction de l'efficacité alimentaire. Ainsi, l'augmentation de la mortalité des animaux pendant le gavage lors d'un changement de céréale entre la période de croissance-finition et de gavage (+ 13pts, Arroyo *et al* 2013d) dégrade la plupart des impacts environnementaux du système de production du foie gras malgré l'utilisation d'un aliment ayant lui-même de moindres impacts environnementaux. Toutefois, des solutions faciles à mettre en œuvre existent pour contrecarrer les effets négatifs observés (cf. § 5.2 et 6.1).

## 7.2 / Impacts économiques et sociaux à l'échelle de l'atelier de production

Les innovations proposées ont des conséquences pratiques sur la conduite

et les performances dans les ateliers d'élevage et de gavage, mais aussi sur l'assolement des surfaces agricoles (production de sorgho). Comme l'analyse environnementale du cycle de vie, l'analyse sociale et l'analyse du coût du cycle de vie, ont pour objectifs de quantifier les impacts sociaux et les coûts associés à la fabrication d'un produit. Toutefois, ces méthodes sont encore en développement et d'application pratique parfois lointaine pour les producteurs. C'est pourquoi, l'évaluation économique et sociale a été réalisée à l'échelle de l'atelier de production (ici élevage + gavage) et s'est basée sur la grille d'objectifs de durabilité définie par Fortun-Lamothe *et al* (2012). Le système d'élevage étudié regroupe le sous-système décisionnel (l'éleveur) et le sous-système biotechnique (ateliers d'élevage et de gavage). La production d'aliment est considérée ici comme extérieure au système (intrans). Les animaux et les effluents sont les principales sorties du système. Des indicateurs ont été proposés pour évaluer la réponse à ces objectifs puis calculés à partir de la réponse biologique du système (Arroyo *et al* 2013d).

Les impacts économiques de la substitution totale du maïs par du sorgho sont mitigés (Arroyo *et al* 2013a). On observe une amélioration de l'indice de

consommation (- 9%, tableau 6), une réduction du prix de l'aliment (- 5%) et une augmentation du poids de foie (+ 13%). Toutefois, une augmentation du poids des foies réduit leur valeur commerciale (- 12%). On observe aussi une réduction de l'efficacité du gavage (- 2,5 pts) en raison notamment d'une fréquence plus élevée de repas non distribués. Ces deux derniers points peuvent facilement être maîtrisés par une réduction de la durée du gavage et une meilleure préparation des animaux.

Les impacts sociaux de la substitution du maïs par du sorgho sont également mitigés : l'état corporel des animaux (état d'emplumement à la mise en gavage : + 33%, un faible score correspond à un meilleur état) ainsi que le rendement à la cuisson du foie (+ 3 pts) sont améliorés, et le taux de mortalité en élevage est plus faible (- 0,5 pt). En revanche, le classement commercial des foies (- 30 pts) et le taux de mortalité en gavage (+ 4,6 pts) sont détériorés. L'intention de consommer à nouveau le produit par le consommateur, mesurée lors d'un test hédonique, est diminuée (- 17 pts, tableau 6). Ceci est expliqué par une couleur de foie plus pâle lorsque les animaux sont gavés avec une pâtée contenant uniquement du sorgho. Un phénomène similaire de réduction d'intensité

**Tableau 6.** Conséquences économiques et sociales de la substitution du maïs par du sorgho dans l'alimentation des oies (d'après Arroyo *et al* 2013a).

	Maïs	Sorgho <sup>(1)</sup>
<b>Indicateurs de durabilité économique</b>		
Prix des aliments utilisés/animal (€) <sup>(2)</sup>	8,0	7,6
Efficacité du gavage (%)	99,9	97,4
Poids de foie/ Poids des animaux mis en gavage (g foie/g PV)	0,16	0,18
Poids de foie/ Quantité de pâtée (g foie/g MS)	11,1	12,2
Indice de consommation en gavage	4,90	4,44
Valeur commerciale des foies (€/kg de foie) <sup>(3)</sup>	67	59
<b>Indicateurs de durabilité sociale</b>		
Classement commercial des foies (% d'extra-première)	74	44
Rendement à la cuisson (%)	91	94
Intension de consommation répétée du produit (%)	69	52
Taux de mortalité en élevage (%)	1,6	1,1
Taux de mortalité en gavage (%)	1,5	6,1
Etat d'emplumement à la mise en gavage	2,1	1,4

<sup>(1)</sup> Substitution totale pendant les périodes de croissance-finition et de gavage.

<sup>(2)</sup> Prix des matières premières basés sur la moyenne des prix 2010 (port de Bordeaux).

<sup>(3)</sup> Prix coopérative Foie Gras Périgord, Sarlat.

de la couleur, lié à la plus faible teneur en caroténoïdes du sorgho, a déjà été observé dans la peau des poulets et dans le jaune d'œuf de poules nourries avec du sorgho (Gualtieri et Rapaccini 1990). Ce phénomène peut être facilement contrecarré par l'ajout de caroténoïdes dans la pâtée de gavage. Par ailleurs, la réduction du classement commercial des foies est liée à des foies un peu trop lourds. Cela pourrait facilement être corrigé en réduisant la durée du gavage (de 1 ou 2 jours), le nombre de repas ou la quantité d'aliment distribuée. Ceci diminuerait alors aussi la mortalité en gavage. Cet ajustement n'a pas été réalisé dans nos expérimentations, afin de comparer les systèmes maïs et sorgho « toutes choses égales par ailleurs ». Mais ces limites peuvent être facilement contournées par un ajustement des pratiques d'élevage.

## 8 / Perspectives de travail dans une démarche de conception incrémentale

Nos résultats suggèrent que la réduction des impacts environnementaux de la production du foie gras d'oie en modifiant les stratégies alimentaires passe majoritairement par l'amélioration de l'efficacité du système de production. D'un point de vue pratique, à l'issue de ce travail, les perspectives de recherches portent en premier lieu sur une meilleure maîtrise technique de l'utilisation du sorgho et des céréales sous forme « fermière » pour maintenir toutes les performances zootechniques des animaux au niveau obtenu avec l'utilisation du maïs. Mais ce travail a également permis d'identifier des manques de connaissances sur les besoins nutritionnels et le développement structurel et fonctionnel du tractus digestif des oies.

### 8.1 / Maîtrise technique de l'utilisation de graines entières dans l'alimentation des oies

D'un point de vue pratique, il s'agit de limiter les effets négatifs observés lors de l'utilisation des graines entières : animaux plus lourds (Arroyo *et al* 2012a, b et 2013b) et jabots peu développés (Arroyo *et al* 2012b) au début du gavage, ce qui entraîne une augmentation de la mortalité pendant le gavage. L'utilisation de l'alimentation séquentielle pourrait limiter ces effets négatifs. Les travaux d'Umar Faruk *et al* (2010) ont montré, chez la poule pondeuse, que l'utilisation d'une alimentation séquentielle améliore l'indice de consommation et diminue le dépôt de gras abdominal. Cette technique semble donc prometteuse chez l'oie en croissance pour utiliser les graines entières de sorgho tout en limitant ses inconvénients sur l'excès de poids en fin de gavage. Il

conviendra de vérifier si cela permet également le développement attendu du volume du jabot.

### 8.2 / Connaissance des besoins nutritionnels des oies et système d'alimentation

Lorsque les oies reçoivent un mélange de graines entières et de granulés riches en protéines, elles augmentent progressivement leur consommation de céréales au cours de la période de croissance-finition (Arroyo *et al* 2012a). Cela suggère que ces animaux adaptent progressivement leur ingestion à leurs besoins nutritionnels. Il semble donc intéressant de continuer à préciser l'évolution de leurs besoins nutritionnels. Si l'aliment est distribué sous forme de granulés complets, cela permettra de proposer en fin de phase d'élevage un aliment plus adapté aux besoins des animaux et donc d'améliorer leur efficacité alimentaire. Si l'aliment est composé de graines entières, cela permettra d'ajuster le ratio céréale / granulés protéiques afin d'optimiser les performances des animaux.

Le déclenchement et la stimulation de la stéatose hépatique nécessitent des apports élevés en glucides digestibles sous forme d'amidon (Baéza *et al* 2013). Toutefois, l'augmentation du poids des foies lorsque les animaux sont gavés avec du sorgho suggère que le niveau protéique de la pâtée semble également un facteur important pour le développement des foies, puisque la teneur en protéine du sorgho est légèrement supérieure à celle du maïs (+ 1,3 pts). L'augmentation du poids des foies n'est pas forcément un objectif intéressant en soi puisqu'au delà d'un certain seuil (950 g), leur valeur commerciale est dégradée. En revanche, une stimulation maîtrisée de la stéatose hépatique pourrait permettre d'envisager une réduction de la durée de gavage (de 1 à 2 jours) pour l'obtention de foies appartenant à la gamme de poids demandée par la profession sans augmenter la mortalité. Ceci permettrait d'améliorer les performances de durabilité sociale de l'atelier de production (durée du travail) tout en maintenant, voire améliorant, la performance de durabilité économique.

Il semble donc intéressant de mieux préciser les apports optimaux de protéines au cours de la phase de gavage (Nir *et al* 1972). Il conviendra aussi de vérifier les conséquences environnementales d'une augmentation de la teneur en protéines de la ration de gavage.

### 8.3 / Connaissance du développement structurel et fonctionnel du tractus digestif des oies

Un développement suffisant du volume du jabot à la fin de la phase d'élevage

est un élément clé de la réussite du gavage (Arroyo *et al* 2012c). Arroyo *et al* 2012b ont observé qu'une capacité d'hydratation réduite des aliments, comme cela est le cas pour les graines entières comparées aux aliments granulés, pouvait expliquer un faible développement du jabot des animaux et par conséquent augmenter la mortalité des animaux pendant le gavage. Il semble donc intéressant de mieux comprendre les relations entre la capacité d'hydratation des aliments, le développement du jabot et les performances des animaux pendant le gavage. La taille des particules, la teneur et la nature des fibres végétales ainsi que la nature de l'amidon semblent liés à la capacité d'hydratation des aliments. D'un point de vue pratique, l'incorporation de matières premières à forte capacité d'hydratation dans l'alimentation des oies au cours de la phase de finition semble une perspective très intéressante pour augmenter le volume du jabot et préparer les animaux au gavage. Plusieurs coproduits de matières premières entrant dans l'alimentation animale présentent de fortes capacités d'hydratation (son de blé, drêche, coques, pulpe..., Arroyo *et al* 2013e). Leur utilisation pourrait donc également entraîner un bénéfice environnemental et économique pour le système de production.

Les pâtées de gavage actuelles contiennent 48% de particules dont la taille est supérieure à 4 mm et 43% de particules dont la taille est comprise entre 0,5 et 2 mm (Arroyo *et al* 2013d). Or, le gavage a été réalisé avec succès à partir d'une pâtée à base de sorgho présentant un profil granulométrique totalement différent (46% de particules de taille comprise entre 2 et 4 mm et 36% de particules dont la taille est comprise entre 0,5 et 2 mm). Il semble donc intéressant de mieux préciser les relations entre la granulométrie de l'aliment distribué pendant le gavage et les performances des animaux. On sait que ce paramètre influence le transit et donc la digestibilité des aliments. De plus, l'utilisation d'une matière première de présentation unique, par exemple sous forme de farine grossière seulement au lieu d'un mélange graines / farine pourrait faciliter le travail de préparation de la pâtée de gavage, donc améliorer les conditions de travail et la productivité des gaveurs.

### 8.4 / Approfondissement de l'évaluation du système

L'évaluation de la sensibilité des résultats issus des méthodes d'évaluation de la durabilité est une question d'actualité (Chen et Corson 2012). Dans notre travail, nous avons défini un système de production de foie gras d'oie représentant les pratiques françaises moyennes. Nous avons plusieurs résultats expérimentaux

concernant la production de foie gras lorsque les oies sont nourries avec du maïs, ce qui a permis d'obtenir une variabilité dans l'estimation des impacts et une sensibilité de l'analyse aux pratiques d'élevage (Arroyo *et al* 2013f). À l'inverse, pour l'estimation des intrants et des émissions liées à la production de matières premières et d'aliments, nous avons utilisé des itinéraires techniques et des rendements moyens pour le maïs et le sorgho dans leurs bassins de production majoritaires (Landes et Midi-Pyrénées, respectivement). Pourtant, les pratiques de production des céréales présentent quelques disparités régionales et des variations annuelles. Il serait intéressant d'étudier les conséquences de la prise en compte de ces disparités dans l'analyse pour affiner le diagnostic initial mais également l'intérêt final.

### 8.5 / Suite de la démarche d'éco-conception

Réduire la mortalité des animaux et améliorer l'efficacité de transformation de l'aliment pendant la phase de gavage permet de réduire les impacts environnementaux de la production de foie gras. Une nouvelle phase d'expérimentation serait donc souhaitable portant en priorité sur la préparation des animaux au gavage, en utilisant en fin de phase de croissance-finition des matières premières à forte capacité d'hydratation. Il s'agit de combiner les bénéfices de l'utilisation du sorgho tout en permettant un développement satisfaisant du jabot pour limiter la mortalité pendant le gavage. La durée du gavage sera également diminuée de quelques repas afin de rester dans la gamme de poids attendue par les conserveurs et ne pas dépasser les capacités d'adaptation des animaux. À la fin de cette nouvelle phase d'expérimentation, une phase de diagnostic permettra d'évaluer l'ensemble des gains obtenus par ces divers ajustements. Les données zootechniques seraient alors suffisantes pour montrer l'intérêt de cette innovation et proposer un transfert vers les producteurs. Toutefois, l'intérêt technique ou économique d'une nouveauté n'est pas, loin s'en faut, le seul critère garantissant son transfert. Des freins réglementaires ou organisationnels peuvent en effet s'y opposer. Ainsi, productions de foie gras et de maïs sont étroitement liées géographiquement (même

bassin de production) mais aussi réglementairement. En effet, l'utilisation de maïs pour le gavage des animaux est inscrite dans les nombreux signes de qualité (label rouge, IGP) protégeant le produit. Cette situation est un réel frein à la substitution du maïs par du sorgho pour la production de foie gras. Toutefois, des évolutions sur la nature des contraintes imposées aux producteurs (aussi bien de céréales que de foie gras) concernant les impacts environnementaux des productions ou bien l'affichage environnemental sur les produits de consommation pourraient faire évoluer cette situation. Enfin, le changement climatique pourrait remettre en cause la facilité voir l'intérêt de la culture du maïs dans le sud ouest. Le sorgho pourrait alors éventuellement constituer une alternative intéressante également d'un point de vue agronomique.

### Conclusion

Le programme de recherche que nous avons présenté avait pour ambition de proposer des innovations dans le système de production du foie gras d'oie afin de réduire ses impacts environnementaux sans fragiliser sa rentabilité économique ni affecter la qualité des produits, améliorant de ce fait sa durabilité. L'innovation concernait la substitution du maïs par du sorgho dans la ration alimentaire des oies en phase de croissance et pendant le gavage.

Nous avons montré que la substitution totale du maïs par du sorgho est faisable techniquement et favorable au regard de certaines performances zootechniques. Elle permet de réduire la plupart des impacts environnementaux et d'améliorer de nombreux indicateurs économiques et sociaux du système de production. D'un point de vue cognitif, ce travail a aussi mis en lumière les relations étroites qui existent entre les pratiques dans l'atelier d'élevage et les performances dans l'atelier de gavage, justifiant, s'il le fallait, l'intérêt d'une approche systémique du fonctionnement du système de production du foie gras. Il offre des perspectives de recherches intéressantes.

À court terme et d'un point de vue finalisé, la démarche d'innovation incrémentale

doit être poursuivie en adaptant les modalités d'utilisation du sorgho pour pouvoir bénéficier de son intérêt environnemental sans pâtir de ses quelques limites actuelles sur les performances économiques et sociales. Par exemple, une meilleure gestion des transitions alimentaires devrait limiter la mortalité en gavage, et une réduction de la durée du gavage devrait maintenir le poids de foie dans la gamme attendue par les conserveurs. Une pâtée composée en partie seulement de sorgho pourrait aussi permettre de bénéficier de ses avantages en limitant ses conséquences sur la couleur du foie. Ces ajustements techniques réalisés, le sorgho deviendra une matière première extrêmement prometteuse pour améliorer la durabilité de la production de foie gras d'oie. Elle permettrait notamment d'améliorer la flexibilité du système de production en rompant le monopole du maïs, dont le prix a montré une certaine volatilité au cours des dernières années. Cela implique toutefois, un changement d'utilisation des surfaces agricoles (cultiver du sorgho à la place du maïs). Ce choix revient à l'éleveur lorsqu'il produit lui-même le maïs qu'il distribue à ses animaux, si ses terres le permettent. Mais il procède d'une stratégie plus globale dans les autres cas. L'évolution de certains cahiers des charges, rendant obligatoire l'utilisation du maïs pendant la phase de gavage, est également nécessaire (IGP, Label rouge).

À plus long terme et d'un point de vue scientifique, ce travail soulève des manques de connaissances sur les besoins nutritionnels, les facteurs de régulation de la prise alimentaire ainsi que le développement structurel et fonctionnel du tractus digestif des oies.

### Remerciements

Ce travail a bénéficié du soutien financier de la Chambre d'Agriculture de la Dordogne, de l'Association des éleveurs de Dordogne (ASSELDOR), de l'Association Nationale de la Recherche et de la Technologie (ANRT), de l'interprofession Foie gras (CIFOG) et du fond CASDAR (n° 9023, 2010-2013). Nous remercions aussi l'ensemble du personnel de la Ferme de l'oie ainsi que E. Baéza, C. Leterrier, C. Bannelier, H. Manse, B. Méda et A. Wilfart.

## Références

- Abdollahia M.R., Ravindrana V., Svihus B., 2013. Pelleting of broiler diets: An overview with emphasis on pellet quality and nutritional value. *Anim. Feed Sci. Technol.*, 179, 1-23.
- Amigues J.P., Debaeke P., Itier B., Lemaire G., Seguin B., Tardieu F., Thomas A., 2006. Sécheresse et agriculture. Réduire la vulnérabilité de l'agriculture à un risque accru de manque d'eau. Expertise scientifique collective, synthèse du rapport, INRA, 72p.
- Arvalis-Institut du végétal., 2010. Sorgho grain culture et utilisation, 28p.
- Ardente F., Cellura M., 2012. Economic allocation in Life Cycle Assessment. *J. Ind. Ecol.*, 16, 387-398.
- Arroyo J., Auvergne A., Dubois J.P., Lavigne F., Bijja M., Fortun-Lamothe L., 2012a. Influence of feeding sorghum on the growth, gizzard development and carcass traits of growing geese. *Animal.*, 6, 1583-1589
- Arroyo J., Auvergne A., Dubois J.P., Lavigne F., Bijja M., Bannelier C., Fortun-Lamothe L., 2012b. Effects of presentation and type of cereals (corn or sorghum) on performance of geese. *Poult. Sci.*, 91, 2063-2071.
- Arroyo J., Fortun-Lamothe L., Dubois J.P., Lavigne F., Auvergne A., 2012c. Conduite et gestion des transitions alimentaires chez les oies destinées à la production de foie gras. *INRA Prod. Anim.*, 25, 419-430.
- Arroyo J., Aubin J., Auvergne A., Dubois J.P., Debaeke P., Fernandez X., Baéza E., Leterrier C., Fortun-Lamothe L., 2013a. Effets de la substitution du maïs par du sorgho sur la durabilité de la production de foie gras d'oie. 10<sup>èmes</sup> Journ. Rech. Avicoles et Palmipèdes à Foie Gras. La Rochelle, France, 94-98.
- Arroyo J., Auvergne A., Dubois J.P., Lavigne F., Bijja M., Bannelier C., Fortun-Lamothe L., 2013b. The influence of loose-mix feeding on behavior, feed intake and body weight of growing geese. *Poult. Sci.*, 92, 1454-1460.
- Arroyo J., Auvergne A., Dubois J.P., Lavigne F., Bijja M., Fortun-Lamothe L., 2013c. Influence of amount and form of sorghum in the diet on the performance of overfed geese. *J. Appl. Poult. Res.*, 22, 849-854.
- Arroyo J., Auvergne A., Dubois J.P., Lavigne F., Bijja M., Bannelier C., Manse H., Fortun-Lamothe L., 2013d. Effects of substituting yellow corn for sorghum in geese diets on magret and foie gras quality. *Poult. Sci.*, 92, 2448-2456.
- Arroyo J., Bannelier C., Rouillon V., Ramuscello R., Fortun-Lamothe L., 2013e. Capacité d'hydratation des aliments destinés à l'alimentation des volailles. 10<sup>èmes</sup> Journ. Rech. Avicoles et Palmipèdes à Foie Gras, La Rochelle, France, 734-738.
- Arroyo J., Fortun-Lamothe L., Auvergne A., Dubois J.P., Lavigne F., Bijja M., Aubin J., 2013f. Environmental influence of maize substitution by sorghum and diet presentation on goose foie gras production. *J. Clean. Prod.*, 59, 51-62.
- Babilé R., Chambert S., Everlet P., Auvergne A., Manse H., 1998. Caractérisation des tissus adipeux après gavage des canards au maïs ou au mélange figue-maïs. 3<sup>èmes</sup> Journ. Rech. Palmipèdes à Foie Gras, Bordeaux, France, 133-135.
- Baéza E., Marie-Etancelin C., Davail S., Diot C., 2013. La stéatose hépatique chez les palmipèdes. In : Palmipèdes à foie gras. Fortun-lamothe L. (Ed). Dossier, INRA Prod. Anim., 26, 403-414.
- Barbut L., Poux X., 2000. Impact environnemental de la culture du maïs dans l'Union Européenne. Étude de cas sur le bassin de l'Adour. Etude pour la Commission Européenne DG XI, 81p.
- Boggia A., Paolotti L., Castellini C., 2010. Environmental impact evaluation of conventional, organic and organic-plus poultry production systems using life cycle assessment. *World's Poult. Sci. J.*, 66, 95-114.
- Bouillier-Oudot M., Leprettre S., Dubois J.P., Babilé R., 2002. Utilisation du tourteau de noix en gavage : incidence sur les produits d'oies grasses. 5<sup>èmes</sup> Journ. Rech. Palmipèdes à Foie Gras, Pau, France.
- Cederberg C., Mattson B., 2000. Life cycle assessment of milk production – a comparison of conventional and organic farming. *J. Clean. Prod.*, 8, 49-60.
- Chen X., Corson M., 2012. Analysis and propagation of uncertainty in agricultural LCA (Poster); in: Corson, M.S., van der Werf, H.M.G (Eds), Book of Abstracts of the 8<sup>th</sup> Int. Conf. Life Cycle Assessment in the Agri-Food Sector (LCA Food 2012), 1-4 October 2012, Saint-Malo, France. INRA, Rennes, France, p933.
- CIFOG (Comité Interprofessionnel des palmipèdes à Foie Gras). 2012. Rapport économique 2011. Assemblée Générale du 22/06/2012. Saint Palais, France.
- Dozier W.A., Behnke K., Kidd M.T., Branton S.L., 2006. Effects of the addition of roller mill ground corn to pelleted feed on pelleting parameters, broiler performance, and intestinal strength. *J. Appl. Poult. Res.*, 15, 236-244.
- Farré I., Faci J.M., 2006. Comparative response of maize (*Zea mays* L.) and sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench) to deficit irrigation in a Mediterranean environment. *Agricult. Water Manag.*, 83, 135-144.
- Fernandez X., Leprettre S., Dubois J.P., Auvergne A., Babilé R., 2003. The influence of current parameters during the water-bath stunning of overfed geese (*Anser anser*) on blood loss and on fatty liver and meat downgrading. *Anim. Res.*, 52, 383-397.
- Food and Agriculture Organization (FAO) 2013. Statistics division. Production of pig meat and chicken meat. Retrieved April 20, [www.fao.org](http://www.fao.org)
- Fortun-Lamothe L., Litt J., Coutelet G., Gidenne T., 2012. A participatory approach to define objectives, criteria and indicators for evaluating the sustainability of rabbit rearing units. 10<sup>th</sup> World Rabbit Congress. Sharm el-Sheikh, Egypt, 5p.
- Gabriel I., Mallet S., Leconte M., 2003. Differences in the digestive tract characteristics of broiler chickens fed on complete pelleted diet or on whole wheat added to pelleted protein concentrate. *Br. Poult. Sci.*, 44, 283-290.
- Gualtieri M., Rapaccini S., 1990. Sorghum grain in poultry feeding. *World's Poult. Sci. J.*, 46, 246-254.
- Guéméné D., Guy G., 2004. The past, present and future of force-feeding and "foie gras" production. *World's Poult. Sci. J.*, 60, 210-222.
- Guinée J.B., Gorée M., Heijungs R., Huppes G., Kleijn R., de Koning A., van Oers L., Wegener Sleeswijk A., Suh S., Udo de Haes H.A., de Bruijn H., van Duin Rand Huijbregts M.A.J., 2002. Life cycle assessment: an operational guide to the ISO standards. Centre of Environmental Science, Leiden University, Leiden, the Netherlands, 19p.
- Guy G., Rousselot-Pailley D., Gourichon D., 1995. Comparison of geese, mule duck and muscovy duck after cramming. *Ann. Zootech.*, 44, 297-305.
- Jungbluth N., Itten R., Schori, S., 2012. Environmental impacts of food consumption and its reduction potentials; in: Corson, M.S., van der Werf, H.M.G (Eds), 8<sup>th</sup> Int. Conference on LCA in the Agri-Food Sector, 1-4 October 2012, Saint-Malo, France, 104-115.
- Leinonen I., Williams A.G., Wiseman J., Guy J., Kyriazakis I., 2012a. Predicting the environmental impacts of chicken systems in the United Kingdom through a life cycle assessment: Broiler production systems. *Poult. Sci.*, 91, 8-25.
- Leinonen I., Williams A.G., Wiseman J., Guy J., Kyriazakis I., 2012b. Predicting the environmental impacts of chicken systems in the United Kingdom through a life cycle assessment: Egg production systems. *Poult. Sci.*, 91, 26-40.
- Loi d'orientation agricole. 1999. Loi n° 99-574 du 9 juillet 1999 d'orientation agricole, Loi n° 99-publiée au Journal Officiel du 10 juillet 1999, disponible en ligne <http://www.legifrance.gouv.fr/affichTexte.do?cidTexte=JORF-TEXT000000395813>
- Mosnier E., van der Werf H.M.G., Boissy J., Dourmad J.Y., 2011. Evaluation of the environmental implications of the incorporation of feed-use amino acids in the manufacturing of pig and broiler feeds using Life Cycle Assessment. *Animal*, 5, 1972-1983.
- Nguyen T.T.H., Bouvarel I., Ponchant P., van der Werf H.M.G., 2012. Using environmental constraints to formulate low-impact poultry feeds. *J. Clean. Prod.*, 28, 215-224.
- Nir I., Perek M., Katz Z., 1972. The influence of soybean meal supplemented to maize diet of forced-fed geese upon their liver, organ and blood plasma components. *Ann. Biol. Anim. Biochim. Biophys.*, 12, 77-89.
- Nolot J.M., Debaeke P., 2003. Principes et outils de conception, conduite et évaluation de systèmes de culture. *Cah. Agric.*, 12, 387-400.
- Pelletier N., Tyedmers P., 2011. An ecological economic critique of the use of market information in life cycle assessment research. *J. Ind. Ecol.*, 15, 342-354.
- Rio M., Reyes T., Roucoules L., 2013. Toward proactive (eco) design process: modeling information transformations among designers activities. *J. Clean. Prod.*, 39, 105-116.
- Sauvant D., Perez J.M., Tran G., 2004. Tables of composition and nutritive value of feed materials: pigs, poultry, cattle, sheep, goats, rabbits, horses, fish. eds INRA Editions, Paris and Wageningen Academic Publishers, The Netherlands, 304p.

Steinfeld H., Gerber P., Wassenaar T., Castel V., Rosales M., de Haan C., 2006. Livestock's Long Shadow: Environmental Issues and Options. eds United Nations Food and Agriculture Organization: Rome, 408p.

Tuot T., 2007. Le Grenelle Environnement. Rapport du Rapporteur Général, disponible en ligne : <http://www.legrenelle-environnement.fr/grenelle-environnement/spip.php?article530>

Umar Faruk M., Bouvarel I., Meme M., Rideau N., Roffidal L., Tukur H.M., Bastianelli D., Nys Y., Lescoat P., 2010. Sequential feeding using whole wheat and a separate protein-mineral concentrate improved feed efficiency in laying hens. *Poult. Sci.*, 89, 785-796.

de Vries M., de Boer I.J.M., 2010. Comparing environmental impacts for livestock products: A review of life cycle assessments. *Livest. Sci.*, 128, 1-11.

van der Werf H.M.G., Petit J., 2002. Evaluation of the environmental impact of agriculture at the farm level: a comparison of twelve indicator-based methods. *Agricult. Ecosys. Environ.*, 93, 131-145.

van der Werf H.M.G., Petit J., Sanders J., 2005. The environmental impacts of the production of concentrated feed: the case of pig feed in Bretagne. *Agricult. Sys.*, 83, 153-177.

## Résumé

Cet article présente le déroulement d'une démarche d'éco-conception pour proposer des innovations permettant de réduire les impacts environnementaux de la production de foie gras d'oie. Une Analyse de Cycle de Vie portant sur l'itinéraire standard de production du foie gras d'oie français a permis de montrer que l'alimentation explique la majeure partie des impacts environnementaux de ce produit (plus de 50% en moyenne) et qu'elle représente donc le levier d'action le plus pertinent. Plusieurs expérimentations ont été réalisées afin d'évaluer les possibilités d'utilisation du sorgho, la réponse du système biologique par rapport à l'utilisation du maïs, et les conséquences sur la durabilité environnementale à l'échelle du cycle de vie du produit jusqu'à la sortie de l'abattoir et sur la durabilité économique et sociale à l'échelle de l'exploitation, d'une substitution du maïs par du sorgho dans la ration alimentaire des oies. Les travaux montrent qu'une substitution totale du maïs par du sorgho dans la ration alimentaire est techniquement possible. Elle réduit la plupart des impacts environnementaux de la fabrication d'1 kg de foie gras (potentiel de réchauffement climatique : - 18%, potentiel d'acidification : -12%, utilisation d'énergie primaire : - 23%, utilisation de la ressource en eau : - 62%) et améliore de nombreux indicateurs de performances de durabilité économique, tel que l'indice de consommation (- 9,4%) ou le poids de foie (+ 13%). Cependant certains indicateurs économiques et sociaux sont dégradés, tels que l'intention de consommer à nouveau le produit (- 17 pts) en raison d'un foie de couleur plus pâle, et l'augmentation de la mortalité en gavage (+ 4,6 pts). L'ensemble des résultats suggère que l'utilisation du sorgho dans l'alimentation des oies peut améliorer la durabilité de la production de foie gras. Plusieurs ajustements dans l'itinéraire de production sont nécessaires pour optimiser l'utilisation de cette matière première.

## Abstract

### *Design and evaluation of an innovative foie gras production system: substitution of corn by sorghum in geese as an example*

We present the results of an eco-design approach to offer innovations that reduce the environmental impacts of the production of *foie gras*. A Life Cycle Assessment was carried out on the standard French *foie gras* production system. It shows that the feed explains most of the environmental impact of the product (more than 50% on average) and thus represents the most powerful action point. Several experiments were conducted to evaluate the technical feasibility, the response of the biological system and the consequences on system sustainability of a substitution of corn by sorghum in the diet of geese. The studies show that the use of sorghum is technically possible and that complete substitution of corn by sorghum reduced the environmental impact of the production of 1 kg of *foie gras* (global warming potential: - 18%, acidification potential : - 12%, primary energy use: - 23%, water use: - 62%). However, some indicators were reduced, such as the intention to reuptake product (- 17 pts) due to a paler color of the fatty liver, and viability during the overfeeding period (+ 4.6 pts in mortality rate). The overall results suggest that the use of sorghum in the diet of geese may improve the sustainability of the production of *foie gras*. Some adjustments in production practices are needed to optimize the use of this feedstuff.

ARROYO J., AUBIN J., AUVERGNE A., DUBOIS J.-P., BRACHET M., FERNANDEZ X., DEBAEKE P., FORTUN-LAMOTHE L., 2013. Conception et évaluation d'un système innovant de production de foie gras : le cas de la substitution du maïs par du sorgho chez l'oie. In : Palmipèdes à foie gras. Fortun-Lamothe L. (Ed). Dossier, INRA Prod. Anim., 26, 435-448.