Outils et leviers pour favoriser le développement d'une génétique animale adaptée aux enjeux de l'agroécologie

Florence Phocas, Catherine C. Belloc, Luc Delaby, Jean-Yves Dourmad, Christian Ducrot, Bertrand Dumont, Pauline Ezanno, Gilles Foucras, Eliel González García, Dominique Hazard, et al.

▶ **To cite this version:**

Florence Phocas, Catherine C. Belloc, Luc Delaby, Jean-Yves Dourmad, Christian Ducrot, et al.. Outils et leviers pour favoriser le développement d'une génétique animale adaptée aux enjeux de l'agroécologie : Rapport final de l'étude n° SSP-2014-061. [Rapport Technique] SP-2014-061, 2015. hal-02794916

HAL Id: hal-02794916
https://hal.inrae.fr/hal-02794916

Submitted on 5 Jun 2020

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Outils et leviers pour favoriser le développement d'une génétique animale adaptée aux enjeux de l'agroécologie

Rapport final de l'étude n° SSP-2014-061

Auteurs INRA : F. Phocas (coord.), C. Belloc, L. Delaby, J.Y. Dourmad, C. Ducrot, B. Dumont, P. Ezanno, G. Foucras, E. Gonzales-Garcia, D. Hazard, L. Lamothe, C. Larzul, S. Mignon-Grasteau, C. Moreno, M. Tixier-Boichard

Auteurs ABCIS : M. Brochard (coord.), J. Bidanel, B. Frappat, S. Lubac

19/10/2015

La présente étude (référencée : SSP-DGPAAT-2014-11) a été réalisée à la demande et pour le compte du Ministère de l'Agriculture, de l'Agroalimentaire et de la Forêt (MAAF). Elle a été financée par le Programme 215 du MAAF.

Ce document n'engage que ses auteurs et ne constitue pas le point de vue du MAAF.

Table des matières

A. Contexte et Objet de l'étude 4

B. Etat des lieux des dispositifs de sélection actuels au regard de la prise en compte de systèmes de production non conventionnels 7

B.1. Etat des ressources génétiques disponibles en France en 2015 7

B.2. Principes sous-jacents aux programmes de sélection actuels 10

B.3. Les objectifs de sélection : situation actuelle et adéquation aux enjeux de l'agroécologie . 15

B.3.1. Les objectifs de sélection en filières de ruminants 15

B.3.2. Les objectifs de sélection en filières de monogastriques 23

C. Quels nouveaux critères de sélection pour favoriser le développement d'une génétique animale adaptée aux enjeux de l'agroécologie ? 33

C.1. Quels nouveaux critères de sélection pour améliorer la santé des animaux dans un contexte de conditions climatiques et/ou sanitaires variables non maîtrisées par l'apport préventif d'intrants énergétiques et pharmaceutiques ? 33

C.1.1. Adaptation à la chaleur 33

C.1.2. Résistance aux maladies 36

C.2. Quels nouveaux critères de sélection pour améliorer l'efficience de l'utilisation des ressources alimentaires par les animaux dans un contexte de limitation des émissions polluantes et de valorisation de ressources locales non directement valorisables en alimentation humaine ? 39

C.2.1. Efficacité alimentaire 40

C.2.2. Amélioration de l'empreinte environnementale des productions animales 44

D. Les programmes d'amélioration génétique actuels et leur adéquation aux attentes des systèmes agroécologiques 46

D.1. En filières de ruminants 46

D.1.1. Les programmes de sélection des bovins 47

D.1.2. Les programmes de sélection des petits ruminants 49

D.1.3. Le point de vue des éleveurs de ruminants 49

D.2. En filières de monogastriques 54

D.2.1. Les programmes de sélection des porcs. 55

D.2.2. Le point de vue des éleveurs de porcs 56

D.2.3. Les programmes de sélection des volailles. 59

D.2.4. Point de vue des acteurs des filières avicoles 59

E. Les leviers d'action pour favoriser le développement d'une génétique animale adaptée aux enjeux de l'agroécologie 64

E.1. Que faire pour favoriser le développement de nouveaux critères de sélection répondant aux enjeux de l'agroécologie ? 64

E.2. Quelles races ou quels croisements sont adaptés à des systèmes de production agroécologiques ? 66

E.3. Quelles stratégies de sélection et d'utilisation des reproducteurs ? 67

Pour conclure 71

Références 72

Annexe 1 : Dispositifs de sélection actuels dans les filières de ruminants, de porcs et de volailles 83

Annexe 1a. La sélection des ruminants en France 84

Annexe 1b. La sélection porcine en France 91

Annexe 1c. Structure de la filière avicole 94

Annexe 2 : Pourquoi prendre en compte la variabilité génétique chez les races d'élevage ? 97

Annexe 3 : Aptitudes animales 100

Annexe 4 : Méthodologie des enquêtes auprès d'éleveurs, organisations et acteurs étrangers 101

Annexe 5 : Trame d'enquête « Eleveur de Ruminants » 108

Annexe 6 : Trame d'enquête « Eleveur de Porcins » 113

Annexe 7 : Trame d'enquête « Eleveur de Volailles » 118

Annexe 8 : Synthèse des enquêtes « web survey on animal genetics and agroecology » 122

A. Contexte et Objet de l'étude

Le néologisme « agroécologie » est apparu dans la littérature dans les années 30, d'abord pour désigner une discipline scientifique au carrefour de l'écologie et de l'agronomie, puis à partir des années 70 un ensemble de pratiques et un mouvement social en réaction à l'intensification de l'agriculture (Wezel et al., 2009). Francis et al. (2003) ont encore élargi cette définition en considérant l'ensemble des dimensions environnementales et socio-économiques à l'échelle des filières. Dans son acception scientifique, qui est l'angle choisi dans cette étude, **l'agroécologie se définit comme l'application des concepts et principes de l'écologie à la conception et à la gestion d'agroécosystèmes durables**. La question du bouclage des cycles pour limiter les intrants et les pollutions par une meilleure réutilisation des sorties des différents ateliers est au cœur de ces problématiques. On vise également un recours accru à des régulations biologiques et écologiques que l'on cherche à piloter au mieux des attendus de l'élevage. Ceci implique de prendre en compte la diversité biologique à tous ses niveaux d'organisation, de comprendre et d'utiliser les capacités adaptatives des animaux et les interactions biotiques dans les agroécosystèmes, en considérant les systèmes de culture ou les systèmes d'élevage comme des écosystèmes particuliers (Dumont et al. 2013). Ainsi, l'agroécologie s'inscrit-elle dans un mouvement de fond autour du « Comment produire autrement ? » dans des systèmes de production dont on cherche à concilier les performances techniques, environnementales, économiques et sociales.

Lancé le 18 décembre 2012, le Projet Agro-Ecologique pour la France (PAEF) vise à conjuguer l'ensemble de ces performances tant au niveau de l'exploitation qu'au niveau collectif (territoires, filières, etc.). Il s'agit d'engager une évolution des systèmes de production, qui remette l'agronomie au cœur des pratiques, pour combiner ces différentes performances. La Loi n° 2014-1170 du 13 octobre 2014 dite Loi d'avenir pour l'agriculture, l'alimentation et la forêt en donne la définition suivante : « *Les politiques publiques visent à promouvoir et à pérenniser les systèmes de production agroécologiques, dont le mode de production biologique, qui combinent performance économique, sociale, notamment au travers d'un haut niveau de protection sociale, environnementale et sanitaire. Ces systèmes privilégient l'autonomie des exploitations agricoles et l'amélioration de leur compétitivité, en maintenant ou en augmentant la rentabilité économique, en améliorant la valeur ajoutée des productions et en réduisant la consommation d'énergie, d'eau, d'engrais, de produits phytopharmaceutiques et de médicaments vétérinaires, en particulier les antibiotiques. Ils sont fondés sur les interactions biologiques et l'utilisation des services écosystémiques et des potentiels offerts par les ressources naturelles, en particulier les ressources en eau, la biodiversité, la photosynthèse, les sols et l'air, en maintenant leur capacité de renouvellement du point de vue qualitatif et quantitatif. Ils contribuent à l'atténuation et à l'adaptation aux effets du changement climatique.* »

Dans ce cadre, l'agroécologie peut se décliner en un ensemble de pratiques dont l'objectif est d'amplifier les processus naturels pour concevoir des systèmes productifs, peu artificialisés, respectueux de l'environnement et moins dépendants des intrants. La gestion des agroécosystèmes appelle un compromis entre dynamiques naturelles et besoins pour la production agricole. Elle promeut des systèmes de production qui

- visent un recours accru à des régulations biologiques afin de concevoir/piloter des systèmes productifs moins dépendants des intrants et qui bouclent les cycles bio-géochimiques ;
- sont liés à leur environnement physique et cherchent à valoriser les interactions entre toutes les composantes du système (dont les productions végétales) ;
- considèrent la biodiversité comme une ressource à mieux utiliser pour renforcer les services écosystémiques, mais aussi à préserver en adaptant les pratiques.

Les spécificités des systèmes d'élevage ont longtemps été peu prises en considération par l'agroécologie (Gliessman, 2006). L'INRA a donc engagé une réflexion structurante pour analyser en quoi les concepts de l'agroécologie pouvaient contribuer à l'innovation dans les systèmes de production animale. Les principes

énoncés par Altieri (2002) dans le champ de la protection intégrée des cultures ont été le point de départ de cette réflexion. Ils ont été reformulés au travers de cinq grands objectifs appliqués aux productions animales (Dumont et al., 2013) :

1) contribuer à la gestion intégrée de la santé animale en mobilisant les capacités d'adaptation des animaux et en minimisant les intrants médicamenteux ;

2) diminuer les ressources nécessaires à la production en augmentant le rendement d'utilisation des ressources limitantes (azote, phosphore, etc.), en évitant d'utiliser les ressources directement valorisables par l'homme, et en préservant de manière naturelle les services de support à la production ;

3) limiter les émissions polluantes en réduisant les rejets animaux, et en optimisant les cycles biogéochimiques au sein des systèmes d'élevage et de polyculture-élevage ;

4) renforcer la résilience des systèmes en valorisant la diversité des ressources et la complémentarité des animaux ;

5) préserver la biodiversité en valorisant la biodiversité domestique, en adaptant les modes d'utilisation des couverts (pâturage, agroforesterie, etc.) et en construisant les paysages de manière à assurer la fourniture de services écosystémiques.

Ainsi, l'agroécologie représente-t-elle un changement de paradigme par rapport aux systèmes intensifs « classiques » (basés sur une forte utilisation d'intrants) car elle prend en compte le contexte local et les potentialités du milieu afin d'assurer une production stable sur le long-terme et non forcément maximale à court-terme. Il s'agit de mobiliser les capacités d'adaptation des animaux (Dumont et al., 2014), qu'elles soient comportementales (e.g. les apprentissages) ou physiologiques (e.g. la croissance compensatrice suite à une phase de restriction alimentaire), afin de tirer au mieux parti de la diversité des ressources, et en adaptant le cycle de production des animaux aux potentialités offertes par le système fourrager. Dans le champ de la gestion intégrée de la santé animale, on cherchera à perturber les cycles hôte-pathogènes pour limiter la virulence des pathogènes, pour accroître la résistance des animaux aux pathogènes, et à limiter l'usage des molécules chimiques. Les exploitations d'élevage relevant de l'agroécologie valorisent les savoir-faire spécifiques des éleveurs qui leur permettent d'optimiser les interactions entre les composantes du système ; ceci peut aussi modifier les caractéristiques des animaux afin que ceux-ci soient mieux adaptés à l'objectif de production des éleveurs. Ainsi, la transition agroécologique nécessite-t-elle un changement de posture des éleveurs, mais aussi de leur environnement technique (conseillers agricoles, vétérinaires, organismes de sélection), de la recherche et des décideurs publics. L'analyse des principes proposés au regard de systèmes-types et du contexte local est nécessaire à leur mise en œuvre effective, et des outils d'évaluation sont en cours de développement tant par la recherche (Botreau et al., 2014) que par les instituts techniques. Des questions de recherche ont également été proposées (Dumont et al., 2014). Elles montrent que même si l'agroécologie implique une démarche systémique à l'échelle de l'exploitation ou du territoire, la génétique animale ne doit pas être absente de ces réflexions.

Le rapport de M. Guillou et al. (2013) consacre ainsi une fiche action à ce sujet (n°13) qui évoque notamment les « Dispositions législatives ou réglementaires à modifier dans le domaine de la génétique végétale et animale pour accompagner le changement agroécologique ». Celle-ci souligne l'importance d'adapter les critères de performance pris en compte dans les programmes de sélection. L'application des principes de l'agroécologie peut en effet avoir pour conséquence de plus exposer les animaux aux agresseurs biotiques (par la baisse de l'utilisation des intrants médicamenteux, notamment les antibiotiques) ou abiotiques (stress thermique, …). L'accroissement du lien à l'environnement physique et la réduction des intrants conduisent à utiliser prioritairement des aliments produits localement (sur l'exploitation ou le territoire proche) dont la qualité peut être plus variable si les conditions de production sont moins maîtrisées en raison de la moindre utilisation des intrants. Ainsi, les animaux devront-ils mieux valoriser un plus large spectre de ressources et s'adapter aux fluctuations climatiques et sanitaires de leur environnement d'élevage. L'équilibre entre les caractères de production et les aptitudes fonctionnelles des animaux verra donc son importance accrue dans les programmes de sélection. Du fait des interactions génotype x milieu, les races locales sélectionnées dans un milieu spécifique pourraient connaître un regain d'intérêt, mais il faudra pour cela mieux caractériser leur réponse face à des variations des facteurs du milieu (Hoffmann, 2011). Enfin, la conduite des animaux peut

offrir de nouveaux leviers pour accroître la robustesse du troupeau, en valorisant la diversité des trajectoires adaptatives des animaux qui le composent (Puillet et al., 2010).

Dans ce cadre, l'objet de l'étude est d'analyser les marges de manœuvre relevant de la sélection animale qui soient à même d'améliorer l'adaptation des animaux à ces nouvelles conditions d'élevage. L'objectif final est la triple performance - économique, environnementale et sociale - des exploitations d'élevage. Le champ couvert concerne les bovins, les petits ruminants, les porcs et les volailles. Cette étude doit permettre d'identifier les initiatives déjà entreprises pour favoriser l'adaptation des animaux mais aussi proposer des évolutions de pratiques en matière de sélection permettant de mieux valoriser leurs capacités adaptatives. L'introduction de nouveaux critères de performance dans les programmes de sélection sera discutée, en particulier au regard du développement de la génomique. L'intérêt d'élever conjointement différentes populations animales (espèces, races ou lignées) au sein d'une même exploitation, et le recours au changement de races ou au croisement seront également étudiés afin d'identifier d'autres leviers génétiques d'adaptation des systèmes d'élevage.

L'étude s'articule en trois phases :

1- **Analyse bibliographique** des critères de performance répondant aux enjeux de l'agroécologie, et état des lieux des évolutions passées ou en cours qui ont cherché à améliorer la durabilité des élevages par une offre génétique adaptée.

2- **Réalisation d'enquêtes** auprès d'éleveurs engagés dans une démarche agroécologique et auprès des structures qui les conseillent afin de préciser quels sont selon eux les animaux (voire les troupeaux) idéaux pour répondre aux enjeux de la transition agroécologique.

3- **Réflexion de synthèse** pour toutes les filières animales étudiées, afin de dégager une liste hiérarchisée de critères de sélection animale pour proposer une offre adaptée aux enjeux de l'agroécologie. Il s'agira aussi de formuler des recommandations sur les moyens permettant que les critères retenus soient effectivement pris en compte dans les programmes et pratiques de sélection.

Dans ce rapport, une introduction vise à resituer les principes de l'agroécologie appliquée aux productions animales, et les principes nécessaires à une gestion génétique durable des animaux d'élevage. Nous décrivons ensuite les dispositifs de sélection actuels et les objectifs de sélection mis en œuvre pour améliorer la durabilité des systèmes d'élevage au travers de l'analyse bibliographique effectuée, de notre expertise, ainsi que du résultat des enquêtes conduites. Cette démarche nous permet de proposer une vision de synthèse sur l'adéquation des programmes d'amélioration génétique actuels aux attentes des systèmes agroécologiques. Enfin, nous évoquons les leviers d'action qui pourraient permettre de favoriser le développement d'une génétique animale adaptée aux enjeux de l'agroécologie.

B. Etat des lieux des dispositifs de sélection actuels au regard de la prise en compte de systèmes de production non conventionnels

En amont des filières de productions animales, les acteurs de l'amélioration génétique ont pour mission la fourniture des types génétiques les mieux adaptés aux conditions de milieu physique, économique et social dans lesquelles les animaux seront élevés et leurs produits valorisés. Dans des contextes de production différents associés à diverses contraintes biologiques, économiques, sociales et environnementales, l'organisation des programmes de sélection a pris différentes formes selon les espèces animales et les pays. Ces programmes ont visé à l'amélioration génétique des animaux pour la production de viande, de lait, d'œufs autour d'objectifs, critères et outils de sélection permettant de rationaliser et de fiabiliser le choix des reproducteurs. D'un point de vue technique, un programme de sélection est efficace s'il permet de réaliser (et de cumuler au cours des générations) un certain progrès génétique, de limiter la prise de risque lors des choix de sélection, et de maintenir de la variabilité génétique dans la population (Phocas, 2011). D'un point de vue économique, un schéma de sélection est efficace si le bénéfice collectif issu de l'amélioration génétique est supérieur au coût de mise en place du programme. Un point clé de l'efficacité de tout programme d'amélioration génétique est la taille du dispositif de sélection (plusieurs milliers à centaines de milliers d'animaux selon les espèces et les caractères à améliorer). L'annexe 1 donne un éventail de la taille des dispositifs actuels pour servir de référence chiffrée. Ceci constitue un verrou majeur pour proposer des programmes de sélection aux races locales à faible effectif, ou spécifiques de systèmes de production non conventionnels et donc marginaux en effectifs d'animaux concernés (Nauta, 2001 ; Chapuis et al., 2015).

B.1. Etat des ressources génétiques disponibles en France en 2015

Des années 1960 à 1980, les programmes d'amélioration génétique des animaux d'élevage, en France et dans les principaux pays d'élevage, ont visé une productivité maximale. Ceci a favorisé l'essor international de quelques races particulièrement bien adaptées à la demande du marché au détriment des races locales dont certaines ont disparu. Toutefois, le nombre de races répertoriées à l'échelle mondiale par la FAO (2007) ou même en France reste très important (cf Tableau 1) grâce en particulier à des actions de conservation et valorisation des races locales qui ont débuté dès les années 70. Cela offre un réservoir génétique conséquent pour repérer et utiliser les types génétiques adaptés à une diversité d'environnements.

Tableau 1. Nombre de races présentes en France selon les espèces et l'existence de programmes de gestion des populations reconnus par le Ministère de l'Agriculture, de l'Agro-alimentaire et de la Forêt

Races présentes en France	Bovins (lait+viande)	Ovins (lait+viande)	Caprins (lait)	Porc	Poulet	Autres Volailles
Total [1]	52	59	11	37	~140	~100
Races locales[2]	29	47	10	7	47	16
Races avec programme de sélection officiel[3]	21	15	2	31		
Races avec programme de conservation [3]	13	30	6	6		

1 *Site web du BRG : http://www.brg.prd.fr/brg/pages/les_rg_en_france/rga_ruminants_Bd.php ;*
Site de l'Agence de la Sélection Porcine : http://www.asp.asso.fr/PAS/PAS_j.htm ;
Communication personnelle de D. Guéméné (SYSAAF) pour les Volailles
2 Verrier et al., 2015 : « Races animales françaises menacées d'abandon pour l'agriculture » ; étude financée par le MAAF
3 Arrêté du 24 novembre 2014 relatif à l'agrément des organismes de sélection des ruminants et des porcins NOR: AGRT1422380A

Au-delà de cette diversité de races, la variabilité génétique intra-race reste importante dans les espèces d'élevage, y compris dans les races intensivement sélectionnées pendant 60 ans sur la production comme les volailles ou la race bovine laitière Holstein. Un indicateur de la variabilité génétique disponible intra-race est l'hétérozygotie globale attendue à des zones du génome (locus) non soumis à sélection ; sa valeur varie entre 0 (homozygotie complète) et 1. C'est une estimation, réalisée en moyennant les résultats de plusieurs loci, de la fréquence des hétérozygotes si les allèles sont associés au hasard pour former les génotypes. Dans le cas de loci ne pouvant comporter que deux variants (marqueurs bi-alléliques), l'hétérozygotie globale ne peut dépasser la valeur de 0,5. En revanche, pour des loci plus polymorphes (marqueurs multi-alléliques tels que les marqueurs microsatellites), cette hétérozygotie peut tendre vers 1. Ainsi, le degré d'hétérozygotie attendue varie entre 0,28 et 0,32 chez les races bovines françaises sur la base de données de marqueurs bi-alléliques (Gautier et al., 2007) et peut même atteindre 0,67 sur la base de marqueurs microsatellites (Maudet et al., 2002). Chez les volailles, le degré d'hétérozygotie, estimé à partir de marqueurs microsatellites (Hillel et al., 2003), est très variable, parfois élevé chez les races locales et non sélectionnées (de 0,46 à 0,62) et dans les souches commerciales de poulets de chair (0,53 à 0,57), mais plus faible (0,27 à 0,45) chez les poules pondeuses (Tixier-Boichard et al., 2006). S'il est vraisemblable que ces estimations surestiment le niveau d'hétérozygotie réelle en raison d'un choix de marqueurs privilégiant les marqueurs très polymorphes (Taberlet, 2008), il n'en demeure pas moins qu'il existe toujours une variabilité génétique importante. Ceci est vrai même pour les caractères de production fortement sélectionnés puisqu'un progrès génétique conséquent est encore réalisé sur ces caractères dans toutes les filières. Pour donner une idée des progrès génétiques réalisés ces 10 dernières années, mentionnons des gains annuels de plus de 1% de la production laitière moyenne dans les races bovines laitières. A titre d'illustration pour deux races de performances de production et d'effectifs très différents (cf. annexe 1a), le gain en 10 ans pour une lactation standardisée à 305 jours est de 926 kg en race Prim'Holstein et 421 kg en race Tarentaise pour des productions laitières moyennes en 2013 respectivement de 8995 kg et de 4541 kg (source :*http://idele.fr/no_cache/recherche/publication/IdeleSolr/recommends/dispositif-genetique-chiffres-cles-ruminants-2014-1.html*).

Toutefois, ainsi que souligné par Danchin-Burge (2012), « pour les races ayant connu plusieurs décennies de sélection relativement intense, le dilemme aujourd'hui est d'arriver à éviter une élévation trop rapide de la consanguinité tout en continuant à réaliser du progrès génétique ». En effet, l'augmentation du niveau de consanguinité dans une population se traduit par une diminution de la fréquence moyenne d'hétérozygotes et donc une perte de variabilité restreignant les possibilités de progrès génétiques sur le long terme et par l'apparition à court terme d'effets délétères comme la dépression de consanguinité ou les anomalies génétiques (cf annexe 2 pour en savoir plus). Cette maîtrise de la consanguinité est considérée de longue date par les sélectionneurs, en particulier dans les races à faible effectif où la gestion des populations réside en premier lieu dans le choix de reproducteurs et d'accouplements permettant de limiter l'accroissement de consanguinité (Danchin-Burge, 2012). L'effectif génétique (ou taille efficace) est un indicateur fréquemment utilisé pour caractériser la diversité génétique d'une population. Il correspond au nombre de reproducteurs d'une population idéale qui présenterait le même taux d'accroissement de consanguinité par génération que celui observé dans la population réelle. L'effectif génétique est donc un critère théorique correspondant au nombre de reproducteurs pour lequel, en situation de panmixie (c'est à dire une participation homogène des individus à la reproduction avec des accouplements aléatoires entre eux), on obtiendrait une variabilité génétique équivalente à celle observée. Il existe de nombreuses méthodes différentes permettant de calculer cet indicateur dont les estimations peuvent varier considérablement pour une même population (Leroy et al., 2013). Malgré les hypothèses fortes sous-jacentes à cet indicateur, il sert souvent de norme pour caractériser la « santé » génétique des populations. Ainsi, les estimations des tailles efficaces de population sont inférieures à 50 dans quelques races internationales très sélectionnées ainsi que dans de nombreuses races locales (Danchin-Burge, 2012 ; Observatoire VARUME[1] : http://idele.fr/no_cache/recherche/publication/idelesolr/recommends/bilan-de-variabilite-genetique-pour-les-filieres-caprines-ovines-et-bovines.html), indiquant un risque de perte de diversité génétique important

[1] *Observatoire issu du projet VARUME (variabilité génétique en ruminants et équidés) soutenu par le fond CASDAR (2012-2014)*

selon la FAO (2007), voire d'extinction des populations quand les effectifs démographiques sont inférieurs à quelques milliers d'animaux (Verrier et al., 2015). Face à ces enjeux, au-delà des actions de conservation (in situ et ex situ) et valorisation des races locales à faibles effectifs voire menacées, dans le cadre des dispositifs génétiques des ruminants plusieurs actions ont été mises en place depuis le début des années 2000 pour préserver la variabilité génétique intra-race y compris pour les races internationales. Les principales ont été : la diffusion d'indicateurs de variabilité génétique transmis aux acteurs de la sélection (action réalisée dans le cadre des financements CASDAR relatifs à la génétique animale) ; la construction d'outils d'optimisation des choix aux différentes étapes des programmes de sélection (ex. : programme VARGEN initié par une Action Innovante financée par le Ministère en charge de l'Agriculture) ; la diffusion publique des coefficients de parentés moyens de tous les taureaux laitiers autorisés à la monte publique en parallèle de leurs évaluations génétiques officielles (http://indexgenetique.idele.fr), ou la diffusion aux opérateurs de la sélection bovine laitière d'indicateurs génomiques d'originalité des taureaux ; la publication désormais sous forme d'observatoire d'un état des lieux de la santé génétique de toutes les populations de ruminants : observatoire VARUME.

La définition de races locales pour les quatre espèces historiquement visées par la Loi sur l'Elevage de 1966 (espèces bovine, ovine, caprine et porcine) est simple car il existe des listes de races locales (arrêté du 29 avril 2015) établies selon les termes de l'arrêté du 26 juillet 2007 : « une race est dite locale si des liens suffisants avec un territoire spécifique sont démontrés, notamment si 30 % des effectifs sont situés dans un seul département ou 70 % dans trois départements limitrophes deux à deux ».

En revanche, il n'existe pas en France d'arrêté spécifiant les races françaises qualifiées de « locales » chez les volailles, et ceci même s'il existe de nombreuses races dites « anciennes ». Ces dernières ont été listées très récemment par Verrier et al. (2015) suite aux travaux conduits par l'ITAVI, le SYSAAF et l'INRA dans le cadre du projet 'BioDiva' financé par le CASDAR et coordonné par l'ITAVI (2013-2015). Ces volailles sont élevées dans le cadre de marchés de niche, ou de vente aux particuliers ou amateurs- collectionneurs. Chez les volailles, les génotypes commercialisés sont massivement issus de divers croisements entre quelques dizaines de lignées pures. Six races de poules sont à l'origine des principaux croisements commerciaux : la White Leghorn pour la production d'œufs blancs ; les races Rhode Island Red, Rhode Island White et New Hampshire pour la production d'œufs bruns et les races Cornish, White Plymouth Rock et New Hamsphire pour le poulet de chair. Ainsi, une quarantaine de produits commerciaux existent en Poulet de Chair issus des firmes internationales Ross, Cobb ou Hubbard. Les sélectionneurs français Hubbard et SASSO en proposent respectivement 12 et 18, dont les génotypes à croissance lente destinés à la production française sous label. Vingt-cinq produits commerciaux sont proposés par les sélectionneurs de poules pondeuses, dont 14 pour l'ISA et 4 pour Novogen, les deux entreprises françaises. Si une souche n'est plus commercialisée, le centre de sélection peut adopter deux stratégies différentes : continuer à élever des reproducteurs afin de pouvoir relancer la commercialisation à court terme ; congeler des semences pour maintenir la disponibilité de souches dont l'utilisation n'est pas prévue à court terme.

La production porcine en France est aussi très majoritairement fondée sur un modèle standard orienté par la sélection de populations/lignées selon un schéma relativement simple de croisement entre races : amélioration de la vitesse de croissance, de l'efficacité alimentaire et de la teneur en maigre des carcasses dans les lignées paternelles, et augmentation de la prolificité et des qualités maternelles des truies dans les lignées maternelles. L'une des conséquences de cette standardisation est que la sélection n'est conduite de manière efficace en France que dans un nombre limité de races, dont une très majoritaire pour les lignées paternelles (le Piétrain et ses variétés) et trois pour les lignées maternelles (Large White et Landrace très majoritaires, ainsi que des lignées composites issues de croisement avec des races chinoises). Les systèmes de production alternatifs (sous label ou en agriculture biologique) utilisent généralement les mêmes races que l'élevage conventionnel avec parfois des croisements différents; quelques filières minoritaires s'appuient sur l'élevage d'animaux de races locales généralement dans le cadre de systèmes de production spécifiques et des produits typiques à forte valeur ajoutée (citons par exemple le Porc Blanc de l'Ouest, le Porc Pie Noir du Pays Basque, ou le Cul noir du Limousin).

La France a ratifié le plan d'action mondial proposé par la FAO en 2007 pour la préservation des ressources zoogénétiques. Ce plan comporte notamment un volet « conservation ». Ainsi depuis 2007, le MAAF établit et met à jour (en 2013 puis 2015) la liste des races locales bovines, ovines et porcines qui constituent des ressources zoogénétiques présentant un intérêt particulier pour la conservation du patrimoine génétique du cheptel ou pour l'aménagement du territoire au sens de l'article D. 653-10 du code rural et de la pêche maritime. L'arrêté du 29 avril 2015 précise la liste des races menacées d'être perdues pour l'agriculture du fait essentiellement d'un effectif de femelles reproductrices très faible, à savoir moins de 7500 vaches, 6000 brebis ou chèvres, 1000 truies ou 500 volailles (Verrier et al., 2015).

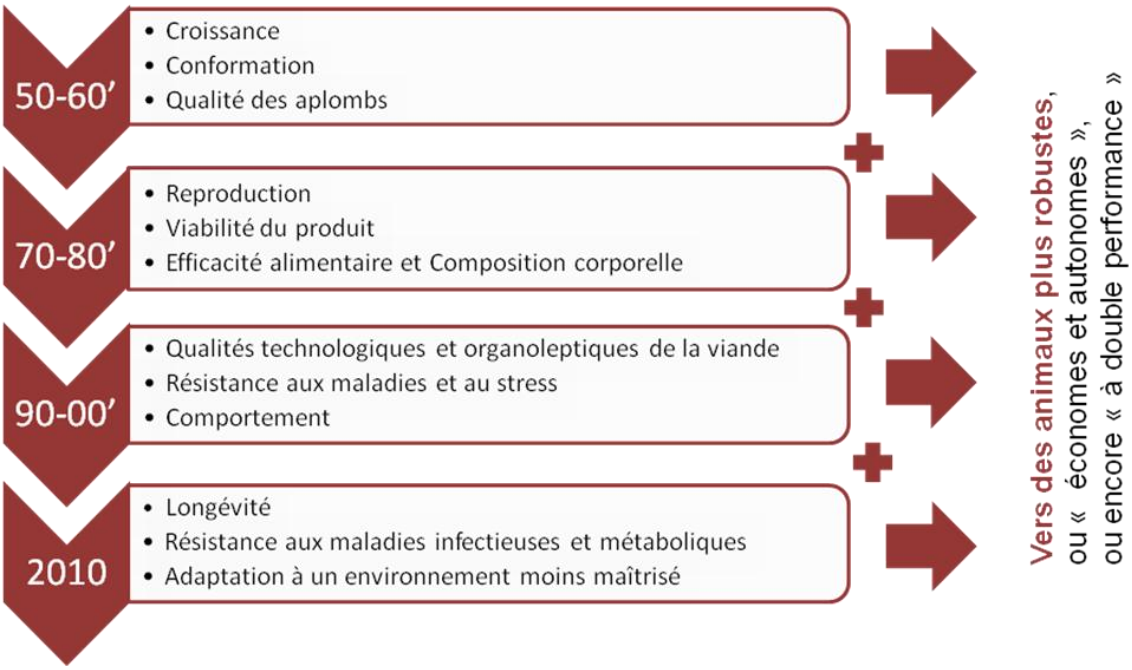
Afin de préserver au mieux la diversité génétique des races d'élevage, il est recommandé d'accompagner la conservation *in situ* (en ferme) par une conservation *ex situ*. La France a anticipé cette recommandation par la création en 1999 du Groupement d'Intérêt Scientifique « Cryobanque Nationale » (CBN) qui compte aujourd'hui 12 structures signataires (organismes de recherche, instituts techniques, fondation pour la recherche sur la biodiversité). Le secrétariat exécutif est assuré par l'Institut de l'Elevage. La CBN a pour objectif de conserver, à très long terme, un échantillon représentatif de la diversité génétique de toutes les espèces d'élevage : bovins, ovins, caprins, équins, porcins, lapins, oiseaux, poissons et mollusques et prochainement insectes utilisés en agriculture (abeilles). La technologie prédominante est la cryoconservation de la semence ; certaines espèces recourent également à la congélation d'embryons (lapin, ovin) ou de larves (huitres) qui permet une reconstitution rapide d'un génotype. Les collections comptent en 2015 plus de 300 000 doses de semence pour plus de 200 races et lignées d'élevage. La CBN fait partie du projet d'infrastructure nationale CRB-Anim, qui permet de développer de nouvelles technologies et d'enrichir les collections, afin de favoriser leur valorisation scientifique et leur mise à disposition auprès des éleveurs.

B.2. Principes sous-jacents aux programmes de sélection actuels

Depuis les années 1990, les programmes d'amélioration génétique se sont progressivement réorientés pour faire face à la maîtrise des coûts de production dans un contexte de mondialisation des échanges, et aux exigences sociétales en matière de sécurité sanitaire, de qualité des produits, de préservation de l'environnement (limitation des rejets, biodiversité, entretien et aménagement de l'espace rural) et d'éthique de production (conditions d'élevage, bien-être animal, biotechnologies). La réorientation réalisée implique d'accroître le nombre de caractères inclus dans l'objectif de sélection d'une population, ainsi que l'illustre la figure 1 pour les filières de production de viande. La prise en compte d'un nouveau caractère se fait de manière cumulative dans le programme de sélection : le nouveau caractère vient en complément des caractères déjà sélectionnés, seul le poids accordé à chaque caractère dans l'objectif de sélection varie au cours du temps et selon l'arrivée de nouveaux critères de sélection.

Cette réorientation est d'autant plus cruciale que d'une part la génétique doit s'intégrer dans une plus grande diversité de systèmes de production pour répondre aux attentes sociétales (Dockès et al., 2011), et que d'autre part, des évolutions défavorables sur des caractères de santé, survie et reproduction des animaux ont été constatées dans certaines filières du fait d'une sélection intensive sur les caractères de production induisant *in fine* une moindre efficience des systèmes de production. Ainsi, l'objectif premier de la sélection dans de nombreuses filières est-il aujourd'hui d'améliorer la robustesse des animaux inscrits dans un processus de production (Phocas et al., 2014b). Il s'agit alors d'améliorer une combinaison de caractères ayant trait aux fonctions biologiques de production, reproduction, survie et santé des animaux, y compris dans des conditions d'élevage moins « contrôlées » et fluctuantes (Dumont et al., 2014). Plusieurs de ces caractères sont pris en compte dans les dispositifs de sélection actuels avec une priorité croissante sur les caractères dits fonctionnels (reproduction, survie et santé), notamment dans les filières de ruminants (Phocas et al., 2013).

Figure 1 : Historique de la mise en œuvre de nouveaux critères de sélection dans les programmes de sélection des filières de viande de ruminants, porc ou volailles.



Un programme d'amélioration génétique repose sur cinq étapes fondamentales :

- la détermination d'objectifs de sélection
- la définition de critères de sélection et le recueil des informations nécessaires à l'évaluation
- la réalisation d'évaluations génétiques des animaux
- le choix des reproducteurs via une méthode de sélection optimisée pour répondre au mieux aux objectifs de sélection
- la diffusion des reproducteurs au sein de la population via diverses stratégies d'utilisation des reproducteurs en race pure ou en croisement.

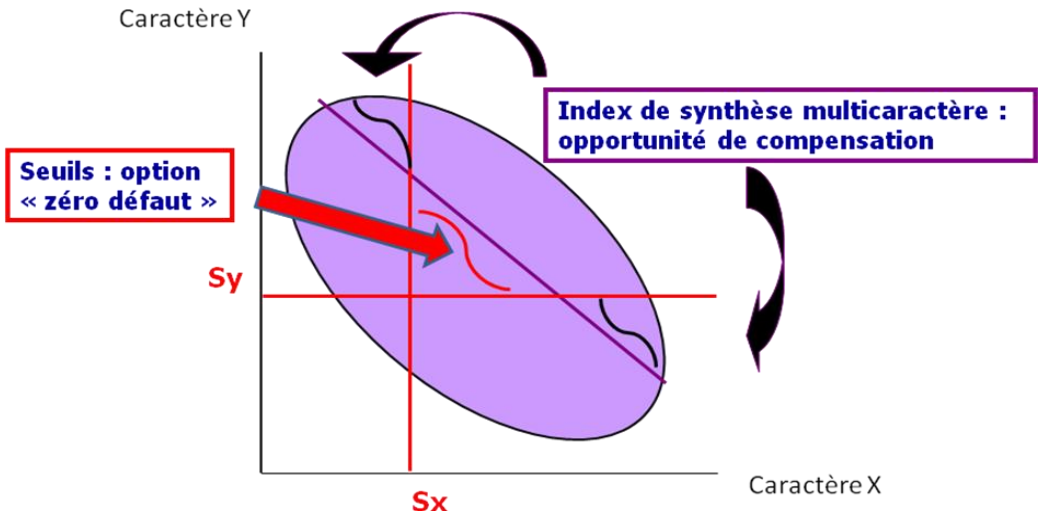
La définition des objectifs est une étape préalable à la mise en place de tout programme de sélection. Dans le cadre de l'étude, il est important de définir ce que l'on entend par objectifs et critères de sélection. Les éléments de définition donnés ci-après sont repris d'une synthèse sur l'optimisation des programmes de sélection parue dans INRA Productions Animales (Phocas, 2011).

Les objectifs de sélection correspondent aux aptitudes héritables que l'on souhaite améliorer dans la population. Afin de choisir les reproducteurs parmi les candidats à la sélection, on cherchera à résumer cet ensemble de caractères dans une fonction - dite « objectif de sélection » - qui donne une valeur de synthèse des reproducteurs ou des races. L'objectif de sélection d'une population est une fonction des valeurs génétiques « vraies » (mais inconnues) des aptitudes à améliorer pour accroître la valeur ajoutée des animaux pour l'éleveur, la filière ou tout autre niveau d'organisation. L'intérêt de définir une telle fonction est de procurer un moyen rationnel de sélectionner les animaux, c'est-à-dire de choisir ceux qui offrent le meilleur compromis à l'échelle de la population entre plusieurs aptitudes d'intérêt économique, environnemental ou social. La démarche pour rationaliser la construction de l'objectif de sélection repose sur la modélisation de systèmes de production dont l'efficacité est souvent considérée en termes strictement économiques. Cependant, certains caractères sans valeur économique directement quantifiable présentent un intérêt indéniable pour l'un des acteurs de la filière ou pour la société (morphologie, aplombs, comportement animal, rejets dans l'environnement, …). L'objectif de sélection est alors décrit comme une combinaison linéaire associant pondération économique et valeur non marchande pour chacune des aptitudes à améliorer. La partie non marchande peut être établie soit en raisonnant les gains génétiques

désirés sur les caractères environnementaux (Kanis et al., 2005) ou les pertes de gain acceptées sur les caractères de production (Nielsen et al., 2005), soit par les méthodes visant à estimer le consentement à payer du consommateur (Olesen et al., 2006).

Les critères de sélection correspondent aux caractères sur lesquels porte le choix des reproducteurs afin d'atteindre l'objectif. Ce sont les caractères mesurés pour lesquels sont calculés les index de sélection élémentaires, à savoir les valeurs génétiques prédites des caractères à sélectionner. Du fait des contraintes liées au coût ou à l'impossibilité de mesurer directement sur les candidats à la sélection certaines aptitudes à améliorer (mesures post-mortem, production laitière des taureaux) les caractères inclus dans l'index de sélection ne sont pas nécessairement ceux qui constituent l'objectif de sélection, mais ils doivent au moins en être de bons prédicteurs sur le plan génétique. Dans l'idéal, un bon prédicteur a une héritabilité plus élevée que le caractère objectif, lui est fortement corrélé et peut être mesuré plus précocement dans la vie de l'animal afin de réduire l'intervalle de génération. Par exemple, l'efficacité alimentaire est d'une grande importance économique et environnementale pour la production animale, mais il est difficilement mesurable sur un grand nombre d'animaux, car la mesure de la consommation alimentaire nécessite une conduite des animaux individualisée et donc des coûts conséquents. L'efficacité alimentaire (objectif de sélection) est donc rarement mesurée. Les mesures (critères de sélection) sont alors effectuées pour des caractères corrélés génétiquement à l'efficacité alimentaire, tels que la croissance, le développement musculaire ou les réserves corporelles.

Figure 2. Comparaison d'une sélection par seuils indépendants (N animaux ayant chacun des valeurs supérieures aux seuils Sx et Sy pour les caractères X et Y) **et par index de synthèse** (N animaux ayant la valeur la plus élevée de l'index linéaire combinant X et Y)



Les index de sélection sont les critères sur lesquels les animaux évalués sont classés afin de choisir les reproducteurs. L'index de synthèse est généralement une combinaison linéaire (IS = a X + b Y par exemple) des index de sélection élémentaires (X et Y par exemple). Afin de maximiser la réponse à un cycle de sélection directionnelle sur l'objectif global, il faut sélectionner les reproducteurs dont l'index dépasse un seuil commun à tous les candidats à la sélection. Toutefois, si le souhait n'est pas une réponse maximale sur un objectif global mais plutôt l'élimination systématique d'animaux avec des défauts génétiques rédhibitoires (par exemple difficulté de vêlage, agressivité), une sélection par seuils est nécessaire (Figure 2). L'index synthétique favorise en effet le maintien d'animaux extrêmes sur chacune des composantes de l'index de synthèse, ce qui au passage préserve la variabilité génétique.

Les filières animales étudiées dans ce rapport correspondent à des populations d'animaux élevées dans des conditions conventionnelles (au sens des conditions d'élevage les plus fréquemment rencontrées) différentes et ne subissent donc pas les mêmes intensités de sélection sur les caractères de production. En particulier, l'élevage en bâtiment clos (dit « hors sol ») est le mode de production conventionnel des filières de monogastriques (porcs, volailles), tandis que les ruminants sont essentiellement élevés en gardant un lien direct avec le territoire par l'utilisation des prairies et fourrages issues des cultures de l'exploitation. En conséquence, chez les monogastriques, le choix des reproducteurs s'effectue le plus souvent en systèmes de conduite dits à l'optimum où l'environnement est très contrôlé. C'est nettement moins le cas chez les ruminants, en particulier laitiers, où le contrôle à la ferme des filles des reproducteurs mâles laisse place à une grande diversité d'environnements et de pratiques. Le développement de systèmes de production à haute performance économique et environnementale nécessite de sélectionner des ressources génétiques capables d'assurer une production relativement stable dans des environnements variés ou moins contrôlés (Dumont et al., 2014). Cependant à un même génotype peut correspondre des expressions phénotypiques variables associés à des environnements (ou milieux) différents, ce qui correspond à l'existence d'interactions génotype-environnement qui ne sont généralement pas considérées dans l'évaluation génétique classique. Deux phénomènes biologiques différents peuvent être à l'origine de ces interactions (Encadré 1). Le premier induit seulement une hétérogénéité de variance associée aux différents environnements (c'est-à-dire une variance des performances différente d'un environnement à un autre), ce qui aboutit à des effets d'échelle et des réponses à la sélection plus ou moins fortes et éloignées de la réponse attendue. Le second phénomène, plus conséquent, entraîne un reclassement des génotypes selon les environnements où ils s'expriment : les meilleurs génotypes dans un milieu A ne sont pas les meilleurs dans un milieu B. Il s'agit alors d'inclure dans l'évaluation génétique, la sélection et l'utilisation des reproducteurs, ces interactions de reclassement dont l'importance ne peut que s'accroître avec la variabilité des milieux de production. Cette prise en compte peut être réalisée différemment selon que l'on s'intéresse à une meilleure estimation de la valeur génétique globale ou à l'estimation d'une valeur génétique dans un milieu particulier. **Une question majeure de l'étude bibliographique est donc d'évaluer l'importance des interactions génotype-environnement selon les espèces, les environnements et les aptitudes animales considérés dans un contexte agroécologique.**

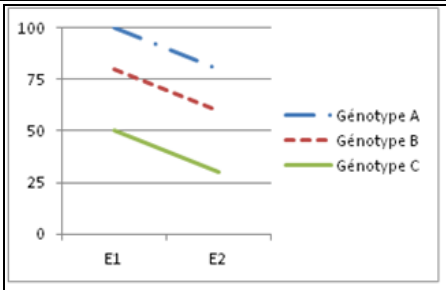
Par ailleurs, la diversité des programmes d'amélioration génétique dépend non seulement de la variabilité des contraintes biologiques des espèces et de leurs milieux d'élevage mais aussi des types de production et des objectifs de sélection multi caractères (degré d'antagonisme génétique entre performances de production et de reproduction par exemple). Deux grandes méthodes sont classiquement distinguées : le croisement entre populations (races ou lignées) et la sélection intra-population. Dans certains cas, il y a des approches communes à ces deux méthodes : la sélection de lignées spécialisées pour le croisement (cas des monogastriques), la sélection pour l'aptitude au croisement et le croisement d'absorption qui s'apparente à un processus de sélection. L'objectif du croisement est de tirer parti de la variabilité génétique entre populations disponibles afin de bénéficier sur le produit croisé de la complémentarité entre des aptitudes génétiquement antagonistes (par exemple les aptitudes de reproduction et de production), et de l'effet d'hétérosis (performance du produit croisé supérieure à la performance moyenne de ses parents).

Une description plus détaillée des principes génériques de l'amélioration génétique des animaux et de l'organisation de la sélection en France a été récemment écrite par Verrier (2014). Cette description explicite notamment le lien étroit existant entre la biologie de l'espèce et l'organisation de la sélection animale. Une sélection collective mutualisant les coûts et les moyens est nécessaire chez les ruminants du fait de coûts d'élevage élevés, d'une fécondité faible des femelles et d'une maturité sexuelle tardive qui induit des intervalles entre générations longs (3-5 ans chez les petits ruminants, 5-8 ans chez les bovins). A l'inverse, une sélection essentiellement privée existe chez les volailles dont les coûts d'élevage sont faibles, la

fécondité des femelles élevée et le renouvellement rapide (9 à 18 mois entre deux générations successives). Dans l'espèce porcine, les deux modes de sélection co-existent du fait de coûts d'élevage élevés mais d'une fécondité des femelles forte et d'un intervalle entre générations d'environ 1,5 à 2 ans.

L'**annexe 1** précise les spécificités de chaque filière, tant en termes d'objectifs et critères de sélection que de verrous à lever et leviers à mettre en œuvre pour faire évoluer les programmes de sélection, ou en faire émerger de nouveaux dans le but d'offrir une génétique adaptée aux enjeux de l'agroécologie.

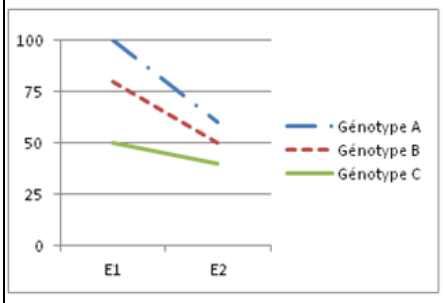
Encadré 1. Les différents effets possibles d'interaction Génotype x Environnement (G x E)



Cas 1 : absence d'effet G x E sur les performances

- La variabilité génétique est la même sous E1 et E2
- Les génotypes se classent de la même manière sous E1 et E2

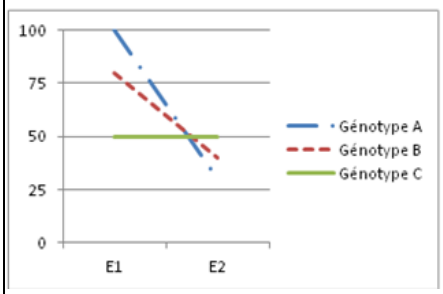
L'héritabilité des performances est similaire sous E1 et E2.
La corrélation génétique est de 1 entre performances sous E1 et sous E2.



Cas 2 : effet d'échelle G x E sur les performances

- La variabilité génétique est plus faible sous E2 que sous E1
- Les génotypes se classent de la même manière sous E1 et E2

L'héritabilité des performances peut être différente sous E1 et E2.
La corrélation génétique est de 1 entre performances sous E1 et sous E2.
Des sensibilités environnementales différentes sont observées entre génotypes.



Cas 3 : effet de reclassement G x E sur les performances

- La variabilité génétique peut être différente sous E1 et E2
- Les génotypes se classent de manière différente sous E1 et E2

L'héritabilité des performances peut être différente sous E1 et E2.
La corrélation génétique est < 0,80 entre performances sous E1 et sous E2.
Des sensibilités environnementales très différentes sont observées entre génotypes. Ici par exemple le génotype C est très robuste (=non sensible au changement d'environnement), le génotype A est très sensible.

B.3. Les objectifs de sélection : situation actuelle et adéquation aux enjeux de l'agroécologie

Traditionnellement, les éleveurs utilisent des reproducteurs issus d'un unique programme de sélection au sein d'une race, à savoir des animaux élevés pour une haute valeur ajoutée dans un environnement de production classique (Nauta et al., 2001). Pour développer des systèmes de production basés sur les principes agroécologiques, les éleveurs peuvent souhaiter une sélection orientée vers des aptitudes différentes de celles privilégiées en élevage conventionnel. Cependant la littérature concernant les objectifs de sélection et l'offre génétique attendue par les éleveurs engagés dans des systèmes de production non conventionnels est très rare. A ce jour, seules deux études dédiées à l'agriculture biologique ont abordé ce sujet de manière relativement large : l'une concerne la production biologique de lait en Suède (Ahlman et al., 2014), l'autre des enquêtes effectuées sur les diverses filières dans divers pays dans le cadre de International Federation of Organic Agriculture Movements (IFOAM, 2014). Les deux études soulignent que les caractères d'intérêt majeur pour les éleveurs en agriculture biologique concernent la robustesse des animaux, en particulier leur santé et leur capacité à se reproduire, ainsi que leur efficience d'utilisation des fourrages ou de ressources alimentaires locales.

Plus largement, la dernière décennie a vu un intérêt croissant à la sélection de la robustesse des animaux d'élevage (Lawrence et Wall, 2014). La robustesse est un concept qui est associé, d'une part, à l'amélioration ou au maintien des aptitudes fonctionnelles des animaux telles que la santé, le bien-être et la capacité de reproduction dans un milieu donné d'élevage, d'autre part à l'évaluation des interactions entre génotype et environnement comme indicateur de la capacité d'adaptation des animaux à une large gamme d'environnements. La robustesse se rapproche donc du concept de « plasticité phénotypique » des animaux, aussi appelé « sensibilité environnementale », et qui correspond à la propriété d'un génotype à exprimer des phénotypes différents dans des environnements différents (de Jong et Bijma, 2002). D'un point de vue génétique, l'objectif est de rechercher des animaux robustes, peu sensibles dans l'expression de leurs performances aux variations de l'environnement afin qu'ils puissent mieux faire face à des milieux divers et fluctuants (Dumont et al., 2013 ; Phocas et al., 2014b). Avant 2001, il n'y avait aucune étude scientifique publiée permettant d'évaluer les interactions entre génotypes et divers environnements d'élevage pour l'expression des caractères fonctionnels, ou des caractères de production comparant, en pays tempérés, des milieux d'élevage conventionnels et des milieux plus limités en intrants alimentaires ou pharmaceutiques (Nauta et al., 2001). Les quelques rares études comparant des milieux d'élevage conventionnels et des milieux plus limités en intrants alimentaires ou pharmaceutiques datent donc de moins d'une dizaine d'années et ne concernent qu'un très faible nombre de races ou lignées parmi l'ensemble de celles répertoriées en France.

Les enquêtes réalisées dans le cadre de la présente étude permettent de donner un éclairage français de la part d'éleveurs, groupements de producteurs, interprofessions, acteurs de la génétique concernant les aptitudes de l'animal ou les aptitudes du troupeau qui permettraient de poursuivre la prise en compte de l'agroécologie dans le développement des productions animales. L'annexe 3 présente les aptitudes considérées pour les ruminants, porcins et volailles et définit 8 groupes d'aptitudes distinctes pour décrire les attentes des éleveurs. La méthodologie des enquêtes est explicitée en annexe 4.

B.3.1. Les objectifs de sélection en filières de ruminants

B.3.1.1. Les interactions génotype x milieu/environnement et la robustesse des animaux

Pour proposer une offre génétique mieux adaptée à la conduite des animaux dans des systèmes plus agro-écologiques, des études sur les interactions génotype x environnement (G x E) sont nécessaires pour apprécier l'aptitude d'un animal à se satisfaire de ressources alimentaires variables et parfois insuffisantes

en quantité et en qualité. Quelques travaux de recherche au sein d'expérimentations de long terme visent à évaluer différents types d'animaux, décrits par leur race ou leur potentiel génétique, dans des milieux contrôlés qui se différencient le plus souvent par leurs apports nutritifs associés ou non à différents systèmes fourragers. Les interactions étudiées s'intéressent alors à l'expression phénotypique des caractères de production (lactation, croissance) et parfois, de reproduction ou de santé. Par ailleurs, il existe des études portant sur les performances observées en élevages commerciaux de bovins visant à étudier ces mêmes interactions entre milieux non contrôlés par l'expérimentateur, mais identifiés par des descripteurs environnementaux tels que la géographie (pays, région intra-pays), le climat (température, humidité), le niveau de production ou la conduite de la reproduction par exemple. A titre d'exemple, les systèmes d'élevage des ovins varient considérablement entre les pays et les régions européennes. Mais les ovins étant considérés comme assez robustes vis-à-vis des variations de leur environnement d'élevage, peu d'études ont évalué les interactions G x E sur la productivité ou la santé des animaux, même pour les brebis allaitantes et les agneaux, catégories les plus vulnérables (Gavojdian et al., 2014). Thomson et al. (2004) ont pourtant montré que, dans les mêmes conditions d'élevage, les agneaux East Friesian, Lacaune et Suffolk avaient des taux de survie très différents : 82%, 95% et 97%, respectivement. Des races ovines telles que la Lacaune sont internationales et élevées selon des conditions d'élevage très variées d'un pays à l'autre. L'étude des interactions G x E devrait donc être une priorité de recherche pour la sélection des petits ruminants.

De manière très générale, la littérature indique que les interactions G x E chez les bovins laitiers sont très faibles pour les caractères de production car les corrélations génétiques estimées entre environnements sont souvent très élevées (supérieures à 0,80). Cette absence d'interactions significatives se révèle non seulement entre élevages soumis à des conditions environnementales très différentes intra-pays : système en stabulation avec fourrages conservés et concentrés ou système herbager (Boettcher et al., 2003, Kearney et al., 2004) ; à niveaux de production différents (Calus et Veerkamp, 2003), entre régions australiennes (Haile-Mariam et al., 2008), mais aussi entre pays aux conditions d'élevage très différentes dans le cas de races internationales telle que la race Holstein. Une conséquence favorable de la faible intensité de ces interactions est l'absence de reclassement important des reproducteurs en fonction du milieu, comme l'ont montré récemment Huquet et al. (2012) en classant les reproducteurs en races Holstein et Normande sur les caractères de production dans les divers milieux d'élevage rencontrés en France.

Chez les bovins allaitants, hormis quelques études expérimentales de taille limitée, très peu d'études ont été conduites sur les interactions G x E évaluées à partir des performances des élevages commerciaux. Pabiou et al. (2014) ont montré que les corrélations génétiques du poids au sevrage des élevages commerciaux des races Limousine ou Charolaise entre les différents pays européens sont en moyenne d'environ 0,75 (de 0,6 à 0,9), ce qui est inférieur aux corrélations génétiques observées pour la production laitière entre pays (en moyenne 0,88 selon Mark 2004), mais néanmoins suffisamment élevé (> 0,6) pour recommander de ne pas conduire des programmes de sélection des bovins distincts (Mulder et al., 2006).

En ce qui concerne l'expression des caractères de fertilité, santé, et survie des bovins, la littérature en termes d'interactions G x E est très réduite, mais tend à montrer un niveau d'interactions G x E plus important que pour les caractères de production.

En race Holstein, il semble en particulier exister une interaction G x E pour des caractères de reproduction tels que l'intervalle vêlage – première insémination selon le niveau de production moyen des élevages ou leur degré d'intensification. Ces interactions sont très variables entre études, de relativement conséquentes (corrélations génétiques autour de 0,6) entre conditions extrêmes telles que celles observées en Australie (Haile-Mariam et al., 2008) ou au Canada (Boettcher et al., 2003), à beaucoup plus modérées (corrélations génétiques autour de 0.8) dans les systèmes laitiers du Royaume-Uni (Strandberg et al., 2009) ou même inexistantes entre élevages à l'herbe et élevages en stabulation des Etats-Unis (Kearney et al., 2004).

Sous nos climats tempérés, la saisonnalité en quantité comme en qualité de la production fourragère incite à mettre en phase la demande alimentaire du troupeau avec la disponibilité variable de la ressource. C'est ainsi que les systèmes de productions bovines ou ovines, en production de lait ou de viande basés sur le pâturage, optimisent ce synchronisme par la pratique des mises bas groupées en fin d'hiver/début du

printemps. En effet, les besoins des femelles reproductrices sont maximum quelques semaines après la mise bas, ce qui correspond alors à la période de pleine production des prairies et à une herbe dont la valeur nutritive est naturellement cohérente avec les besoins des animaux, en énergie comme en protéines. L'aptitude d'un animal à mettre bas à un moment choisi, donc à se reproduire chaque année en temps limité (entre 8 à 13 semaines), revêt alors un caractère "vital" (Baumont et al., 2014) souvent évalué dans les expérimentations sur les interactions génotype x milieu/environnement (Horan et al., 2004 ; Fulkerson et al., 2008 ; Horn et al., 2014). Chez les vaches laitières notamment, cette aptitude varie selon les races et est au moins partiellement en opposition avec le potentiel laitier des vaches (Dillon et al., 2006). Dans l'expérimentation "Quelle vache pour quel système ?" conduite depuis 2006 sur le domaine INRA du Pin-au-Haras (61), avec une saison de reproduction limitée à 90 jours, les vaches de race Normande vêlent à 69% tandis que seules 52% des vaches Holstein y parviennent. Les objectifs des systèmes laitiers irlandais ou néo-zélandais très herbagers et très saisonnés recommandent un taux de revêlage de 90% et ont fait de ce critère de fertilité, un des caractères prépondérants de leur index synthétique de sélection (Berry et al., 2007). En effet, une variabilité intéressante existe au sein de chaque race et divers travaux, notamment chez les vaches Holstein (Cummins et al., 2011 ; Coyral-Castel et al., 2011 et 2013), augurent d'une sélection possible sur cette aptitude. Dans les races allaitantes, les vaches de races continentales avec un potentiel génétique élevé pour la croissance musculaire ont montré des niveaux de fertilité moindres que les races britanniques, seulement quand elles étaient élevées dans les milieux les moins favorables à l'expression de leur potentiel (Morris et al., 1993).

B.3.1.2. Les caractères considérés dans les programmes de sélection actuels

Une synthèse récente (Phocas et al., 2013) explicite les objectifs de sélection (Tableau 2) dans les cinq filières de ruminants sélectionnées en France (bovins laitiers et allaitants, ovins laitiers et allaitants et caprins laitiers). Dans ces filières, les éleveurs jouent un rôle important dans la sélection animale et l'organisation des filières. Leurs attentes sont donc tout naturellement prises en compte. Face aux coûts de production élevés qui s'accompagnent fréquemment d'une faible valorisation des produits, l'attente première des éleveurs est de produire de manière économe, ceci est d'autant plus vrai ces dernières années face à l'augmentation du prix des intrants. En outre, le besoin de pratiques d'élevage simplifiées est une priorité en raison de l'agrandissement des troupeaux et des exploitations. L'objectif est donc de produire des animaux autonomes, au sens faciles à élever (mise-bas sans aide, animaux dociles…) avec de bonnes aptitudes de reproduction (fertilité, qualités maternelles), une bonne résistance aux maladies et une bonne efficacité alimentaire afin de limiter les intrants (Dockès et al., 2011). Dans les filières viande, les caractères d'intérêt majeur sont le poids et la conformation des carcasses et l'absence de gras de couverture, puis les qualités organoleptiques de la viande (tendreté, flaveur). Dans les filières lait, les caractères d'intérêt majeur sont la production laitière (quantité de lait, taux protéique et butyreux), les aptitudes fonctionnelles (santé de la mamelle, fertilité, longévité…), et enfin les caractères de morphologie.

Tableau 2. Liste des caractères selon qu'ils sont déjà évalués génétiquement en France (en gras) et intégrés ou intégrables dans un index synthétique de sélection (IS) ou candidats pour une nouvelle évaluation (N)

APTITUDES	CARACTERES	Bovins Allaitants	Ovins Allaitants	Bovins Laitiers	Ovins Laitiers	Caprins* Laitiers
Production	**Quantité de lait et matières**			IS	IS	IS
	Aptitude laitière	IS	IS			
	Qualité du lait (taux)			IS	IS	IS
	Vitesse de traite			IS	N	N
	Persistance de lactation			N	N	N
	Aptitude à la monotraite				N	
	Poids / croissance pré-sevrage	IS	IS			
	Conformation bouchère	IS	IS	N		
	Poids de carcasse	IS	IS	N		
	Efficacité alimentaire en	IS	N			

	engraissement					
Qualité des produits	Composition corporelle (%muscle)		N			
	Gras de carcasse		IS			
	Qualités organoleptiques de la viande	N				
	Composition fine du lait			N	N	N
Reproduction et Facilité d'élevage	**Prolificité**		IS		N	
	Désaisonnement		N			N
	Production de semences					N
	Fertilité femelle / réussite IAP	IS	N	IS	N	IS
	Précocité sexuelle	IS		N		
	Longévité de la femelle	IS	N	IS	N	N
	Mortalité périnatale	N	IS	IS	N	
	Survie jusqu'au sevrage	N	IS	N		
	Conditions de naissance	IS		IS		
	Comportement du jeune	N	N			
	Efficacité alimentaire / réserves corporelles de la femelle	N	N	N	N	
Standards et Morphologie	**Standards de race**	IS	IS	IS	IS	IS
	Morphologie de la mamelle			IS	IS	IS
	Morphologie adulte	IS		IS		
	Morphologie au sevrage	IS				
Santé	**Cellules somatiques**			IS	IS	IS
	Mammites cliniques			IS	N	N
	Résistance au parasitisme		N		N	N
	Résistance à la tremblante		IS		IS	N
	Aplombs	IS	N	IS	N	
	Boiteries	N		N		

** Il existe aussi des caprins angora sélectionnés (avec indexation nationale) sur la quantité (poids) de toison produite et la qualité de la toison (finesse des fibres et absence de poils grossiers indésirables)*

B.3.1.3. La hiérarchie des caractères dans les index de sélection selon les attentes des éleveurs

- **Etat des lieux de la bibliographie**

Dans le contexte de la sélection internationale bovine laitière, Miglior et al. (2005) a analysé les index de sélection utilisés en 2003 pour sélectionner les taureaux Holstein dans 15 pays à travers le monde. Dans cette étude, les caractères ont été regroupés en trois composantes : « production », « durabilité » et « santé et reproduction ». Les caractères inclus dans la composante « production » sont la production de lait, les quantités de matières grasses et de protéines, les taux butyreux et protéiques ; la composante « durabilité » concerne la longévité, le format, la conformation de la mamelle, les aplombs, les autres caractères de conformation, le tempérament à la traite et la qualité de la viande ; et la composante « santé et la reproduction » inclut la santé de la mamelle, la facilité de vêlage et la vitesse de traite. En moyenne, l'importance relative accordée dans les index de synthèse pour la production, la durabilité et la santé et la reproduction était de 59,5, 28 et 12,5%, respectivement. La principale différence entre les index de sélection dans les différents pays était le poids mis sur la composante « production » dans l'index de synthèse. L'index le plus équilibré entre les 3 composantes était l'index danois avec 34% sur la production, 29% sur la durabilité, et 37% sur la santé et la reproduction. Il accorde ainsi la plus grande importance relative à la composante « santé et reproduction » (37%), suivi par l'index français (25%). L'index français était celui qui mettait le plus l'accent sur la fertilité des vaches (12,5%) et était également au second rang des index diminuant le poids de la composante « production » (50%). Depuis 2012, le poids de la composante « production » a encore diminué dans les index français se situant maintenant à un niveau comparable à celui de l'index danois. Aucun index de synthèse ne considérait la mortinatalité, même si une augmentation de la mortinatalité a été signalée dans diverses populations Holstein. Toutefois, même sans être intégrée

dans l'index de synthèse, une évaluation génétique de la mortinatalité existe dans certains pays, dont la France.

Par ailleurs, la confrontation des index de sélection actuels et des attentes des éleveurs de bovins laitiers suédois en termes de production biologique (Ahlman et al., 2014) montre que les mêmes caractères sont importants pour tout éleveur quel que soit son mode de production, même si les éleveurs en agriculture biologique accordent un peu plus d'importance aux caractères de santé (résistance aux mammites et aux parasites) et un intérêt moindre à la production laitière. En effet, les vaches laitières fortement sélectionnées pour la production de lait ont souvent des problèmes de santé et de fertilité et semblent être plus vulnérables lorsque l'alimentation est faible en concentrés, ce qui explique le moindre intérêt porté au niveau de production par des éleveurs cherchant à valoriser avant tout l'herbe et les fourrages dans l'alimentation du troupeau. Si l'on s'intéresse aux causes de réforme et donc à la longévité des femelles, un risque majeur de réforme concerne les difficultés de vêlage, tout particulièrement pour les vaches allaitantes. Après une césarienne, le risque de réforme d'une vache Charolaise est multiplié par trois par rapport à celui d'une vache vêlant sans assistance (Phocas et Ducrocq, 2006). Chez les vaches laitières, il a de même été rapporté une augmentation des réformes et de la mortalité après un vêlage difficile (Dematawewa et Berger, 1998). Notons cependant que la fréquence des vêlages difficiles en vaches laitières est faible. En comparant les causes de réforme entre élevages laitiers suédois conventionnels et en agriculture biologique, Ahlman et al. (2011) montrent que les causes de réforme sont identiques dans les deux systèmes, mais que c'est la hiérarchie de ces causes qui diffère. En élevage conventionnel, la première cause de réforme des vaches en première et deuxième lactations est la fertilité (25% des réformes) suivie de la santé de la mamelle (22%). En élevage biologique, l'ordre est inversé avec 31% pour la santé de la mamelle et 22% pour la fertilité. Ceci s'explique d'une part par les contraintes d'usage des médicaments en agriculture biologique et d'autre part par une moindre pression sur le niveau de production chez les éleveurs en agriculture biologique qui cherchent avant tout à valoriser l'herbe et les fourrages. Une production insuffisante est la troisième cause de réforme (6% des réformes en Holstein) à des niveaux comparables entre systèmes et pour une race donnée, mais à des niveaux différents entre races, le taux de réforme pour production insuffisante étant plus élevé dans les races les moins productives (10-11% pour la Swedish Red). Les problèmes d'aplombs et les boiteries constituent une cause de réforme non négligeable (5-6%) ; les autres causes y compris les maladies métaboliques expliquent moins de 2% des réformes indépendamment de la race ou du système.

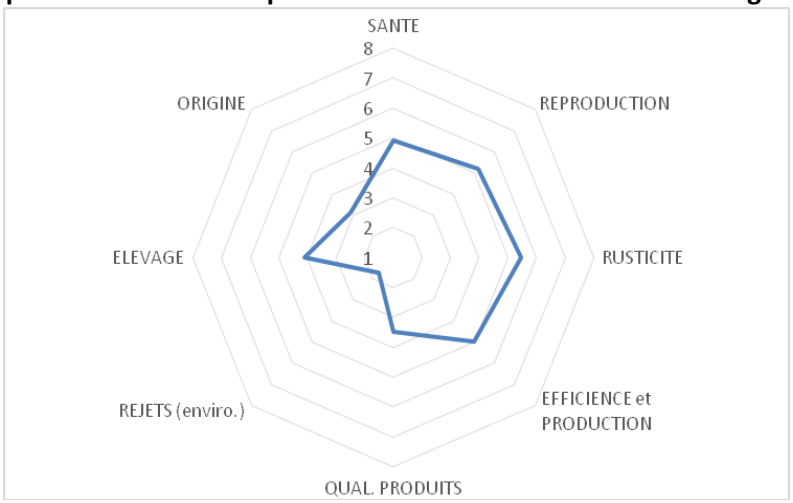
- **Résultats des enquêtes conduites en France au premier semestre 2015**

Les enquêtes réalisées dans le cadre de l'étude ont permis de juger les aptitudes animales que les éleveurs recherchent le plus dans leur système de production de type agroécologique. Pour l'ensemble de cette partie, les aptitudes animales ont été regroupées majoritairement au sein de 8 groupes (cf. annexe 3). Les aptitudes ne correspondant pas à l'un de ces 8 groupes ont été citées directement. Les 8 groupes sont : Santé ; Reproduction ; Rusticité et résilience ; Efficience et production ; Qualité des produits ; Rejets dans l'environnement ; Facilités d'élevage ; Origine.

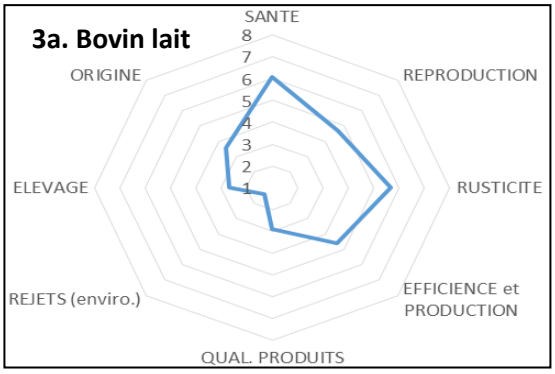
Tableau 3 : Aptitudes les plus recherchées citées spontanément par ordre de fréquence des réponses

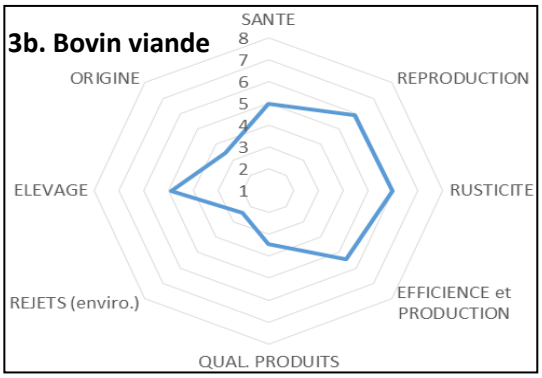
	Bovin lait	Bovin viande	Caprin	Ovin lait	Ovin viande
1er	Santé	Efficience et production	Efficience et production	Efficience et production	Efficience et production
2nd	Efficience et production	Reproduction	Rusticité	Rusticité, autres	Reproduction
3ème	Reproduction, Facilité d'Elevage et Rusticité	Rusticité	Santé		Rusticité

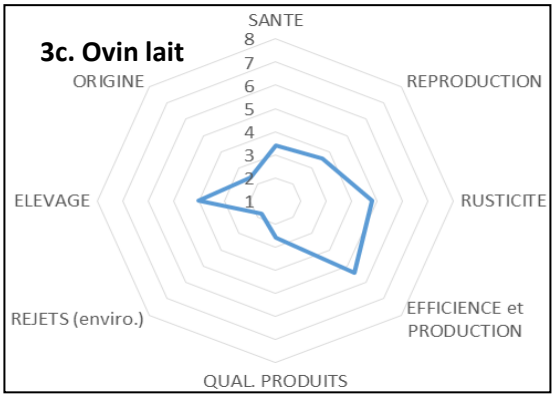
Figure 3. Priorisation par les éleveurs des aptitudes animales recherchées en élevage de ruminants

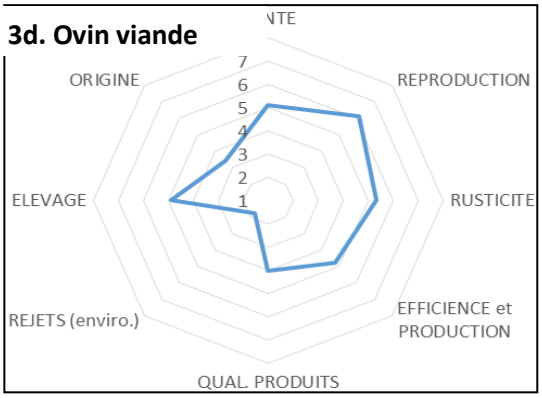


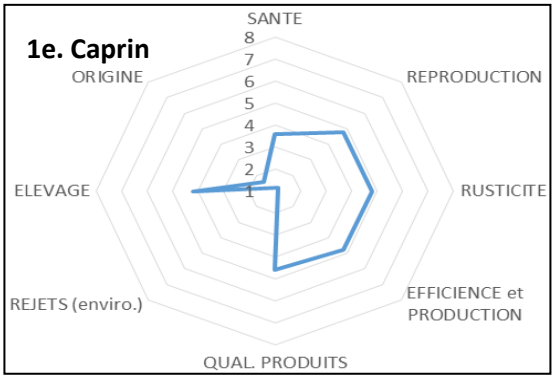
Figures 3a à 3e : Priorisation par les éleveurs selon la filière-espèce des aptitudes animales recherchées dans leur élevage de ruminants











Les groupes de caractères que les éleveurs citent spontanément le plus sont {Efficience et production ; Reproduction} suivis par les groupes {Rusticité ; Santé} (cf Tableau 3). Il faut noter que pour les éleveurs, la rusticité est généralement une notion globale s'approchant de la définition académique de la robustesse « capacité à produire dans un environnement « rustique » et variable, en valorisant le disponible ». La rusticité dans ce sens large est *in fine* le cumul de la plupart des aptitudes animales, en équilibre. Par ailleurs, ceci explique que les experts académiques étrangers privilégient les critères d'efficience et production (cf annexe 8) et non la rusticité qui sur le plan académique apparaît comme un concept vague et traduisant plutôt une adaptation à un environnement spécifique qu'une capacité de l'animal à s'adapter à produire dans un environnement limitant et fluctuant.

Afin de définir les aptitudes animales qui comptent le plus pour les éleveurs et de les hiérarchiser, chaque enquêté a dû classer de 1 (pas important) à 8 (très important) les différents groupes d'aptitudes (dans leur système d'élevage). Les priorités (figure 3) sont un trio {efficience et production ; rusticité; reproduction}, sauf en bovin lait où un 4ème groupe « santé » est placé à peu près au même niveau que la « rusticité », devant « efficience et production » et « reproduction » (boiteries et mammites étant très souvent citées). D'une manière générale, les éleveurs n'aiment guère établir de priorité entre les différentes aptitudes et préfèrent parler d'aptitude globale, d'efficacité multi-critères, d'équilibre entre aptitudes. Certains font le lien avec les index de synthèse traduisant les objectifs de sélection des populations, d'autres pas mais définissent une sorte de synthèse. Très souvent cette combinaison est appelée rusticité par les éleveurs.

« Les meilleures femelles sont celles dont on n'entend jamais parler! »

« Troupeau facile à vivre pour maitriser mon temps de travail

Les aptitudes liées à la facilité d'élevage viennent tout de suite après. C'est un ensemble de caractères importants pour les éleveurs de quasiment toutes les filières-espèces.

En situation intermédiaire se trouvent les aptitudes liées à la qualité de produits. Il est évident que la qualité des produits est un point essentiel, néanmoins, généralement les éleveurs ne considèrent pas qu'il soit prioritaire de décider à leur niveau de l'amélioration des produits, se conformant aux orientations de leurs filières respectives. Le choix des races et les modes de conduites sont primordiaux pour atteindre cet objectif.

Les aptitudes visant à réduire les rejets et impacts directs sur l'environnement ne sont pas une priorité en matière de génétique pour les éleveurs, soit qu'ils ne se sentent pas compétent à leur niveau, soit qu'ils considèrent que cet objectif est poursuivi à l'échelle de l'exploitation et dans les choix de systèmes plutôt que dans les choix génétiques.

Les caractéristiques d'origine des animaux - race locale à faible effectif, consanguinité et diversité génétique – ne sont globalement pas une priorité des éleveurs interrogés pris dans leur ensemble (ils considèrent que c'est géré par ailleurs). Les réponses sont néanmoins très variables en bovin et en ovin viande. Quelques éleveurs ont exprimé un attachement très fort à une race ou un ensemble de races adaptées, locales. Quelques-uns, plus rares, se sont exprimés en faveur d'une gestion de la diversité intra-élevage.

Plutôt qu'une remise en cause forte des équilibres au sein des objectifs de sélection actuels, il ressort des enquêtes que la sélection devrait intégrer un caractère essentiel, **l'efficacité alimentaire sur fourrages grossiers ou de qualité variable,** caractère non sélectionné avec les index actuels mais quasi unanimement cité par les éleveurs de toutes les espèces et filières. Plusieurs autres caractères, indisponibles aujourd'hui, sont cités par quelques éleveurs, les principaux sont les suivants :

- Esthétique : Dans toutes les espèces le standard, la « beauté » de la race, voire des animaux individuellement (en particulier l'état corporel). Les éleveurs reconnaissent y être attentif et en tenir dans leur choix de sélection. Pour une partie d'entre eux, cela participe d'une démarche « qualité » auprès du consommateur et des citoyens.

« Il faut amener du rêve dans le paquet agro-écologique, la beauté des races y contribue »

- Aptitude à « faire le yoyo », flexibilité : En fonction, soit des demandes de la filière (en particulier pour les filières laitières pour faire face aux périodes de « surproduction » de lait), soit des

conditions de production (sécheresse, coûts des intrants), plusieurs éleveurs ont exprimé leur souhait de disposer d'animaux capables d'encaisser des périodes très contraintes, et de repartir (retrouver de l'état, produire) rapidement au retour de conditions plus favorables. Dans cette catégorie a été également citée l'aptitude des animaux (caprins) à la monotraite, temporairement, lorsque la demande en lait est faible.

- En bovin lait, il faut également citer quelques attentes spécifiques d'une partie des éleveurs :
  - Les boiteries et d'une manière générale ce qui pourrait nuire à une bonne locomotion et exploration des prairies en particulier est un point prioritaire. Ces aspects sont dans notre analyse inclus dans le groupe « santé ».
  - Quelques éleveurs, intéressés ou poursuivant une approche de type « néo-zélandaise » souhaitent disposer d'éléments et de références pour sélectionner mieux selon un critère de type « poids de matières utiles laitières sur le poids vif » ou à l'échelle du système « poids de matières utiles laitières par hectare ». La question est alors régulièrement posée de savoir si les animaux les plus petits ne seraient pas les animaux les plus efficients.
  - Enfin, plusieurs éleveurs sont à la recherche d'animaux avec la meilleure persistance laitière. Bien que la définition de « persistance » laitière ne soit pas toujours claire (courbe de lactation la plus plate possible ; lactations adultes stables / lactation 1 voire nombre de lactations). En pratique ils recherchent des animaux ayant des 1ères lactations « modestes » et des pics de lactation faibles, en estimant ainsi favoriser des animaux qui auront *in fine* la meilleure longévité et production sur l'ensemble de la carrière. Il faut noter que le critère « longévité fonctionnelle » (cf. encadré 2) disposant d'une évaluation génétique depuis une quinzaine d'années répond en grande partie à ce qui est recherché par ces éleveurs (identifier les animaux ayant la meilleure longévité), mais il est apparu dans les échanges que cet index est peu connu.

Encadré 2. La longévité fonctionnelle (en bovin lait)
Il s'agit de la durée de vie productive, du 1er vêlage à la réforme. Ce caractère a « *un statut particulier : il peut être vu comme un indicateur global de robustesse, résultant de défaillances sur d'autres caractères. On parle de longévité « fonctionnelle », c'est-à-dire l'aptitude à prévenir une réforme involontaire (infécondité, problème de santé, boiterie...), par opposition aux réformes volontaires (principalement dues à une production laitière jugée insuffisante)* » (Brochard et al., 2013).

Toutefois, globalement les attentes exprimées par les éleveurs, spontanément ou en classant des groupes de caractères prédéfinis couvrent une série d'aptitudes pour lesquelles majoritairement des évaluations génétiques (en races pures) sont disponibles. La connaissance et l'utilisation de ces outils est en revanche assez hétérogène. Par rapport aux objectifs de sélection actuels, une génétique adaptée à l'agroécologie repose donc selon les éleveurs sur un renforcement du poids accordé aux caractères fonctionnels, allant dans le sens des évolutions des objectifs de sélection observées depuis les années 2000. Ce constat est à rapprocher de l'expérience Suisse en matière d'objectif de sélection en race brune. Un premier travail a conduit à l'élaboration en 1996 d'un index de synthèse dédié à l'agriculture biologique (VEGE). Suite au constat que les index de synthèse « conventionnel » (VEG) et « biologique » (VEGE) ne différaient plus guère en 2013-2014, les éleveurs ont décidé de ne plus publier l'index VEGE (Fric et Spengler Neff, 2014).

En résumé :

Globalement les attentes exprimées par les éleveurs couvrent une série d'aptitudes pour lesquelles des évaluations génétiques sont disponibles, à l'exception majeure que constitue l'efficacité alimentaire sur fourrages grossiers. Si l'on voit que la gamme actuelle des caractères considérés dans les objectifs de sélection des ruminants concerne des caractères importants pour tout éleveur quel que soit son système de production, il peut être intéressant de classer les reproducteurs sur des index de synthèse pondérant

différemment les valeurs génétiques prédites pour chaque caractère afin de répondre aux attentes des éleveurs selon le système de production dans lequel ils sont engagés. Une question essentielle est alors de savoir si ce tri différent peut ou non s'effectuer à partir d'animaux évalués dans les mêmes conditions d'élevage, la réponse étant dépendante de l'existence d'interactions entre génotypes et environnements (milieux d'élevage). Yin et al. (2012) concluent que le recueil des informations nécessaires à l'évaluation des animaux doit être réalisé dans un environnement proche de leurs futures conditions d'élevage plutôt qu'en conditions non-limitantes. Sélectionner pour une meilleure adaptation à l'environnement signifie en effet que l'on choisit ou procrée les génotypes qui répondent le mieux dans les milieux où les animaux sont élevés (Lawrence et Wall, 2014).

B.3.2. Les objectifs de sélection en filières de monogastriques

B.3.2.1. Les interactions génotype x milieu/environnement et la robustesse des animaux

Du fait de la structuration des filières monogastriques en différents étages (cf. Annexe 1), les animaux sélectionnés sont élevés dans des conditions généralement très différentes des animaux de production. En effet, les premiers sont élevés, donc évalués, dans des conditions très contrôlées et optimisées (température, aliment, …), alors que leurs descendants commerciaux sont élevés dans des conditions parfois très différentes et surtout variables d'un élevage, d'une région ou d'un système de production à l'autre. Les trois principales sources d'interaction sont le mode d'élevage (extensif vs intensif), le climat et l'alimentation (optimisé ou non) et surtout le niveau de "pression sanitaire".

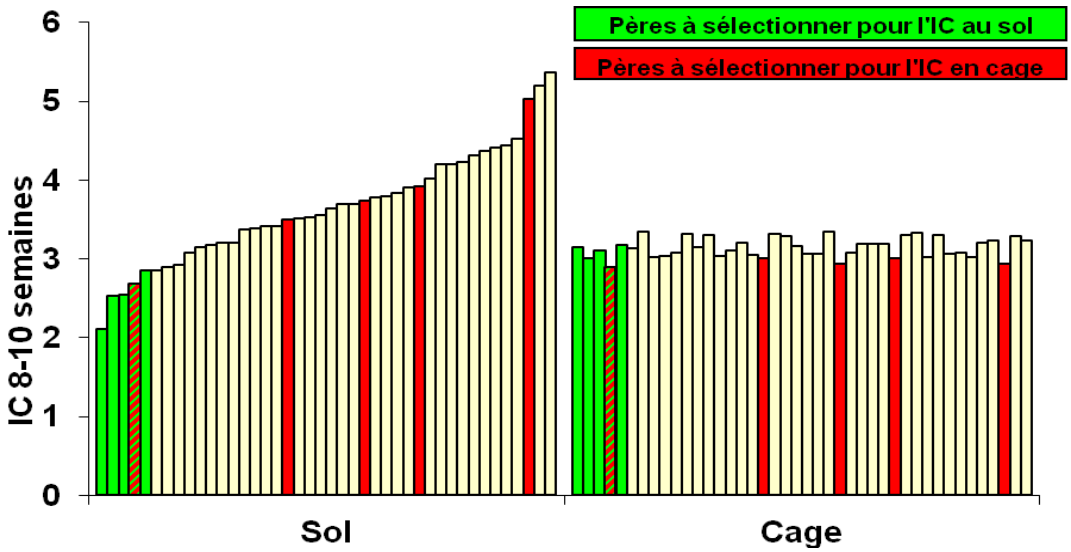
Schinckel et al. (1999) ont par exemple montré chez le porc que deux types d'animaux croisés pouvaient avoir des performances similaires en termes de croissance dans des milieux protégés, mais que dans un milieu d'élevage soumis à un niveau d'infection supérieur, l'un des croisements avait des performances de croissance nettement inférieures. L'établissement de ce type d'interactions pose la question du choix optimal du génotype suivant le milieu d'élevage. Une autre manière de concevoir l'interaction G x E est la relation génétique entre les caractères mesurés dans les conditions de sélection (chez des animaux de race pure) et ceux exprimés dans le milieu de production (chez des animaux croisés). Plus la relation génétique est faible, moins la sélection se révèlera efficace pour les éleveurs.

Les travaux de Mercks (1989) ont ainsi conclu que les relations génétiques entre les performances de croissance ou de composition corporelle mesurées en sélection et celles mesurées au niveau de la production pouvaient être faibles à modérées, voire négatives dans certains cas. Ces constatations ont parfois conduit à mettre en œuvre, en complément des mesures réalisées en sélection, des mesures en conditions d'élevage plus proches de la production. Cependant, même si des interactions G x E sont mises en évidence, leur ampleur ne justifie pas forcément de traitement particulier. Ainsi, Brandt et al. (2010) ont montré que les différences entre génotypes standard et races porcines locales étaient réduites en conditions d'élevage biologique par rapport à un élevage conventionnel mais que les génotypes standard gardaient toutefois une supériorité de performance quel que soit le système d'élevage. Dans les conditions suédoises de production Wallenberg et al. (2009a et b) ont étudié les interactions G x E en comparant l'élevage conventionnel et l'élevage biologique. Ces auteurs ont ainsi montré que les comportements de nidification de truies "conventionnelles" étaient plus prononcés en élevages biologiques; la mortalité post natale des porcelets était plus élevée et les truies présentaient plus d'oestrus de lactation dans ce système (Wallenberg et al., 2009a). Pour la vitesse de croissance et l'épaisseur de gras dorsal, une interaction significative G x E était observée. La corrélation de rang des index des verrats évalués en systèmes conventionnel et biologique s'élevait seulement à 0,48 pour la croissance et 0,42 pour l'adiposité. Les auteurs concluaient à l'intérêt d'une évaluation génétique spécifique pour l'élevage biologique (Wallenberck et al., 2009b).

Les études d'interaction entre génotypes et environnements chez les volailles portent sur le choix d'un génotype particulier en fonction de l'environnement, le choix d'un candidat à la sélection en fonction de l'environnement ou encore le choix du critère de sélection en fonction de l'environnement. Concernant le choix de génotype, le gène « cou nu » a fait l'objet de nombreuses études d'interaction G x E. En effet, ce gène, qui supprime la présence de plumes au niveau du cou, permet aux animaux de mieux dissiper la chaleur et donc de s'adapter à la production dans les climats chauds. Monnet et al. (1980) ont ainsi montré que les poulets cou nu ne sont pas sensibles à l'effet de la température et présentent le même poids à 20°C et à 30°C alors que les animaux normalement emplumés ont un poids inférieur de 15% à 30°C par rapport à 20°C. Le poids des animaux normalement emplumés, plus élevé à 20°C devient donc plus faible à 30°C.Au sein d'un même génotype, la présence d'interactions G x E peut conduire à sélectionner (en milieu de sélection) des futurs reproducteurs dont les descendants ne seront pas adaptés au milieu de production. Cela est d'autant plus vrai chez le poulet label pour lequel le milieu de production, avec accès à un parcours extérieur, est très différent des conditions de sélection (en claustration). Ainsi, N'Dri et al. (2007) ont montré que les animaux sélectionnés sur leurs performances d'indice de consommation en cage individuelle ou au sol étaient très différents. En effet, si on sélectionne 5 des 50 individus sur leur indice de consommation en cage (en rouge à droite dans la figure 4), seul l'un des 5 est également classé parmi les animaux dans les meilleurs indices de consommation au sol.

Figure 4. Indice de consommation des descendants de poulets label mâles élevés au sol ou en cage.

Chaque barre représente la performance moyenne d'une famille de père. Les 5 meilleures familles au sol et en cage sont surlignées en vert et en rouge, respectivement.



Enfin, certaines études ont estimé les corrélations génétiques entre caractères mesurés dans deux environnements différents afin d'évaluer si elles étaient suffisantes pour pouvoir les négliger dans les programmes de sélection. Par exemple, chez le poulet label, les corrélations génétiques entre cage individuelle, élevage au sol en claustration ou avec accès à un parcours extérieur sont très élevées pour la croissance (>0.84). En revanche, pour la composition corporelle, ces corrélations peuvent descendra à 0.68, ce qui va entraîner des reclassements importants entre candidats à la sélection (N'Dri et al., 2007). Mignon-Grasteau et al. (2010) ont également montré que la génétique de l'efficacité digestive était affectée par le régime alimentaire. Ainsi, les corrélations génétiques entre régime blé et maïs sont élevées pour la digestibilité des protéines et des lipides (0.84-0.88), mais moindres pour l'énergie et l'amidon (0.63-0.73). Enfin, plus récemment, Long et al. (2008) ont également mis en évidence que les zones du génome qui contrôlent la mortalité des animaux différaient selon le milieu d'élevage (haut niveau de protection sanitaire comparable aux milieux de sélection *versus* niveau de protection sanitaire plus faible similaire aux milieux de

production) : sélectionner les animaux sur la base des marqueurs identifiés dans le milieu de sélection entraînerait une perte de réponse à la sélection de l'ordre de 30%.

B.3.2.2. Les caractères considérés dans les programmes de sélection actuels

Dans les filières monogastriques, la sélection conduite depuis les 60 dernières années a été particulièrement efficace en termes de gain de productivité pour les éleveurs. Les enjeux pour les filières de monogastriques en France ont été décrits par Dockès et al. (2011) et les objectifs et critères de sélection actuels sont présentés dans le tableau 4 pour la filière porcine et dans le tableau 5 pour les diverses filières avicoles.

Tableau 4. Liste des caractères intégrés ou intégrables dans un index synthétique de sélection (IS), pris en compte dans le choix des reproducteurs (S), ou candidats pour être intégrés dans un index de sélection (N) en filière porcine

APTITUDES	CARACTERES	Lignée paternelles	Lignées maternelles
Production	Taille de portée		IS
	Vitesse de croissance	IS	IS
	Capacité d'ingestion	IS	IS
	Efficacité alimentaire	IS	IS
	Composition corporelle	IS	IS
	Consommation moyenne journalière résiduelle	N	N
Qualité des produits	Composition corporelle	IS	IS
	Qualités technologiques de la viande (pH, couleur, perte en eau)	IS	IS
	Qualité viande fraiche (exsudat)	IS	
Facilité d'Elevage	Tétines fonctionnelles		IS
	Comportement maternel		S
	Poids des porcelets		IS
	Variabilité du poids des porcelets		IS
	Aptitude à la reproduction des verrats (qualité semence, libido)	S	S
Morphologie	Aplombs	S	S
	Anomalies congénitales	N	N
Santé	Boiteries	S	S

Si l'on se réfère aux attentes des éleveurs conventionnels pour ces prochaines années visant à améliorer la productivité de l'élevage en réduisant les intrants alimentaires, vétérinaires et de main-d'œuvre (Merks et al., 2012), la sélection devrait poursuivre l'amélioration des caractères de production-reproduction classiques : en lignées paternelles, cela concerne l'amélioration de l'efficacité alimentaire, l'augmentation de la vitesse de croissance et de la teneur en muscle des carcasses tout en maintenant la qualité technologique du produit (le jambon en filière porcine, la viande en filières de volailles de chair et les œufs en filière de poules pondeuses) ; en lignées maternelles, l'objectif est l'augmentation de la prolificité des truies et de la ponte des volailles. En plus, la sélection prend en compte l'efficacité alimentaire d'animaux en croissance, les qualités maternelles des truies et plus globalement la santé des animaux. Il faut reconnaître que l'effort existant, bien que relevant davantage de considérations économiques, peut apporter des améliorations pour la durabilité du système au niveau environnemental (rejets) et sociétal (bien-être).

Tableau 5. Liste des caractères selon qu'ils sont déjà évalués génétiquement en France (en gras) et intégrés ou intégrables dans un index synthétique (IS) ou candidat pour une nouvelle évaluation (N) en filières avicoles

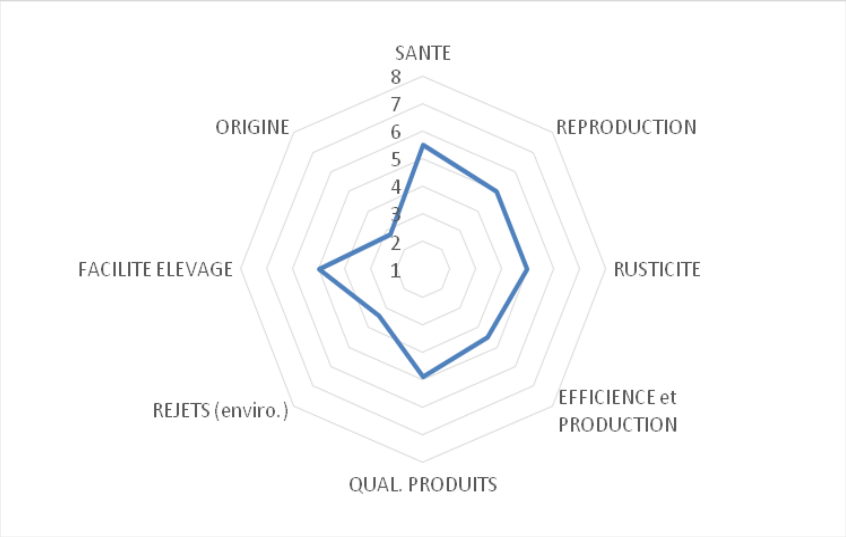
APTITUDES	CARACTERES	Volailles de chair à croissance rapide	Poules pondeuses	Palmipèdes gras	Volailles de chair à croissance lente
Production	**Nombre d'œufs**	IS	IS	IS	IS
	Persistance de la ponte		IS		
	Fertilité	IS	IS	IS	IS
	Eclosabilité	IS	IS	IS	IS
	Vitesse de croissance	IS		IS	
	Poids de carcasse	IS		IS	IS
	Poids vif	IS		IS	IS
	Conformation de la carcasse (% filet, cuisse, gras)	IS		IS	IS
	Efficacité alimentaire	IS		IS	
	Efficacité digestive	N			N
Qualité des produits	**Composition corporelle (% filet, cuisse, gras)**	IS		IS	IS
	Qualités technologiques de la viande (pH, couleur, perte en eau)	IS		IS	IS
	Qualité des œufs (solidité coquille, % albumen, % jaune, hauteur albumen, présence de tâches de sang, de viande, couleur de coquille)		IS		
	Aptitude à la transformation des viandes ou du foie gras	IS		IS	
	Défaut de qualité des viandes (stries blanches, « wooden breast », viandes acides, DFD)	IS			
Facilité d'Elevage	**Picage**		IS		
	Boîteries	IS			IS
	Pododermatites	IS			
	Activité physique et comportement exploratoire				IS
	Mortalité	IS	IS	IS	IS
Morphologie	**Conformation du filet**				IS
	Absence de déformation des pattes (valgus, varus)	IS		?	IS
Santé	**Ascites**	IS			
	Boîteries	IS			
	Pododermatites	IS			
	Mortalité	IS			
	Santé du tube digestif	N			
	Troubles métaboliques (dysbiose)	N			

B.3.2.3. La hiérarchie des caractères dans la sélection selon les attentes des éleveurs enquêtés en France en 2015

- **En filière porcine**

Le classement des aptitudes des animaux par rapport aux orientations agroécologiques est difficile à analyser compte tenu de la diversité des profils d'éleveurs (2 associations de race locale, 3 éleveurs en agriculture biologique dont 1 en plein-air et 3 éleveurs conventionnels dont un avec les truies sur paille). Il en ressort des notes avoisinant une moyenne de 5 sauf pour l'origine de l'animal et l'impact environnemental (figure 5).

Figure 5. Priorisation par les éleveurs des aptitudes animales recherchées en élevage de porcs



On retrouve comme aptitudes le plus fréquemment citées :

- La santé, mais qui est confondue avec les notions de rusticité et de résilience. La demande clairement annoncée est l'aptitude de l'animal à s'adapter à son mode d'élevage et sa capacité à résister aux infections afin de ne pas déstabiliser l'équilibre microbien du troupeau. L'objectif majeur est de maîtriser au mieux l'usage des produits vétérinaires ;
- L'efficience de la production qui elle aussi est confondue avec les aptitudes de reproduction ; les critères relevés sont l'efficacité alimentaire et la prolificité, ce qui est cohérent avec les deux réponses des experts étrangers (annexe 8). Ces aptitudes sont comprises comme les principaux leviers pour une bonne performance économique de l'élevage. La génétique est considérée comme un des leviers importants pour faire évoluer cette performance, et ce quel que soit le type d'élevage (conventionnel ou en Agriculture Biologique). Les aptitudes de reproduction font généralement référence aux qualités maternelles des truies (qualité des porcelets à la naissance, capacité laitière des truies), aptitudes généralement mises en avant par les différentes entreprises de sélection.
- La facilité d'élevage, qui sous-entend le comportement des animaux et le bien-être animal, est ambiguë (elle renvoie souvent à des normes de bien-être animal). En approfondissant la question, les aptitudes recherchées sont l'autonomie de la truie d'une part (autonomie à la mise bas, autonomie à rechercher son aliment sur un parcours,…) et, d'autre part, le comportement de l'animal vis-à-vis de ses congénères et de l'éleveur. On peut reprendre l'expression d'un éleveur : « le bien-être d'une truie se traduit par un comportement plus calme et plus d'autonomie ; au final c'est moins d'interventions et moins d'usage de produits vétérinaires ».

Les aptitudes relatives à la qualité des produits ne sont pas clairement mises en avant spontanément. Le lien se fait en général avec le système de production et de commercialisation plutôt qu'avec la génétique. Le système d'Agriculture Biologique est un gage de qualité mis en avant par les éleveurs qui conviennent que la génétique développée pour l'élevage conventionnel est globalement adaptée à l'élevage bio.

Les aptitudes visant à réduire les rejets et impacts directs sur l'environnement ne sont pas une priorité en lien avec la génétique. Les éleveurs considèrent que cet objectif est poursuivi à l'échelle de l'ensemble de l'exploitation et dans les choix de système.

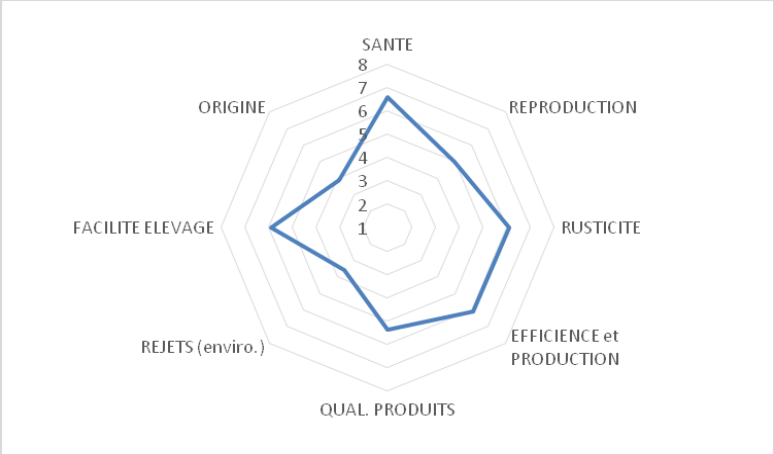
En résumé :

Les aptitudes animales principalement recherchées par les éleveurs de porcs concernent les aptitudes de santé quel que soit le système de production (Plein-air, Agriculture Biologique ou conventionnel) sous l'angle d'une bonne stabilité du microbisme du troupeau. Une volonté de réduction ou d'absence d'usage de produits vétérinaires est systématiquement citée. Au second rang viennent la rusticité et la résilience de l'animal par une capacité à s'adapter à son milieu d'élevage pour bien produire. Au 3ème rang, ce sont les facilités d'élevage qui sont le plus fréquemment citées par les éleveurs en termes de recherche d'autonomie des truies et d'absence d'agressivité des animaux.

- **En filières avicoles**

Par rapport aux autres productions animales, les éleveurs de volailles ont la particularité de ne pas effectuer la reproduction au sein de leur exploitation. La sélection, la reproduction et les choix effectués à ce niveau sont réalisés par d'autres acteurs (annexe 1c). Afin d'appréhender les aptitudes animales recherchées pour plus d'agroécologie, les enquêtes ont été réalisées auprès des différents acteurs : éleveurs, responsables groupements de producteurs ou interprofession, sélectionneurs, accouveurs.

Figure 6. Priorisation par les acteurs des aptitudes animales recherchées en filières avicoles



Globalement, en filières avicoles, on observe les mêmes intérêts qu'en filière porcine pour développer une génétique mieux adaptée aux enjeux de l'agroécologie, à savoir avant tout donner priorité à l'amélioration des caractères de santé, puis aux caractères associés à la rusticité et la facilité d'élevage des animaux tout en permettant d'améliorer l'efficience de la production (figure 6). Toutefois, les priorités ne sont dans les mêmes selon la nature des interlocuteurs dans la filière. Ainsi, la reproduction est une priorité des sélectionneurs et des multiplicateurs – accouveurs, et des éleveurs de pondeuses (pour la production d'œufs), mais ne concerne pas directement les éleveurs de volailles destinées à la viande.

- **Point de vue d'éleveurs en démarche agroécologique**

Les deux éleveurs interrogés ont un mode d'élevage biologique, en filière organisée. Les souches élevées sont choisies par le groupement. Les aptitudes souhaitées par les éleveurs au niveau des animaux sont donc en relation avec le cahier des charges AB et portent sur trois critères principaux :

- La **résistance aux maladies** : l'utilisation d'antibiotiques est très restreinte en élevage biologique
- La **robustesse et capacité à maintenir la production face à des variations de l'environnement** : au niveau de l'accès au parcours, qui nécessite d'avoir des animaux résistants aux variations de températures ; au niveau de la valorisation des matières premières alimentaires bio, locales ou variées.
- Le **bien-être animal** : avec une bonne utilisation du parcours, et la limitation des problèmes de picage (élevages lumineux).

- **Point de vue des groupements de producteurs en démarche agroécologique**

Les groupements interrogés produisent des volailles sous signe de qualité Label Rouge et AB.

En tant que groupement, le premier critère recherché est **l'efficience et la production**, avec un indice de consommation optimal. Le **critère santé** est positionné en second afin de réduire l'usage d'antibiotiques (production biologique ou cahier des charges spécifique). L'importance de ce critère est variable selon l'implication du groupement dans des démarches de réduction de l'utilisation des antibiotiques. Le **critère qualité des produits** est également essentiel pour les groupements de producteurs. En effet, vendant leurs produits aux abattoirs ou centres de conditionnement d'œufs, une conformation optimale des produits est indispensable (rendement des carcasses pour la production de viande, taux de déclassement et calibre pour la production d'œufs). De plus, concernant les filières Label Rouge, ce critère ne doit pas être altéré puisque le produit doit satisfaire une exigence constante au niveau de la qualité gustative, telle que l'exige le cahier des charges.

Les critères suivants recherchés par les groupements de producteurs enquêtés sont ensuite la **robustesse** et le comportement des volailles. Comme cité précédemment, le mode d'élevage en plein air nécessite des animaux calmes, et pouvant s'adapter à des variations de températures.

Enfin, les caractères de sélection pure (reproduction et consanguinité) apparaissent en dernier dans le classement. Si l'importance de ces critères n'est pas contestée, les groupements de producteurs ne se sentent pas concernés par ces problématiques qui relèvent davantage des maillons en amont de la filière.

- **Point de vue accouveurs – producteurs de poussins**

Le premier critère recherché pour le couvoir interrogé est la **reproduction** puisque celui-ci impacte directement ses performances économiques, via le nombre de poussins produits par parquet et la qualité du poussin éclos.

La **résistance aux maladies** vient en second plan, mais ce critère est plutôt géré par le travail effectué sur l'itinéraire technique des reproducteurs, la gestion des œufs à couver (durée du stockage, qualité de l'incubation) et la qualité des poussins (tri, vaccination, transport). La génétique n'est pas considérée comme le principal levier pour améliorer ce critère. Par contre, le critère **comportement et bien-être animal** est un critère sur lequel la génétique peut avoir un rôle plus important. La qualité de l'aplomb des animaux et la réduction de risque de picages sont des enjeux importants pour les élevages de reproducteurs afin de maintenir une production d'œufs à couver de qualité.

Viennent ensuite les critères efficience et production (réduction de l'indice de consommation), et rusticité et résilience (adaptation aux protéines plus rustiques) afin de réduire le coût de production des élevages de reproducteurs.

Pour le couvoir interrogé, le critère qualité des produits est à maintenir et non plus à améliorer : le panel des souches permet de répondre à l'ensemble des demandes du marché.

- **Point de vue sélectionneurs – producteurs de reproducteurs**

Les critères de choix des animaux varient selon l'espèce avicole, le mode de production, ou le contexte géo-climatique (les entreprises de sélection interrogées sont présentes à l'international et les croisements commerciaux finaux varient fortement selon les pays). Ainsi, les entreprises de sélection ne peuvent classer les différents critères puisque **la hiérarchisation dépend du produit final d'élevage et du client**. Des catalogues de lignées sont disponibles, chacune ayant sa spécificité, ce qui traduit une grande souplesse pour agir selon les besoins du marché.

Critères robustesse et santé animale. La santé animale est complètement intégrée dans les programmes d'amélioration des souches des sélectionneurs interrogés. Elle est associée à la robustesse de l'animal et à sa capacité à maintenir la production face à des variations de l'environnement. La santé animale va de pair avec une bonne efficience économique et est demandée par les différents clients. Cette sélection est majoritairement effectuée indirectement puisque l'inoculation de pathogènes n'est pas envisageable en routine pour un sélectionneur. L'adaptation des animaux au milieu de vie est contrôlée (les souches réservées aux élevages plein air sont testées sur parcours) et les animaux ayant des performances techniques élevées sont conservés puisque cela traduit un animal robuste et en bonne santé. D'autres critères peuvent être relevés comme le taux d'anticorps dans le sang ou encore le taux d'oxygène.

De plus, les souches commerciales sont sélectionnées sur leur adaptation à certains paramètres d'ambiance (comme la température) selon le pays où les volailles seront élevées en raison de climats très différents. Des projets de recherche sont également en cours entre un des sélectionneurs interrogés et l'INRA afin d'améliorer ce paramètre. Les animaux sont soumis à des variations de températures dans les bâtiments afin de tester leur adaptabilité face à des conditions climatiques difficiles (qui peuvent être retrouvées dans certains départements français). D'autres programmes de recherche effectuent des travaux sur la résistance de certains croisements à des maladies particulières.

Le critère bien-être animal a également un impact sur la santé animale. Une mortalité réduite est le premier critère du bien-être animal. Les problèmes de picages sont récurrents dans les élevages de poules pondeuses et la sélection vise à obtenir des souches plus calmes, d'autant plus avec l'évolution de la réglementation qui interdirait à moyen terme certaines pratiques comme l'épointage. Ainsi les sélectionneurs notent l'agressivité des volailles, l'emplumement et effectuent des tests de sociabilité. La capacité à bien utiliser un parcours est un critère qui pourrait être intéressant mais difficile à prendre en compte, apprécié uniquement via des retours de commentaires du terrain par les techniciens d'élevage.

Critère Reproduction. Ce critère est très recherché par les accouveurs qui sont producteurs de poussins d'un jour. Afin de satisfaire simultanément les accouveurs et les groupements de producteurs, des croisements sont effectués entre des femelles sélectionnées sur les critères de reproduction (bonne fertilité et bon taux de ponte) et des mâles sélectionnés sur des caractères de production.

Critères Efficience et production et impact environnemental. Ce critère est indispensable pour qu'un éleveur puisse vivre de sa production et l'optimisation de l'indice de consommation est le but premier pour l'améliorer. Ceci rentre dans les démarches agroécologiques puisque l'amélioration de l'indice de consommation réduira les intrants alimentaires et permettra d'améliorer le critère impact environnemental par une diminution des rejets.

De la sélection génétique est également effectuée sur la digestibilité et la valorisation de rations alimentaires contenant des matières premières variées, essentiellement pour faire face aux besoins en protéines dans les rations et aux limites d'approvisionnement en soja non OGM, ou aux adaptations nécessaires aux évolutions prévues dans les cahiers des charges AB ou privés.

Critères qualité des produits. La finalité de ce critère varie fortement selon les productions (œuf, chair). Par exemple, les sélectionneurs de la filière ponte interrogés travailleront davantage sur la qualité intérieure de l'œuf pour des productions de casserie contrairement aux productions d'œufs coquille où la sélection est axée sur la qualité de la coquille et sa conformation. Ceci se constate également en filière poulet de chair de qualité avec des critères phénotypiques variant selon les productions (couleur de la peau, des pattes, présence de plumes sur le cou) comme nous l'indique le Sysaaf. Pour cela, des lignées pivots femelles sont utilisées. Les femelles sont fortement sélectionnées sur plusieurs critères mais possèdent un phénotype récessif contrairement aux mâles qui possèdent un phénotype dominant mais qui ont été moins sélectionnés.

Autres critères : biodiversité, consanguinité. Les sélectionneurs possèdent une diversité de lignées pures et la souche commerciale (que l'on retrouvera dans les élevages d'engraissement finaux) est le produit du croisement de plusieurs de ces lignées. Les accouplements sont effectués selon les calculs d'un logiciel qui prend en compte les liens de parenté sur plusieurs générations afin de limiter la consanguinité.

Cas particulier des éleveurs en races locales

La production de volailles est avant tout le fait de lignées commerciales. La production en race pure est très minoritaire (moins de 0,2 % des effectifs d'abattage de volailles françaises). Pour ce cas particulier, ce sont les collectifs ou associations de races locales qui sont majoritairement propriétaires des reproducteurs, avec un effectif de reproducteurs souvent très réduit. Ainsi, les orientations sur les critères de sélection sont proposées par le collectif, la gestion génétique des populations s'effectue en général dans un centre de sélection spécialisé, et les décisions prises sur les choix de reproducteurs au niveau du SYSAAF ou du centre de sélection. Toutefois, travaillant sur des races à petits effectifs et à diffusion limitée, avec un troupeau de reproducteurs très réduit, l'objectif premier du sélectionneur et du collectif est avant tout de **limiter le plus possible la consanguinité**. La sélection de ce fait, est limitée, et très majoritairement un seul critère peut être pris en compte dans les programmes de sélection. Il y a donc des attentes en termes de critère de sélection, mais pas réellement de sélection mise en place sauf parfois pour le **critère efficience et production**. Ce critère est essentiel pour permettre une mise en production. Les performances zootechniques sont pour certaines races très faibles et limitent la mise en production.

Ensuite, ces éleveurs ont toutefois des attentes pour améliorer leur système de production : tout d'abord, **la robustesse et la capacité à maintenir la production face à des variations de l'environnement**. Les élevages de races locales s'effectuent généralement dans de petites cabanes avec accès à un parcours et la ration alimentaire peut être composée de matières premières locales variées. Les volailles doivent donc être capables de résister aux variations de températures, de conditions d'élevage et de consommer des protéines rustiques. **La résistance aux maladies** est une aptitude animale également très souhaitée, d'autant que les programmes de vaccination et de prophylaxie connaissent plusieurs freins dans ces modes de production.

Ensuite, le critère **comportement et bien être** est jugé important afin de diminuer les problèmes d'agressivité souvent constatés en race locale. L'amélioration de ce critère pourrait permettre également d'améliorer l'utilisation des parcours et le côté exploratoire des volailles pour trouver des compléments alimentaires (insectes, vers).

Enfin, la **qualité des produits** reste un critère déterminant pour les races locales interrogées. Ces filières se positionnent en général sur des marchés de niche pour une restauration haut de gamme grâce à la réputation et la qualité gustative de leur produit qui se distingue des souches commerciales. Ainsi, même si l'amélioration de la qualité du produit ne peut être sélectionnée dans ces filières, les éleveurs souhaitent à ce que la qualité gustative de leur produit fini soit maintenue.

En résumé :

En filière avicole, le choix des animaux et de leur génétique repose sur différents maillons qui accordent une importance plus ou moins prononcée pour certains critères génétiques :
- Le maillon sélection regroupe un petit nombre d'entreprises, pratique la sélection des lignées pures et choisit les croisements à effectuer en fonction des demandes (souvent contradictoires) des maillons aval
- Le maillon accouvage optera pour des critères génétiques favorisant le taux de ponte et la reproduction afin d'obtenir des poussins d'un jour en nombre et qualité optimaux
- Les groupements de producteurs choisissent les croisements à fournir à leurs éleveurs parmi une liste proposée par les accouveurs et souhaitent davantage améliorer l'indice de consommation afin de réduire le coût de production.
- Le rôle des éleveurs est minime dans le choix de sélection du fait de leur appartenance à un groupement de producteurs qui fournit les poussins. Via le suivi technique, le groupement aura une vision globale de sa production et des animaux et fera remonter ses demandes auprès de l'accouveur ou du sélectionneur.
- Les éleveurs indépendants quant à eux s'approvisionnent directement auprès des accouveurs. Ils n'ont pas le poids et la demande suffisants pour influencer la génétique des entreprises de sélection.
- Les abattoirs optent pour des critères favorisant le rendement et la conformation des carcasses.
- Les centres de conditionnement d'œufs ou les GMS en cas de saturation du marché pourront exiger une qualité accrue des produits.
- Enfin, le consommateur peut être considéré comme le décideur final de la sélection. Une souche pourra être plus ou moins sélectionnée selon la demande du marché finale.

C. Quels nouveaux critères de sélection pour favoriser le développement d'une génétique animale adaptée aux enjeux de l'agroécologie ?

Etant donné l'état actuel des objectifs de sélection et les attentes des éleveurs impliqués dans des démarches agroécologiques, cette partie a pour objet d'évoquer de manière prospective les travaux de recherche qui pourraient amener dans un futur plus ou moins proche à la définition de nouveaux critères de sélection permettant de répondre aux deux interrogations essentielles pour favoriser le développement d'une génétique animale adaptée aux enjeux de l'agroécologie :

1) Quels nouveaux critères de sélection pour améliorer la santé des animaux dans un contexte d'aléas climatiques et/ou sanitaires résultant de la diminution des intrants énergétiques et médicamenteux ?

2) Quels nouveaux critères de sélection pour améliorer l'efficience d'utilisation des ressources alimentaires par les animaux dans un contexte de limitation des émissions polluantes et de valorisation des ressources locales, et plus largement des ressources non directement valorisables par l'Homme ?

C.1. Quels nouveaux critères de sélection pour améliorer la santé des animaux dans un contexte de conditions climatiques et/ou sanitaires variables non maîtrisées par l'apport préventif d'intrants énergétiques et pharmaceutiques ?

Le changement climatique est un facteur essentiel à considérer pour assurer la durabilité des productions animales en Europe, en particulier dans les pays du sud de l'Europe comme la France, l'Italie ou l'Espagne. Une augmentation des températures moyennes annuelles est attendue en France d'environ +1°C (+0,75 à +2°C selon les scénarios) pour la période 2021-2050 par rapport à la période de référence 1981-2010 (Météofrance, site web). La température de référence moyenne annuelle en France est de 12,6°C avec des valeurs journalières autour de 5°C en hiver et de 21°C en été. Un accroissement de 6 à 10 jours du nombre des journées chaudes (température au-dessus de 25°C) est prévu en été, ainsi qu'une diminution du nombre de journées hivernales en dessous de 0°C . Une augmentation des précipitations due à une augmentation des événements extrêmes est également attendue pour les 30 prochaines années dans la majorité des scénarios pour la France (Météofrance, site web). Ces évolutions des conditions climatiques vont engendrer directement une nécessité d'adapter les animaux en termes de résistance tant à des stress abiotiques (la chaleur, l'humidité) que biotiques (pathogènes, en particulier les parasites) du fait de l'évolution induite des conditions sanitaires en élevage au sol ou au pâturage.

C.1.1. Adaptation à la chaleur

En cas de stress thermique prolongé, on observe une diminution des niveaux de production des animaux liée à une moindre ingestion alimentaire par les animaux. Les capacités reproductives des animaux peuvent également être fortement affectées. Pour garantir la durabilité de systèmes de production à bas intrants énergétiques, il est donc important de sélectionner des animaux résistants à la chaleur.

C.1.1.1. Chez les ruminants

L'évaluation de la résistance à la chaleur des ruminants se fait essentiellement en observant la stabilité du niveau de production face à un stress thermique. D'après la synthèse de Kadzere et al. (2002) basée sur des études conduites en milieux tropicaux, la valeur seuil de stress thermique est en moyenne de 26°C pour les bovins.

Hammami et al. (2013) ont évalué le degré de stress thermique présenté par des vaches Holstein sous un climat tempéré continental (Luxembourg) dont la température annuelle moyenne est de 10,0 ° C (81% d'humidité relative de l'air), avec des valeurs moyennes de 2° C en hiver et 18° C durant les mois d'été. Le seuil de stress thermique trouvé pour l'expression des caractères de production et de comptage de cellules somatiques a été nettement plus bas (18 ° C et 75% d'humidité relative) que les estimations faites en milieux tropicaux, subtropicaux et méditerranéens (différentes estimations comprise entre 23 ° C et 30 ° C dans la littérature, selon Hammami et al., 2013). Toujours en race Holstein, Carabaño et al. (2014) ont montré à partir des données du sud de l'Espagne au climat chaud (température moyenne quotidienne maximale en été de plus de 30° C), mais sec (25 - 30% d'humidité relative) que les seuils de stress thermique peuvent être très différents selon le caractère de production observé : environ 29° C pour la production de lait, 18° C pour le taux protéique et seulement 15° C pour le taux butyreux et le comptage des cellules somatiques.

En termes de choix de races bovines plus adaptées à la chaleur, la synthèse de Berman (2011) ne soutient pas l'idée que les races qui ont évolué en climats chauds (par exemple les types Bos indicus et Bos Taurus Sanga) ont acquis des caractéristiques génétiques qui leur confèrent une plus grande capacité à dissiper la chaleur. À l'exception du gène « slick hair » (Dikmen et al., 2014) et de la mutation « hairy » (Littlejohn et al., 2014), les caractéristiques de la robe des bovins dans les climats chauds reflètent selon Berman (2011) bien plus les effets de la nutrition, de la conduite et du climat durant la vie des animaux plutôt que des différences au niveau génétique.

Cependant, intra-race, il existe une variabilité génétique suffisante pour permettre la sélection d'animaux tolérants la chaleur (Bovins : Ravagnolo et Misztal, 2000 ; Ovins : Menendez-Buxadera et al., 2014). Par ailleurs, Bohmanova et al. (2005) ont montré que les taureaux Holstein américains qui transmettaient une plus grande tolérance au stress thermique avaient des filles avec des productions laitières plus faibles, des taux plus élevés de matières dans le lait, de meilleures mamelles, une meilleure longévité et fertilité. Par conséquent, se pose la question de l'utilité de développer un programme de sélection spécifique pour les races en développement dans les régions avec une longue période de jours chauds, telles le sud de la France, l'Italie ou l'Espagne.

Certaines races ovines ont été décrites pour leur bonne adaptation à un microclimat particulier en zones difficiles, comme par exemple, la race mixte espagnole Mérinos de Grazelama élevée dans des systèmes extensifs ou en semi-pâturage extensif à faible niveau d'intrants dans le sud-ouest de l'Andalousie avec des étés chauds et secs. Bien que la Mérinos de Grazelama soit considérée comme une race rustique bien adaptée aux conditions montagneuses difficiles d'Andalousie, Menendez-Buxadera et al. (2014) ont montré que sa production laitière est négativement affectée par des niveaux élevés d'humidité et de température. Les meilleurs animaux sélectionnés dans la zone de confort thermique ne sont pas les meilleurs au-delà du seuil de stress thermique (Menendez-Buxadera et al., 2014). En raison de la variabilité génétique existant dans la sensibilité des ruminants à un stress thermique, l'utilisation d'un modèle d'évaluation génétique intégrant les interactions G x E doit être envisagée pour identifier les animaux plus robustes dans des environnements difficiles ou plus élastiques aux variations de température et d'humidité.

En race bovine Holstein, Carabaño et al. (2014) ont montré qu'il y avait peu d'interaction entre génotypes et températures basse (0°C) versus haute (33°C) pour la quantité de lait ($r > 0,8$), mais une interaction nettement plus importante pour les matières du lait et le comptage des cellules somatiques (r environ 0,5 - 0,6). Pour une amplitude moindre entre les températures moyennes (10°C versus 30°C), aucune interaction significative n'a été observée pour aucun des caractères ($r> 0,9$). Il faut modérer ces résultats car des systèmes de refroidissement sont très souvent employés en élevages laitiers en Espagne durant l'été. Si toutefois ce faible degré d'interactions G x E était confirmé pour d'autres climats chauds européens (climats humides), dans des systèmes d'élevage sans dispositifs de refroidissement et pour des caractères tels que la fertilité et la longévité, nous pourrions alors conclure qu'il n'est pas nécessaire de conduire des programmes de sélection spécifiques dans une race bovine donnée selon les différentes régions de production en France, au regard des prédictions météorologiques pour les 30 prochaines années. La question est alors seulement d'évaluer si l'introgression de certains variants génétiques (mutations slick ou hairy) ayant des effets majeurs pour la résistance à la chaleur doit être effectuée dans certaines races. Les travaux récents de Littlejohn et al. (2014) montrent que les mutations hairy et slick sont des variants des gènes de la prolactine et du récepteur de la prolactine, respectivement. Cela peut expliquer la plus faible production de lait ou même l'absence de

la lactation chez certains animaux mutants hairy. Au contraire, lorsque le variant « slick » a été introgressé en race Holstein, les vaches porteuses ont eu des productions laitières supérieures à leurs contemporaines non porteuses L'effet des deux mutations sur le stress thermique semble être dû à un contrôle de la sécrétion de sueur qui augmente la transpiration chez les mutants, mais les rôles précis restent à comprendre.

D'autres critères de sélection que le maintien du niveau de production sont recherchés pour évaluer la résistance à la chaleur des ruminants. Par exemple, les changements dans les paramètres de température corporelle, de production de chaleur ou de rythme respiratoire ont été utilisés pour rechercher des signatures de la sélection naturelle ou associations génomiques chez les ovins (Alhidary et al., 2012, Elbeltagy et al., 2014). D'autres études doivent être menées pour étudier si de telles mesures physiologiques pourraient être utilisées comme critères de sélection potentiels pour augmenter la tolérance à la chaleur chez les ruminants.

Par ailleurs, si nous avons essentiellement considéré l'importance de la tolérance à la chaleur pour des animaux en production, à l'inverse la résistance au froid chez le nouveau-né dans le contexte de naissances en plein air est également un facteur important de survie, en particulier des agneaux. Ainsi, le type de toison ou pelage est une composante importante de la survie de l'agneau à la naissance dans le cadre de l'élevage en plein air intégral (Allain et al., 2014) : toisons ou pelages courts et frisés sont moins protecteurs qu'une toison ou un pelage longs et poilus. En race ovine Romane, ce caractère est très héritable (0.56) et son déterminisme génétique est sous la dépendance de quelques gènes majeurs qui pourront être considérés dans des programmes de sélection ou d'introgression de nouveaux variants de gènes au sein d'une population.

C.1.1.2. Chez les Monogastriques

En ce qui concerne la robustesse ou la capacité d'adaptation des monogastriques à des conditions d'élevage moins maîtrisées par des intrants, le champ d'étude le plus actif est sans doute celui de la résistance à un stress de chaleur. Outre le contexte de l'adaptation au changement climatique, l'intérêt de ces recherches réside dans le fait que les productions de monogastriques se développent essentiellement dans les pays tropicaux où les entreprises internationales cherchent à diffuser le même matériel génétique que dans les pays tempérés. Il faut alors résoudre le conflit entre production et adaptation à la chaleur : pour produire, l'animal doit consommer de l'aliment, ce qui entraîne une production de chaleur intense le rendant mal adapté à des conditions chaudes. On peut donc soit ajuster sa consommation alimentaire en période chaude, soit améliorer sa capacité à dissiper la chaleur.

Le porc est généralement considéré comme un animal peu résistant à la chaleur, sa zone de confort thermique étant celle d'un milieu tempéré (chez la truie, les performances de reproduction peuvent être impactées par une température extérieure supérieure à 20°C). Ainsi, lors des fortes températures, les performances de reproduction, comme de croissance sont affectées. Dans ce domaine, on trouve beaucoup d'études de comparaisons de races locales/conventionnelles en milieu tropical (Renaudeau et al., 2007) qui donnent l'avantage (ou au minimum ne désavantagent pas) aux génotypes locaux. Ainsi, pour étudier la résistance à la chaleur des porcs, de nombreux travaux ont été réalisés par l'INRA sur le porc Créole élevé en conditions tropicales. La meilleure adaptation aux conditions tropicales du porc Créole se caractérise en particulier par un seuil de sensibilité plus élevé à une brusque élévation de la température ambiante. De plus, le porc Créole est capable de consommer de l'aliment au cours des périodes les plus chaudes de la journée (Gourdine et al., 2006). Bloemhof et al. (2008) ont rapporté une comparaison intéressante sur les performances de reproduction de lignées sélectionnées en milieu tempéré ou, à une échelle internationale, en milieu tropical. Cette dernière lignée avait également, en conditions d'élevage tempérées, une meilleure résistance aux pics de chaleur. Jusqu'à présent, il n'existe pas à proprement parler de critère de sélection sur la résistance à la chaleur chez le porc, hormis la mesure des performances en condition de stress thermique (Bloemhof et al., 2012).

Chez les volailles, la comparaison de performances de poulets à croissance rapide et lente (type label rouge) a montré que les premiers étaient plus sensibles à la chaleur et qu'en conditions chaudes, les performances des deux génotypes pouvaient alors devenir équivalentes (Settar et al., 1999 ; N'Dri et al., 2007). La première possibilité est donc l'utilisation de génotypes à croissance lente. Le développement des automates de consommation pourrait également permettre d'identifier quels sont les animaux dont la cinétique de consommation quotidienne est flexible, et de sélectionner ceux qui consomment leur ration aux périodes les moins chaudes.

L'amélioration de la capacité de l'animal à dissiper la chaleur peut être obtenue par l'augmentation de la taille des zones de dissipation de chaleur, c'est-à-dire les zones non emplumées. La réduction de l'emplumement peut s'envisager via des gènes majeurs tels que les gènes cou nu, frisé ou sans écaille. Les animaux porteurs de ces gènes ont tous montré leur capacité à maintenir de bonnes performances en conditions chaudes (Cahaner et al., 1993 ; Azoulay et al., 2011 ; Zerjal et al., 2013). Le gène cou nu est fréquemment utilisé dans les productions de type label rouge avec pour objectif premier de donner une image « traditionnelle » de ces productions, mais induisant indirectement une meilleure adaptation des animaux à la chaleur. On peut également envisager de sélectionner les animaux présentant de plus grandes surfaces de dissipation de chaleur sur des critères simples tels que la longueur des pattes. La sélection sur des caractères liés à la température corporelle est encore difficile à l'heure actuelle, car la mesure est peu précise, mais le développement d'outils de thermographie par infra-rouge devrait permettre d'améliorer la précision et la rapidité de la mesure dans les années à venir (Loyau et al., 2013, 2015).

C.1.2. Résistance aux maladies

C.1.2.1. Chez les ruminants

Dans un système agroécologique qui privilégie le pâturage par rapport à l'élevage en bâtiment des animaux, certaines maladies ont des conséquences majeures: parasitisme gastro-intestinal, boiterie et affections du pied, amaigrissement et perte de production par défaut d'apport lorsque les ressources se raréfient, carences minérales et vitaminiques, … L'émergence d'une ou plusieurs maladies à l'échelle d'un troupeau est multifactorielle : le climat, la densité et la chronologie des animaux sur la pâture, la disponibilité des ressources alimentaires, la résistance/tolérance de l'animal, l'utilisation de traitements préventifs ou curatifs modulent la réceptivité et la sensibilité des animaux à l'apparition des troubles infectieux ou parasitaires.

Il importe donc d'évaluer les leviers génétiques disponibles pour améliorer la santé des ruminants au pâturage. En préalable, il nous faut rappeler que, bien que non généralisé, ce système de production est déjà largement utilisé chez les ruminants en France, notamment en production ovine. Davies et al. (2009) ont présenté un rapport des pathologies majeures des ruminants dans lequel dominent les mammites et les infections parasitaires. Ces maladies sont aussi d'une importance cruciale dans un système d'élevage agroécologique privilégiant l'alimentation à l'herbe. Cependant, il faut y ajouter les problèmes de santé de l'appareil locomoteur peu cités dans ce rapport.

Chez les ruminants vivant au pâturage, la pathologie principale affectant la croissance et le bien-être des animaux est causée par des parasites gastro-intestinaux ingérés en même temps que l'herbe (Coop et al., 1985; Mandonnet et al., 2003, 2005; Davies et al., 2006). La stratégie de lutte classiquement utilisée repose sur l'utilisation de molécules chimiques anthelminthiques (ayant des propriétés antiparasitaires). Cependant, en plus d'être toxiques pour l'environnement, ces molécules contribuent à faire émerger des parasites résistants aux traitements traitements, et des défauts d'efficacité sont constatés de plus en plus souvent à travers le monde (Falzon et al., 2014). Plusieurs stratégies de luttes alternatives sont proposées dans la bibliographie : gestion du pâturage, plantes anthelminthiques, résistance génétique (Bishop et al, 2007; Karlsson et al., 2012). L'héritabilité modérée de la résistance génétique aux parasites gastro-intestinaux des ruminants (Baker et al., 1991 ; Assenza et al., 2014), permet d'espérer la mise en place d'une sélection sur ce critère et ainsi d'éviter de produire des animaux fortement excréteurs qui contaminent leurs congénères. Vue l'existence de nombreuses espèces de parasites gastro-intestinaux, il importe de vérifier que la stratégie de lutte génétique sera efficace quelle que soit l'espèce de parasite. Gruner et al. (2004) ont montré que le

déterminisme génétique de résistance était quasiment identique pour des espèces de parasites très différentes. La stratégie de sélection génétique a notamment été mise en œuvre dans des pays produisant majoritairement des agneaux ou des chèvres à l'herbe en Guadeloupe, Australie, Nouvelle Zélande et Uruguay (De la Chevrotière et al., 2011 ; Goldberg et al.,2012; Hunt et al., 2013 ; Gray 1997). Cette sélection est réalisée sur des animaux infestés naturellement, à partir d'un comptage d'œufs dans les fèces (mesure dépendante de la résistance mais aussi du nombre d'œufs ingérés). En France, une autre stratégie est proposée dans les schémas de sélection des ovins allaitants (Romane) et laitiers (Manech à Tête Rousse). Il s'agit de mesurer le nombre d'œufs dans les fèces après une infestation expérimentale (une même dose de vers est ingérée par les animaux) (Jacquiet et al., 2009). Le protocole d'infestation a été mis au point de manière à ne pas détériorer les autres performances des animaux et une corrélation génétique quasi complète a été mise en évidence entre infestations naturelle et expérimentale (Jacquiet et al., 2009; De La Chevrotière et al., 2011). Enfin, plusieurs articles ont montré une résistance/sensibilité très contrastée entre différentes races de ruminants (Gruner et al., 2003 ; Baker et Gray, 2004).

Au pâturage et surtout lors des transhumances, les animaux doivent présenter des aptitudes à la marche et une bonne santé de l'appareil locomoteur. Les problèmes majeurs de santé des ruminants au pâturage sont liés aux perturbations de la locomotion. Chez la vache laitière, l'aptitude à se déplacer et l'apparition de boiteries sont fortement héritables (Koeck, 2012). L'apparition de boiteries est génétiquement liée à la corpulence de l'animal (Kougioumtzis, 2014). Chez les animaux à viande, des objectifs contradictoires sont donc ici mis en évidence entre production et santé au pâturage. D'autre part, des problèmes de santé des pieds comme le piétin chez les petits ruminants peuvent apparaître dans des systèmes agroécologiques basés sur le pâturage, sur des parcelles en inter-culture ce qui correspond souvent à des périodes humides et froides. Des héritabilités modérées de la résistance ont été mises en évidence en Australie où la résistance au piétin y est sélectionnée depuis de nombreuses années (Raadsma et al., 1994). De plus, des différences de résistance entre des races australiennes ont été identifiées (Emery et al., 1984), mais aucune étude n'a été réalisée sur les races françaises.

Enfin, les mammites sont un problème de santé majeur de la mamelle au pâturage ou en bâtiments chez tous les ruminants, mais particulièrement les ruminants laitiers. La résistance aux mammites est faiblement héritable et généralement hautement génétiquement corrélée au nombre de cellules dans le lait (Mrode et Swanson, 1996 ; Koeck, 2012). La résistance aux mammites est aujourd'hui l'un des objectifs poursuivis pour la sélection des bovins, ovins et caprins laitiers (Rupp et al., 2002, 2003).

D'autres maladies (maladies métaboliques, tuberculose, paratuberculose, Visna Maedi,…) peuvent affecter les ruminants mais leur déterminisme génétique n'a généralement été étudié que pour l'élevage en bâtiments. Il faudrait donc évaluer la résistance des animaux dans des systèmes ayant recours au pâturage de façon dominante.

C.1.2.2 Chez les monogastriques

- **Chez les porcs**

La diminution de l'usage des antibiotiques (interdiction initiale pour l'usage d'antibiotiques en tant que facteur de croissance, puis volonté de limiter l'usage des antibiotiques à titre préventif) suscite des travaux sur la robustesse/santé des animaux dans ce contexte spécifique, mais les résultats s'intéressant plus particulièrement à la génétique sont encore peu nombreux. Depuis une dizaine d'années, des travaux émergent autour de la résistance aux maladies en système conventionnel. Ils sont abordés sous l'angle soit de la compétence/réponse immunitaire (Visscher et al., 2002), soit de la résistance aux pathogènes spécifiques (bactériens et surtout viraux). Pour ce qui est de la compétence immunitaire, les études montrent qu'il existe une variabilité génétique (Clapperton et al., 2008 ; Henryon et al. 2006 ; Flori et al., 2011) de la plupart des critères mesurés (sur la réponse immunitaire innée et acquise) mais l'efficacité de la sélection sur ces critères pour améliorer la santé des animaux en élevage est loin d'être établie, les travaux et résultats dans ce domaine étant encore peu nombreux chez le porc (Willkie et Mallard, 1999 ; Crawley et

al., 2005 ; Henryon et al., 2006). Que ce soit pour la capacité immune ou pour la résistance/susceptibilité aux maladies, de nombreux travaux ont été conduits pour détecter les zones du génome susceptibles d'affecter le niveau de performance des animaux. Début 2015, 380 QTL avaient été localisés pour des caractères relatifs à la capacité immune et près de 200 pour la résistance à une maladie (http://www.animalgenome.org/cgi-bin/QTLdb). Cependant, peu d'études ont été menées pour préciser la localisation de ces QTL et offrir de nouvelles possibilités de sélection pour améliorer la santé des animaux. Il faut toutefois mentionner plus particulièrement les travaux menés sur la résistance/tolérance génétique au virus du SDRP, travaux essentiellement produits par les nord-américains pour lesquels l'incidence économique est la plus élevée avec des souches virales plus virulentes qu'en France (Lewis et al., 2007). Les travaux les plus récents ont surtout cherché à mettre en évidence des gènes de résistance (ou de moindre sensibilité) au virus du SDRP (Lunney et Chen, 2010 ; Boddiker et al., 2014). Cette détection a nécessité la réalisation de lourdes expérimentations impliquant l'infection de centaines d'animaux en milieu confiné, condition impossible à reproduire de manière récurrente en sélection. En revanche, dès qu'un QTL a été détecté avec une précision suffisante, il est possible de l'utiliser en sélection sans avoir à reconduire ces infections expérimentales. Ainsi, la zone détectée sur le chromosome 4 a commencé à être suivie dans les populations en sélection. Toutes ces études ont été menées en conditions d'élevage standard ; aucune étude n'a été conduite dans des systèmes non conventionnels et les études de comparaison de races sont encore peu nombreuses (Reiner et al., 2010).

Dans des systèmes d'élevage moins contrôlés, on peut se poser la question des salmonelles (qui en production porcine porte plus sur la sécurité alimentaire humaine que sur la santé des animaux), sachant que cette question relève autant sinon plus de l'élevage conventionnel, la salmonelle étant un contaminant opportuniste qui peut proliférer dans des conditions sanitaires de haut niveau (van Diemen et al., 2002 ; Uthe et al., 2011). Un marqueur d'ADN pour la sélection de la résistance à F18 + E. coli chez le porc est disponible depuis de nombreuses années. L'utilisation de ce marqueur diminue la mortalité due à la diarrhée post-sevrage et/ou à la maladie de l'œdème. Dans les systèmes alternatifs se pose également la question plus générale de la résistance aux parasites (pas de référence connue) dans la mesure où leur présence est favorisée pas l'accès au sol (dont la présence est nécessaire au cycle de plusieurs parasites). Dans tous les cas, la sélection sur les critères de résistance aux maladies est envisagée de manière complexe, généralement sous l'angle de la détection de QTL (ou sélection génomique), l'accès aux phénotypes informatifs s'avérant particulièrement difficile.

Une des problématiques généralement soulevées pour les races sélectionnées sur les performances de (re)production est leur plus faible capacité à répondre à un challenge infectieux, l'essentiel de leurs ressources étant mobilisées pour la fonction de croissance ou de reproduction. Ce fait peut être illustré par les résultats de Merlot et al. (2013) qui ont mesuré différents paramètres liés à la santé et au stress chez des porcs à l'engraissement issus de deux races très différentes (Large-White et Porc Basque) élevées soit dans un milieu conventionnel en claustration totale soit avec un accès à l'extérieur. La fréquence de lésions corporelles et de rhinites était plus élevée chez les animaux Large White en relation avec un niveau de lymphocytes circulant supérieur. Les auteurs concluaient que la sélection semblait avoir augmenté la sensibilité des animaux aux différents stress environnementaux. Cependant, cette vision des antagonismes entre performances de production et résistance doit être modulée : Gilbert (2015) a en effet montré que des animaux plus efficaces s'avéraient au moins aussi aptes si ce n'est plus à faire face aux challenges et/ou stress.

- **Chez les volailles**

Dans un système à bas intrants, les animaux doivent être résistants aux maladies puisque les possibilités de traitements sont limitées alors même que l'environnement de production (avec notamment l'accès à un parcours de plein air) augmente les risques de contamination par des parasites intestinaux, des salmonelles ou campylobacter (Jensen et al., 2012 ; Kijlsta et al., 2006) et que l'utilisation d'aliments locaux de qualité variable peut fragiliser la santé du tractus gastro-intestinal, première barrière entre les pathogènes et l'animal.

Si la sélection sur la résistance à un pathogène spécifique a montré son efficacité (Pinard-van der Lan et al., 2003 ; Beaumont et al., 2003 ; Arthur et al., 2003) , elle rencontre néanmoins plusieurs écueils. Le premier est d'identifier les pathogènes les plus problématiques, car on ne peut pas sélectionner sur la résistance à tous les pathogènes, et améliorer la résistance à un pathogène n'implique pas nécessairement que l'on améliore la résistance générale de l'individu. Or, il est très difficile de définir quel est le pathogène à combattre en priorité, car celui-ci dépend des conditions de production et qu'il y en a rarement un seul qui prédomine (Knap et Bishop, 2000 ; Emmerson, 2003). De plus, si la résistance génétique d'un troupeau empêche le développement d'un pathogène particulier, il est fort probable qu'un second agent pathogène opportuniste se développe.

Une alternative à la sélection pour améliorer la résistance à un pathogène donné serait d'améliorer l'efficacité générale du système immunitaire. Certaines races locales sont identifiées pour leur bonne robustesse face aux pathogènes, telle que la poule d'origine égyptienne Fayoumi, mais ses performances restent médiocres. La sélection de l'efficacité du système immunitaire repose sur les principaux mécanismes de réponse des animaux tels que la production d'anticorps, la réponse cellulaire ou l'activité phagocytaire. Cependant, comme ces réponses sont mesurées après une stimulation par un pathogène spécifique, elles donnent les mêmes résultats contrastés que la sélection directe sur la réponse à un pathogène donné (Lamont et al., 2003). De plus, la théorie de l'allocation des ressources implique que si on utilise une part plus importante des ressources de l'animal pour le système immunitaire, il en restera moins pour la production, les souches les plus efficaces sur le plan immunitaire auront donc vraisemblablement des performances de croissance réduites (Knap et Bishop, 2000 ; Lamont et al., 2003). Les liens entre efficacité du système immunitaire et efficacité alimentaire et digestive semblent moins problématiques car les animaux sélectionnés sur leur efficacité alimentaire ou digestive sont soit aussi résistants voire plus résistants aux pathogènes (Lamont et al., 2003 ; Calenge et al., 2014). Il est possible que la sélection de l'efficacité alimentaire/digestive ait en partie amélioré la santé du tube digestif, et donc la capacité de l'animal à bloquer l'entrée des pathogènes.

Enfin, un dernier problème à contourner est l'environnement dans lequel sélectionner les animaux. En effet, sélectionner sur la résistance à un pathogène implique un challenge qui ne peut être réalisé que dans un milieu confiné très éloigné des conditions de production. Or il a été montré que les bases génétiques de la résistance aux pathogènes sont différentes selon le milieu dans lequel elle est mesurée (Long et al., 2008). Placer des troupeaux de parentaux (descendants des lignées pures sélectionnées par les entreprises de sélection et parents des animaux commerciaux) dans des conditions sanitaires proches de celles du milieu de production commercial semble donc être la seule solution aisée à mettre en œuvre pour améliorer la résistance des animaux aux pathogènes.

C.2. Quels nouveaux critères de sélection pour améliorer l'efficience de l'utilisation des ressources alimentaires par les animaux dans un contexte de limitation des émissions polluantes et de valorisation de ressources locales non directement valorisables en alimentation humaine ?

Parmi les objectifs de l'agroécologie appliquée à l'élevage (Dumont et al., 2013), la meilleure valorisation des ressources alimentaires locales ou régionales, peu concurrentielles de l'alimentation humaine, nécessite de renforcer l'adéquation entre les potentialités du milieu et les exigences du troupeau et de l'animal. Cette adéquation peut donc être envisagée à deux niveaux d'organisation différents, à savoir à l'échelle du système de production et à l'échelle de l'animal. A l'échelle du système, l'éleveur va chercher à organiser/mettre en phase la vie du troupeau (au travers notamment de la fonction de reproduction des femelles et la complémentarité entre types d'animaux) et la demande alimentaire qui en découle avec la disponibilité des ressources alimentaires souvent saisonnée et donc variable au cours de l'année. A l'échelle de l'animal, l'éleveur va rechercher un type d'animal capable de se satisfaire durablement de la nature des ressources alimentaires disponibles et de leur probable/possible instabilité. Il s'agit dans les deux cas,

d'approcher au mieux et longtemps le point d'équilibre entre l'offre et la demande du troupeau, entre les apports et les besoins de l'animal.

C.2.1. Efficacité alimentaire

C.2.1.1. Les objectifs et les critères de mesure communs à toutes les filières

La littérature relative à l'efficacité alimentaire est pléthorique dans toutes les filières, en particulier chez les animaux en croissance et à l'engraissement car c'est un facteur clé des performances zootechniques des animaux (associées à la vitesse de croissance et la composition corporelle) et de la rentabilité économique des élevages. Les références concernant des animaux mis dans des conditions d'élevage où les ressources sont limitantes sont en revanche beaucoup plus limitées. L'amélioration de l'efficacité alimentaire a en effet été classiquement réalisée dans des environnements où l'accès aux ressources alimentaires « nobles » n'était pas limitant : les animaux étaient alors alimentés avec des rations peu fibreuses, riches en énergie, et très digestibles. Pour soutenir le développement durable des productions animales et tendre vers des systèmes d'élevage agroécologiques, il s'agit de limiter la compétition pour l'usage des terres et de réduire l'empreinte écologique des élevages notamment en optimisant la transformation des ressources alimentaires en produits. La production d'effluents (matières non digérées, déchets du métabolisme) est inversement liée à l'efficacité de transformation des aliments. Au niveau des individus, il faut donc rechercher des animaux plus efficaces, ingérant et valorisant mieux l'herbe et les fourrages qui en découlent pour les ruminants, acceptant des aliments de moindre qualité énergétique et protéique pour les monogastriques. Toutefois, l'efficacité alimentaire est un phénotype complexe qui doit être mesuré finement pour comprendre les processus biologiques sous-jacents avant d'identifier les leviers d'action pour l'améliorer (efficacité digestive *vs.* métabolique ; efficacité énergétique *vs.* protéique). Ce phénotypage doit être réalisé en conditions variées tant sur le plan du génotype, du niveau alimentaire que de la composition de la ration (teneur en fibres, en acides aminés).

Pour améliorer l'efficience de l'utilisation de l'aliment, on sait depuis longtemps sélectionner sur l'indice de consommation (ratio de la quantité d'aliment consommée et la quantité de lait, viande ou d'œufs produite), la consommation résiduelle (écart entre la consommation théorique d'après les performances de production et la consommation réelle) ou encore l'efficacité digestive, dès lors que l'on peut mesurer de manière fiable les quantités ingérées. En plus d'être précise, une bonne mesure de l'ingéré doit être enregistrée en perturbant le moins possible le comportement d'accès à la nourriture des animaux observés : la difficulté est particulièrement grande chez les volailles au sol élevées en groupes de plusieurs milliers d'animaux. Pour contourner le problème, des travaux sont menés pour développer des automates de consommation alimentaire permettant cette mesure dans les conditions de production des volailles au sol (Basso et al., 2010). Une autre difficulté est l'estimation de l'ingéré chez les ruminants au pâturage où des techniques basées sur des marqueurs indigestibles sont en général utilisées. Leur lourdeur limite les possibilités de phénotypage à large échelle, qui reste coûteux et parfois difficile à mettre en œuvre (Phocas et al., 2014a). Une alternative est d'envisager une approche prédictive de l'ingéré et de l'efficacité alimentaire basée sur des paramètres peu coûteux et faciles à mesurer (croissance, bio-marqueurs…) dans le cadre de programmes de sélection génétique. A travers le monde, de nombreux programmes de recherche sont en cours sur ce sujet dans les diverses filières sans pour l'instant aboutir à des solutions génériques validées. Les approches basées sur les mesures automatisées à haute fréquence sur l'animal vivant, telles que l'imagerie pour la note d'état corporel, les accéléromètres ou les vidéos pour le comportement alimentaire et l'ingestion, la thermographie, les sondes ruminales etc., sont prometteuses, mais restent à développer en routine. La valeur de ces technologies pour estimer conjointement les niveaux d'ingestion et les besoins des animaux doit encore être précisée. D'autres travaux sont en cours pour faciliter la mesure de l'efficacité digestive par spectroscopie infra-rouge dans diverses filières tant de ruminants que de monogastriques.

Une synthèse des questions scientifiques et des verrous technologiques autour de l'amélioration de l'efficacité alimentaire des animaux (Phocas et al., 2014a) explicite l'état des connaissances et les problèmes génériques à toutes les filières ainsi que les spécificités de chaque filière pour développer de nouveaux critères de sélection permettant d'améliorer l'efficience des productions animales. La première question qui se pose en termes d'amélioration de l'efficacité alimentaire à moindre coût économique et environnemental est de savoir si les animaux les plus efficaces pour des rations riches en énergie sont aussi les animaux les plus efficaces pour des rations riches en fibres, peu digestibles pour les monogastriques. Par ailleurs, un levier d'action potentiellement important pour réduire les rejets (notamment d'origine fécale) serait l'amélioration de l'efficacité digestive des animaux. Quelle que soit l'espèce considérée, il existe très peu de travaux mesurant la variabilité individuelle de la digestibilité de l'énergie et des nutriments (Phocas et al., 2014a). Cette variabilité pourrait être plus spécifiquement ciblée pour permettre une meilleure valorisation de ressources alimentaires diversifiées par les animaux d'élevage, permettant ainsi une gestion plus agroécologique des ressources alimentaires. Une autre question essentielle pour toutes les espèces dans les années à venir concerne l'efficacité de l'utilisation protéique et minérale des aliments. L'essentiel des travaux sur l'efficacité alimentaire ont été conduits en supposant que les apports en acides aminés et en minéraux ne limitent pas la couverture des besoins d'entretien et de production des animaux. Or, dans le but d'accroître l'autonomie des élevages dans l'approvisionnement en protéines végétales, ainsi que pour limiter les rejets azotés dans l'environnement, il paraît nécessaire d'explorer les possibilités d'amélioration de l'efficacité protéique. Toutefois, très peu de résultats sont disponibles à ce sujet dans la bibliographie, même si certains laissent présager d'une variabilité entre animaux à la fois en termes d'efficacité digestive et métabolique (Mignon-Grasteau al., 2013). Chez la vache laitière où les apports en énergie et protéines interagissent sur les performances de production, Brun-Lafleur et al. (2010) montrent que ces interactions sont très dépendantes du potentiel de production de la vache. Dans toutes les espèces, on ne sait pas à l'heure actuelle expliquer précisément pourquoi un animal est plus efficace qu'un autre pour déposer des protéines. Cette efficacité variable de la transformation des protéines alimentaires induit également des rejets d'azote dans l'environnement variables entre animaux (van Milgen et al., 2008), même si le premier facteur à maîtriser en termes de limitation des rejets est évidemment l'adéquation entre les apports et les besoins nutritionnels des animaux.

C.2.1.2. Chez les ruminants, un phénomène essentiel à considérer : la mobilisation/reconstitution des réserves corporelles

Les ressources alimentaires nécessaires et dédiées à l'élevage des ruminants sont pour l'essentiel basées sur les fourrages, même si pour certains types de production et d'animaux (vaches et chèvres laitières, taurillons et agneaux à l'engraissement), la part des graines et tourteaux dans la ration annuelle est devenue importante et parfois en augmentation. L'efficacité digestive des ruminants apparait comme un critère pertinent pour améliorer l'utilisation des fourrages ou d'aliments alternatifs comme les sous-produits de l'agriculture, de qualité inférieure et variable. La variabilité génétique mise en évidence chez les ruminants pour l'efficacité alimentaire d'animaux nourris à base de concentrés montre que la sélection génétique pour ce caractère est envisageable (Cammack et al., 2005, Francois et al., 2012). En revanche, le déterminisme génétique de l'efficacité alimentaire pour des rations à base de fourrages est mal connu. Quelques études mettent en évidence une variabilité génétique pour l'efficacité alimentaire d'animaux au pâturage ou nourris à base de foin (Lee et al., 1995, 2002 ; Ermias et al., 2002). Outre l'amélioration génétique de l'efficacité digestive, l'utilisation de prébiotiques ou probiotiques offre également des alternatives pour améliorer la digestibilité des fourrages et leur utilisation (Meale et al., 2014).

Parmi les fourrages, l'herbe pâturée reste une base importante de l'alimentation des bovins et ovins, notamment des femelles reproductrices (particulièrement en système allaitant) ou de renouvellement. Mais par définition, cette ressource est saisonnée, de disponibilité et valeur nutritive instables, et sa gestion s'avère plus difficile à maitriser que le recours à des fourrages stockés. La meilleure valorisation de cette ressource herbacée par le pâturage et plus largement des fourrages qui en sont issus (ensilage, mi-fané, foin) constitue pourtant l'un des enjeux majeurs d'une agriculture plus autonome, en phase avec les principes de l'agroécologie.

Les capacités de mobilisation/reconstitution des réserves sont sollicitées pour faire face aux variations naturelles des ressources alimentaires dans des environnements contraignants (Friggens et al., 2004). Ainsi, la durabilité des systèmes de production animale dans ces milieux repose sur la capacité des animaux à survivre et se reproduire dans des situations de fortes restrictions alimentaires (Blanc et al., 2006). Le maintien de ces systèmes impliquent l'utilisation d'animaux flexibles capables d'adapter leur physiologie aux environnements changeants tout en maintenant leur production (Bocquier et González-García, 2010). La capacité des animaux à se satisfaire et valoriser cette ressource alimentaire variable basée sur les fourrages, va entre autres dépendre de leur potentiel génétique de production (lait, croissance) et du niveau d'exigence alimentaire qui en découle. Dans l'expérimentation INRA du Pin-au-Haras, qui compare les vaches Holstein et Normande dans deux milieux différant par des systèmes d'alimentation opposés Haut et Bas (Delaby et Fiorelli, 2014), les vaches Normandes sont, en termes d'aptitude à revêler suite à une période de reproduction limitée à 90 jours, assez insensibles au niveau d'apports nutritifs (respectivement 70 et 68% de revêlages dans les deux systèmes) tandis que les vaches Holstein sont d'autant moins capables de se reproduire qu'elles sont affectées au niveau Bas d'alimentation (47% vs 57% de revêlage). Cette influence différente du milieu sur la fonction de reproduction des deux races n'est pourtant pas systématique. Ainsi, Fulkerson et al. (2001 et 2008) en Australie, Coleman et al. (2009) en Irlande ou Delaby et al. (2009) en France n'ont pas mis en évidence d'interactions nettes entre différents génotypes et niveaux d'apports nutritifs dans le cas de systèmes conduits en vêlages groupés de printemps. La réponse va en fait dépendre du degré de sous-alimentation qui est associé à la fois au niveau des apports nutritifs permis par la ration et à la réponse de l'animal face à cette sous-alimentation. La mobilisation importante/excessive des réserves corporelles pour pallier l'écart entre les apports nutritifs et la demande de la mamelle associée au potentiel génétique de l'animal (« motivation métabolique ») aura pour conséquence une incapacité à assurer une gestation en temps limité. Chez les animaux de moindre potentiel, l'écart entre apports et besoins n'en sera que réduit et la "motivation métabolique" à combler ce déficit via la mobilisation des réserves corporelles sera plus faible. A titre d'exemple, au Pin-au-Haras, les vaches Normande, pourtant plus grasses au vêlage, perdent en moyenne moins d'état et surtout ont un état corporel au nadir (c'est-à-dire au point le plus bas dans la courbe d'évolution de l'état entre deux lactations) supérieur à celui des vaches Holstein. Une réponse également en faveur de la race mixte est rapportée dans l'expérimentation conduite à Mirecourt avec des vaches laitières de race Montbéliarde versus Holstein. De plus, cette mobilisation des réserves corporelles est d'autant plus importante (en termes de pertes d'état corporel) et dure d'autant plus longtemps que les vaches sont affectées à un niveau d'apports nutritifs faibles. Il semble donc pertinent de s'intéresser en priorité à cette mobilisation des réserves corporelles et d'évaluer l'intérêt d'une sélection d'animaux capables de produire du lait tout en limitant leur perte d'état corporel, comme l'ont déjà souligné Berry et al. (2003) et Banos et Coffey (2010). Cette capacité à ne pas trop mobiliser les réserves corporelles est d'autant plus importante qu'une mobilisation excessive associée au potentiel laitier est responsable de désordres métaboliques parfois graves et préjudiciables à la longévité de l'animal même si les corrélations génétiques parfois mises en évidence restent à confirmer sur des effectifs conséquents (Buttchereit et al., 2012).

Malgré cette "motivation métabolique" associée au potentiel des animaux, la perte de production laitière exprimée en kg de lait ou de matière utile par lactation, conséquence d'un système d'alimentation à bas niveaux d'apports, est plus importante chez les vaches Holstein que Normande ou Montbéliarde (Delaby et Fiorelli, 2014). Face à une alimentation moins riche en concentrés, cette réaction plus marquée chez les vaches Holstein de plus fort potentiel a été observée lors d'autres expérimentations génotype x milieu/environnement (Kennedy et al., 2003 ; Horan et al., 2004 ; Fulkerson et al., 2008). L'interaction phénotypique observée est d'autant plus significative que les différences entre les milieux comparés sont importantes en termes d'apports nutritifs. Ainsi plus l'écart entre les apports et la demande associée au potentiel est élevé, plus l'animal réagit, notamment au travers de la mobilisation de ses réserves corporelles mais, malgré cela, plus il s'éloigne de l'expression de son potentiel. La valorisation d'une ration à base de fourrages pâturés ou conservés est d'autant plus "facile" pour l'animal que son exigence alimentaire dépendante de son potentiel génétique est limitée. La densité énergétique d'une ration (UFL / kg MS ingérée) doit être d'autant plus élevée que l'animal produit plus. Le progrès génétique réalisé sur la production laitière depuis 50 ans s'est certes accompagné d'un accroissement de la capacité d'ingestion de

l'animal mais avec une homothétie incomplète. Cela se traduit par l'augmentation incessante de la consommation d'aliments concentrés en élevages laitiers (Delaby et Peyraud, 2009). Cette évolution du potentiel laitier, caractérisée par des besoins au pic de lactation très/trop élevés, pourrait justifier deux démarches de sélection novatrices. L'une viserait à choisir des types d'animaux de même potentiel mais avec un moindre pic de lactation et une meilleure persistance. L'autre combinerait les aptitudes de diverses races au croisement afin de bénéficier des avantages de l'une et l'autre race, voire de l'effet d'hétérosis (Dezetter et al., 2014).

Malgré cette évolution à deux vitesses entre la capacité à produire et la capacité à consommer des fourrages, les animaux de plus forts potentiels laitiers restent les plus performants en termes de synthèse de lait et de matière quels que soient les systèmes de production (Delaby et al., 2010). Ce que l'on pourrait résumer par l'expression *"Qui peut le plus, peut le plus même avec moins"* (Trou et Delaby, 2010). Ceci explique que les études génétiques concernant les interactions G x E aboutissent le plus souvent à une absence de reclassement important des reproducteurs selon les milieux (Huquet et al., 2012), sauf dans certains travaux (Nauta et al., 2006) moins conclusifs. Pour les espèces de ruminants allaitants, les études des interactions G x E sont essentielles à conduire au vu de la grande diversité des systèmes de production entre régions et entre pays. En ovins, la composition corporelle est par exemple soumise à une interaction G x E (Bishop et al., 1996 ; Maniatis et Pollott, 2002). Par ailleurs, la nécessité de survivre et de produire dans des environnements à fortes contraintes pédo-climatiques a conduit à l'utilisation ou au développement de génotypes ou de races bien adaptés à leur environnement local. La diversité des races ovines offre également l'opportunité d'exploiter des caractéristiques de certaines races locales bien adaptées à leur environnement pour améliorer les capacités adaptatives des animaux.

Une des difficultés pour mesurer ce mécanisme de mobilisation/reconstitution des réserves reste de disposer de données fiables et en grand nombre sur ces variations d'état corporel qui reste à ce jour une mesure qualitative, dépendante de l'opérateur. Les mesures directes des réserves corporelles sont en effet lourdes et coûteuses. La note d'état corporel, souvent associée au poids vif des animaux, a été proposée comme mesure subjective de la quantité de gras stockée par les animaux (Waltner et al., 1994). La note d'état corporel est un caractère faiblement à moyennement héritable (Arango et al., 2002 ; Borg et al., 2005). La composition corporelle en lipides a aussi été estimée en mesurant l'épaisseur de gras dorsal par échographie. Cette épaisseur de gras dorsal mesurée *in vivo* sur des animaux au pâturage est faiblement à moyennement héritable (Maxa et al., 2007). D'autres mesures indirectes basées sur des dosages hormonaux et métaboliques s'avèrent être aussi de bons prédicteurs des variations d'état corporel des animaux (Gonzalez-Garcia et al., 2014).

C.2.1.3. Chez les monogastriques, un phénomène essentiel à considérer : les interactions G x E pour valoriser des matières premières locales, peu concurrentes de l'alimentation humaine.

La sélection pour une meilleure efficacité alimentaire a essentiellement amélioré l'efficacité métabolique globale, principalement en modifiant la nature des dépôts (moins de gras, plus de muscle) et en diminuant la part de l'entretien (croissance ou production plus élevée), mais elle a très peu affecté l'efficacité digestive. En effet, l'utilisation de régimes à base de matières premières de haute qualité énergétique sollicite peu les capacités digestives des animaux. Les travaux pionniers de Mignon-Grasteau et al. (2004) chez le poulet et de Noblet et al. (2013) chez le porc ont ainsi montré l'existence d'une base génétique exploitable pour améliorer l'efficacité digestive de l'énergie et des nutriments de la ration, à condition de sélectionner les animaux nourris avec ces aliments non conventionnels. Dans ces études, le phénotype est donc typiquement soumis à une interaction de type génotype × aliment, et il n'est révélé qu'en condition de challenge alimentaire.

L'existence de telles interactions génotype x aliment est d'autant plus importante à considérer dans un contexte d'agroécologie où sera privilégiée l'utilisation de matières premières locales, qui vont donc par définition varier d'une région à l'autre, dont la qualité nutritionnelle sera plus fluctuante si les conditions sont moins maîtrisées. Or, seules quelques lignées de porcs ou de volailles sont utilisées au niveau mondial, et ne peuvent être sélectionnées sur l'ensemble des matières premières disponibles localement. Il y a là un réel effort de collaboration à développer entre nutritionnistes et généticiens pour définir les éléments clés

des régimes du futur auxquels les animaux devront s'adapter. Par ailleurs, il a été montré que certaines races porcines locales/exotiques pouvaient être plus efficaces que des races conventionnelles (Len et al., 2007 ; Urriola and Stein, 2012) – mais pas toujours (Ly et al., 2011) – pour valoriser un aliment riche en fibres, même si globalement leurs performances de production sont moindres. Les différences observées entre génotypes semblent essentiellement liées aux caractéristiques de la microflore caecale (Freire et al., 2003).
La question du compromis dans l'allocation des ressources entre reproduction et croissance a beaucoup été étudiée chez la truie sur les plans nutritionnels (Dourmad et al., 1994) et physiologiques (Quesnel, 2005), avec par contre peu d'approches génétiques. C'est un aspect important pour la productivité et la longévité des truies et pour leur bien-être qui est en partie lié au maintien de l'état corporel (Cariolet et Dantzer, 1984). Pendant la lactation les truies sont généralement en bilan énergétique/protéique négatif ce qui entraine une mobilisation de leurs réserves corporelles. Cette situation de déficit en lactation a eu tendance à s'aggraver avec la sélection du fait de l'accroissement du nombre de porcelets allaités et de la production laitière des truies (qui a presque doublé en 20 ans) alors que les réserves corporelles des truies diminuaient en raison de la sélection contre l'adiposité. Contrairement à ce que l'on observe chez la vache laitière, ceci n'a pas affecté négativement la fonction de reproduction puisque parallèlement les paramètres "délai de retour en œstrus après sevrage" et "taux de fécondation à la 1ère IA" se sont significativement améliorés (Dourmad et al., 2010). La longévité s'est aussi significativement améliorée si l'on considère le nombre moyen de portées à la réforme (+25%). Cette situation favorable est sûrement liée à la pondération accordée aux différentes aptitudes dans la sélection des lignées maternelles.

C.2.2. Amélioration de l'empreinte environnementale des productions animales

Les animaux présentant l'efficacité alimentaire la plus élevée sont aussi ceux qui rejettent le moins d'effluents par unité de produit. A efficacité alimentaire constante, se pose alors une question importante : peut-on directement réduire la quantité de rejets qu'ils soient solides, liquides ou gazeux ?

En termes d'effluents, l'amélioration de la composition des rejets, par exemple en améliorant l'équilibre du ratio azote/phosphore des rejets des monogastriques (Mignon-Grasteau et al., 2010 ; de Verdal et al., 2013) ou encore en les adaptant en fonction de leur utilisation ultérieure, comme par exemple la production d'énergie par méthanisation (Jarret et al., 2010), est aussi à envisager.

En termes d'émission de gaz à effet de serre, cela concerne essentiellement le méthane et le protoxyde d'azote provenant des effluents issus de toutes les filières, et le méthane entérique chez les ruminants et dans une moindre mesure chez le porc.

En ce qui concerne les filières de ruminants, il faut considérer le dilemme sur le plan agroécologique qui existe entre, d'une part, favoriser la valorisation des régimes essentiellement à base de fourrages et, d'autre part, réduire les émissions de méthane. En effet, les ruminants produisent d'autant plus de méthane qu'ils sont nourris avec plus de fourrages et moins de concentrés. Cependant, il existe une variabilité individuelle des émissions de méthane qui pourraient être donc génétiquement réduites à régime alimentaire donné tant chez les bovins (de Haas et al., 2011 ; Bell et al., 2014) que chez les ovins (Pinares-Patino et al., 2013). Une étude de modélisation des systèmes de production de viande ovine au Royaume-Uni a montré qu'inclure l'ingéré dans l'objectif de sélection en considérant les coûts alimentaires pour la sélection d'une lignée de béliers terminaux devrait contribuer à réduire les émissions de méthane (Cottle et Conington, 2013). Une autre étude de modélisation (Bell et al., 2011), basée sur les données d'une expérimentation de longue durée en race Holstein en Ecosse, a comparé l'impact environnemental (production de CO2-eq) de différents systèmes laitiers (apport de concentré modéré (25%) avec pâturage estival *versus* fort apport de concentré (50%) sans pâturage) selon le niveau génétique (moyen ou élevé) des vaches pour les quantités de matières utiles (gras et protéines) du lait. Le système sans pâturage avec les vaches hautement sélectionnées est celui qui produit le moins de CO^2-eq et utilise le moins de surface par kg de lait produit (à énergie constante), mais est aussi celui qui émet le plus de CO2-eq par hectare. Les effets d'une amélioration des performances (quantité de matières sèches ingérée, quantité d'énergie du lait, intervalle entre vêlages, longévité) des animaux ont été aussi quantifiés. Les vaches hautement sélectionnées sur leur production de matières utiles dans le lait n'ont pas vu leur performance de reproduction ou leur longévité détériorée en

régime à apport de concentré modéré. De ce fait, quel que soit le système de production considéré, le seul caractère susceptible de réduire significativement les émissions de CO2-eq a été de réduire l'ingéré à production constante, ce qui équivaut à diminuer la consommation alimentaire résiduelle.

La détermination des rejets et des émissions est importante à considérer pour une meilleure maîtrise de l'utilisation des effluents. La connaissance de leur composition est ainsi indispensable pour leur bonne valorisation comme fertilisant ou pour la production d'énergie. Cependant, indépendamment de la méthode de mesure de l'excrétion se pose la question de la signification biologique des critères mesurés. En effet, une excrétion élevée peut résulter de processus biologiques (digestion, métabolisme) peu efficaces, d'un apport excessif de nutriments (protéines, phosphore), ou d'un déséquilibre de l'apport alimentaire en acides aminés par rapport aux besoins des animaux. La notion d'excrétion est donc très liée aux conditions d'élevage des animaux.

La mesure directe des effluents est très lourde, et ne peut, à l'heure actuelle, dépasser le cadre expérimental (Phocas et al., 2014a). Une méthode indirecte pour estimer les rejets est de les calculer par différence entre l'ingestion d'une part, et la rétention et la production d'autre part. Les productions (lait, œufs, nouveau-nés) sont généralement faciles à mesurer chez tous les animaux, à l'exception des animaux allaitants pour lesquels la production de lait doit être estimée (Saintilan et al., 2013). Pour les animaux en croissance, la rétention corporelle peut être calculée à partir de modèles prenant en compte le poids des animaux et des indicateurs de composition corporelle. Cependant, cette méthode d'évaluation des rejets par différence se heurte toujours à la difficulté d'une quantification fiable et simple de l'ingéré de chaque élément concerné (azote, phosphore, autres minéraux ou oligo-éléments). L'utilisation de marqueurs biologiques, en particulier de certains composés du lait, a également été proposée pour estimer les rejets ou les émissions. Sous certaines conditions, l'excrétion azotée dans le lait pourrait ainsi permettre d'estimer l'excrétion azotée des vaches laitières. De même, la composition en acides gras du lait qui est influencée par le métabolisme du rumen pourrait permettre de prédire la production de méthane entérique (Dehareng et al., 2012). Toutefois, ces méthodes restent à affiner avant d'être en mesure de développer des critères de sélection.

La mesure des émissions gazeuses des animaux revêt une importance particulière en raison de l'influence des gaz émis sur l'environnement, en particulier le méthane. Les mesures des émissions de CO_2 et de CH_4 et de la consommation d'O_2 font partie des mesures de routine pour les études se rapportant au métabolisme énergétique. Elles sont généralement réalisées en chambres respiratoires qui permettent de déterminer précisément les flux d'air et la composition de l'air entrant et sortant. Il s'agit de méthodes très coûteuses qu'il est difficile d'envisager en routine sur de grands effectifs. Aussi ces dernières années, des méthodes alternatives basées sur l'utilisation de marqueurs ont été développées pour évaluer la production de méthane entérique chez les ruminants (Munoz et al., 2012). Récemment, l'utilisation d'analyseurs de gaz à l'échelle de l'élevage a permis de mettre en évidence des différences d'émissions gazeuses de groupes de volailles à faible ou forte efficacité digestive élevés dans la même salle (Mignon-Grasteau et al., 2013). Ces méthodes nécessitent encore des adaptations avant de pouvoir être utilisées pour le phénotypage individuel de ces émissions à large échelle.

D. Les programmes d'amélioration génétique actuels et leur adéquation aux attentes des systèmes agroécologiques

Cette partie vise à synthétiser l'adéquation des programmes de sélection existants aux attentes des systèmes agroécologiques à travers non seulement des éléments précédemment cités dans les parties B et C du rapport, mais aussi par l'entremise de l'expertise du groupe de travail et l'analyse des réponses aux enquêtes quant à la pertinence des outils et ressources génétiques disponibles à l'heure actuelle.

D.1. En filières de ruminants

Le tableau 6 décrit l'adéquation des programmes de sélection actuels aux principes de l'agroécologie décrits par Dumont et al. (2013). Des éléments explicatifs sont ensuite donnés dans cette section.

Tableau 6. Comment la sélection des ruminants s'inscrit-elle dans les principes de l'agroécologie?

	Finalité pour la filière
Principe 1 *– Gestion intégrée de la santé animale (y compris le bien-être)* - prise en compte surtout au travers des caractères fonctionnels (longévité, reproduction, aplombs, mortinatalité/vigueur du jeune, morphologie et/ou santé de la mamelle (leucocytes dans le lait et sensibilité aux mammites cliniques), anomalies,…) essentiellement en bovins, mais en cours de développement en ovins - en dehors de la résistance aux mammites, difficile à considérer pour le moment en raison de difficultés méthodologiques et de mise en œuvre (accès aux phénotypes, objectifs de sélection…) - peu de prise en compte de l'incidence de la sélection sur le bien-être animal	***
Principe 2 *– Réduction de l'utilisation des intrants* - prise en compte indirecte au travers de la sélection en ferme des animaux, les éleveurs cherchant des animaux « économes » c'est-à-dire produisant bien avec peu d'intrants (en particulier en ovins avec l'alimentation en lot) et via la sélection sur la croissance musculaire pour les bovins et ovins allaitants - peu de prise en compte directe car l'efficacité alimentaire n'est pas (en races laitières) ou peu sélectionnée directement (choix de reproducteurs mâles dans certaines races allaitantes) - pas de prise en compte directe de la capacité de mobilisation des réserves corporelles et de la valorisation des fourrages grossiers	***
Principe 3 *– Réduction de la pollution et amélioration de l'efficacité métabolique des systèmes* - critère non considéré dans les programmes de sélection actuel, et envisagé plutôt comme un corollaire favorable découlant de la mise en œuvre du principe 2. - pas d'évaluation à l'échelle des systèmes (manque de méthodes) dans leur diversité	**
Principe 4 *– Amélioration de la diversité pour améliorer la résilience des systèmes* - l'amélioration progressive au cours du temps de chaque race par une sélection multicaractère est vue comme le moteur essentiel de l'adaptation des ruminants à leurs milieux d'élevage - le changement de race et l'utilisation du croisement (sauf en ovins allaitants) ne sont pas perçus comme des moyens d'améliorer la résilience des systèmes d'élevage et d'en faciliter une gestion plus agroécologique. L'utilisation du croisement est en revanche importante pour accroître la résilience des systèmes d'élevage des ovins allaitants. - la variabilité entre animaux est gérée par les éleveurs pour l'exploiter au mieux, mais n'est généralement pas perçue comme un moyen d'améliorer la résilience des systèmes. En petits ruminants, cette gestion n'est pas individuelle mais effectuée par lot d'animaux.	*
Principe 5 *–Préservation de la diversité biologique* - la variabilité génétique est généralement perçue comme un enjeu important mais à gérer collectivement à l'échelle des populations ; le choix des reproducteurs mâles s'effectue en tenant compte de leur originalité génétique, en particulier en caprins laitiers. - la préservation de la diversité des races locales et des systèmes de production associés est jugée importante ; en particulier la grande diversité des races ovines allaitantes permet une utilisation de races bien adaptées à leur environnement.	***

D.1.1. Les programmes de sélection des bovins

S'il existe quelques réflexions et initiatives marginales en Europe (Suisse, Pays-Bas) pour développer des programmes de sélection de bovins laitiers spécifiques des systèmes en agriculture biologique, les programmes de sélection des bovins ne sont généralement pas spécifiques d'un système donné.

Les évaluations génétiques et génomiques (cf. encadré n°3) se font pour l'essentiel sur les performances évaluées dans les élevages adhérents au contrôle de performances (lait ou viande) sur les aptitudes fonctionnelles (fertilité, facilité de vêlage, longévité, santé de la mamelle, morphologie) et de production (lactation, croissance et morphologie pré ou post sevrage), ou à partir de données d'abattoirs pour la production de viande de jeunes bovins et de veaux de boucherie. En complément, une sélection de la croissance et morphologie post-sevrage ainsi que de la fonction sexuelle est effectuée en stations de contrôle individuel pour les mâles destinés à l'insémination artificielle (laitière ou allaitante) ainsi que pour une modeste partie des taureaux destinés à la monte naturelle en élevages allaitants.

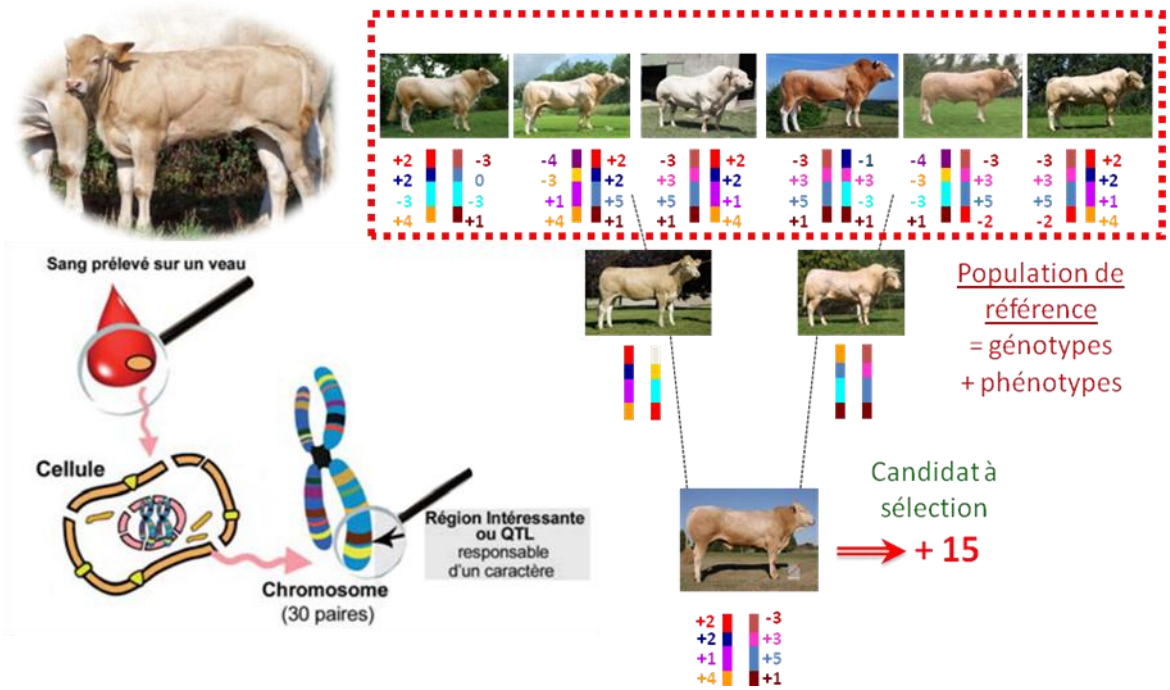
Les évaluations génétiques en ferme fournissent un critère objectif pour choisir intra-troupeau les reproducteurs nécessaires au renouvellement, mais également pour choisir les reproducteurs nés dans d'autres troupeaux. La diversité des milieux rencontrés entre élevages est un gage de sélectionner des reproducteurs mâles adaptés à la majorité des conditions d'élevage rencontrées en France.

En France, en dehors du croisement terminal essentiellement pratiqué par les éleveurs laitiers, très peu d'éleveurs réalisent des croisements entre plusieurs races pour la constitution de leur troupeau de vaches. En effet, le taux de vaches croisées conservées pour la reproduction est faible (<10%), tant pour les races allaitantes que pour les laitières. Pour ces dernières, cette pratique du croisement est en augmentation bien que minoritaire (4,3% des détenteurs de bovins laitiers ont au moins 10% de leur cheptel en croisement (BDNI juin 2015, communication personnelle)). Bougoin et Le Mézec (2010) ont chiffré l'augmentation de la part de femelles croisées à +33% entre 2005 et 2010, et une proportion de 4,6% de femelles laitières qui sont des animaux croisés en janvier 2010. Pour partie les croisements réalisés correspondent à des stratégies de changement de race par absorption. Pour des raisons historiques et d'association d'une race à une région particulière, les éleveurs de bovins choisissent en grande majorité d'élever des animaux de race pure. De plus, l'élevage des femelles en race pure facilite la gestion de la reproduction dans les troupeaux qui restent de taille faible en moyenne (40 à 50 vaches en moyenne). Au contraire, dans tous les autres grands pays d'élevage allaitant (Australie, Brésil, Amérique du Nord), l'utilisation du croisement est fréquente dans les races allaitantes, que ce croisement soit terminal ou pour la création de lignées maternelles (Golden et al., 2009 ; Ferraz et de Felicio, 2009). Les races taurines continentales (Blonde d'Aquitaine, Charolaise, Limousine, Piémontaise,…) sont fréquemment utilisées en croisement terminal sur lignées maternelles de race pure (Angus, Hereford, zébus) ou croisées pour améliorer la croissance et la conformation des produits.

Encadré 3. Intérêt de la sélection génomique pour une génétique mieux adaptée à des systèmes agroécologiques.

Pourquoi s'intéresser à la génomique en sélection ?

Pour prédire la valeur génétique des animaux à partir d'un échantillon biologique, dès la naissance et sans performances connues pour les candidats à la sélection.



- **Quels intérêts de la sélection génomique pour l'agroécologie ?**

- Sélection de caractères qui ne peuvent être mesurés chez les candidats car nécessitant d'attendre leur mise à la reproduction (fertilité, comportement maternel…), voire même leur mort (qualités de la viande, longévité).
- Sélection de caractères difficiles ou trop coûteux à mesurer à très large échelle comme les caractères de santé ou d'efficacité alimentaire, mais des populations de référence de quelques milliers à dizaines de milliers d'animaux génotypés et aux phénotypes connus précisément sont nécessaires à mettre en place et à renouveler dans le temps.
- Disponibilité d'évaluations génétiques précises pour les femelles en élevage (en particulier sur les caractères dits fonctionnels déterminants pour la robustesse et l'adaptation au système d'élevage), ce qui permet aux éleveurs beaucoup plus d'acuité dans le choix des animaux adaptés à leur système.
- Dissociation envisageable de certains antagonismes génétiques entre aptitudes animales permettant d'améliorer la robustesse des animaux.
- Selon les espèces, forte réduction possible de l'intervalle de génération permettant d'accroître l'efficacité de la sélection sur un large spectre de caractères et donc d'améliorer la multi-compétence et robustesse des animaux.
- En termes de gestion de la variabilité génétique, l'information génomique permet d'apprécier réellement l'originalité génétique des animaux au lieu d'en avoir une valeur espérée via les généalogies. Il est alors possible de développer des outils d'accouplement optimisant les accouplements de façon beaucoup plus précise qu'auparavant pour limiter la consanguinité.

D.1.2. Les programmes de sélection des petits ruminants

L'élevage des petits ruminants, plus particulièrement celui des ovins, est parmi les systèmes d'élevage existants les plus agroécologiques : transhumance des ovins dans les Pyrénées Atlantiques ou en Provence-Alpes-Côte d'Azur, élevage et/ou mesure des performances en plein air intégral dans certaines races telles que la Romane ou la Solognote.

Les évaluations génétiques se font sur performances propres soit des mâles mesurés dans des stations de contrôle individuel pour évaluer leurs aptitudes bouchères, soit des femelles mesurées en ferme pour évaluer leurs aptitudes maternelles ou laitières. Ces dernières sont évaluées dans des élevages en grand nombre et très diversifiés en termes de systèmes d'élevage. Les évaluations génétiques sont réalisées par race (ou pour un groupe de races ayant des conditions d'élevage proches) et permettent de choisir les meilleurs reproducteurs de la race quel que soit le système d'élevage. Par exemple, chez les caprins, un bouc améliorateur de race Saanen a des filles mesurées aussi bien dans des systèmes en bâtiment avec une alimentation basée sur une forte proportion de concentrés que dans des systèmes très extensifs sur parcours dans le Sud Est de la France. Les systèmes d'élevage peuvent également être très variés entre races comme par exemple en ovins allaitants : en bergerie chez les Ile de France ou en plein air intégral chez les Solognotes. Ainsi, l'amélioration génétique des petits ruminants, du fait qu'elle repose sur une grande diversité de races et une importante variété de systèmes d'élevage intra race, contribue à produire des animaux adaptés à des milieux d'élevage très contrastés.

Par ailleurs, si la sélection génomique ne commence qu'en 2015 dans les programmes de sélection des petits ruminants et pour la seule race Lacaune lait dans un premier temps, en revanche la sélection de gènes à effets majeurs est une pratique répandue depuis près de vingt ans pour améliorer génétiquement les populations de petits ruminants. Une telle sélection est particulièrement intéressante pour les caractères difficiles et coûteux à mesurer ou ne s'exprimant que dans un seul sexe ou tardivement dans la vie des animaux. Les maladies à prions des ovins ont ainsi été quasiment éradiquées en sélectionnant des béliers portant l'allèle ARR et en contre-sélectionnant l'allèle VRQ au gène PrnP impliqué dans la résistance à la tremblante ovine (Sidani et al., 2010). De même, en caprins, la sélection sur le gène de la caséine αs1 a permis d'améliorer la qualité protéique du lait, élément crucial dans une filière fromagère.

Si la sélection s'effectue toujours en race pure, l'utilisation des reproducteurs se fait soit en race pure (cas des ovins et caprins laitiers et de certaines populations ovines allaitantes), soit en croisement. Le croisement (à 2 ou 3 voies) est largement pratiqué dans les races ovines allaitantes en France, comme à travers le monde, pour exploiter le potentiel des races prolifiques comme lignées maternelles et des races avec une bonne croissance et valeur de la carcasse comme lignées paternelles (Bittante et al., 1996). Cette pratique permet d'accroître la productivité numérique en agneaux sevrés du troupeau qui est le facteur économique clé pour la production de viande ovine. Pour cette même raison des gènes majeurs jouant sur la prolificité (Vinet et al., 2011) sont introgressés ou sélectionnés dans certaines races ovines allaitantes.

D.1.3. Le point de vue des éleveurs de ruminants

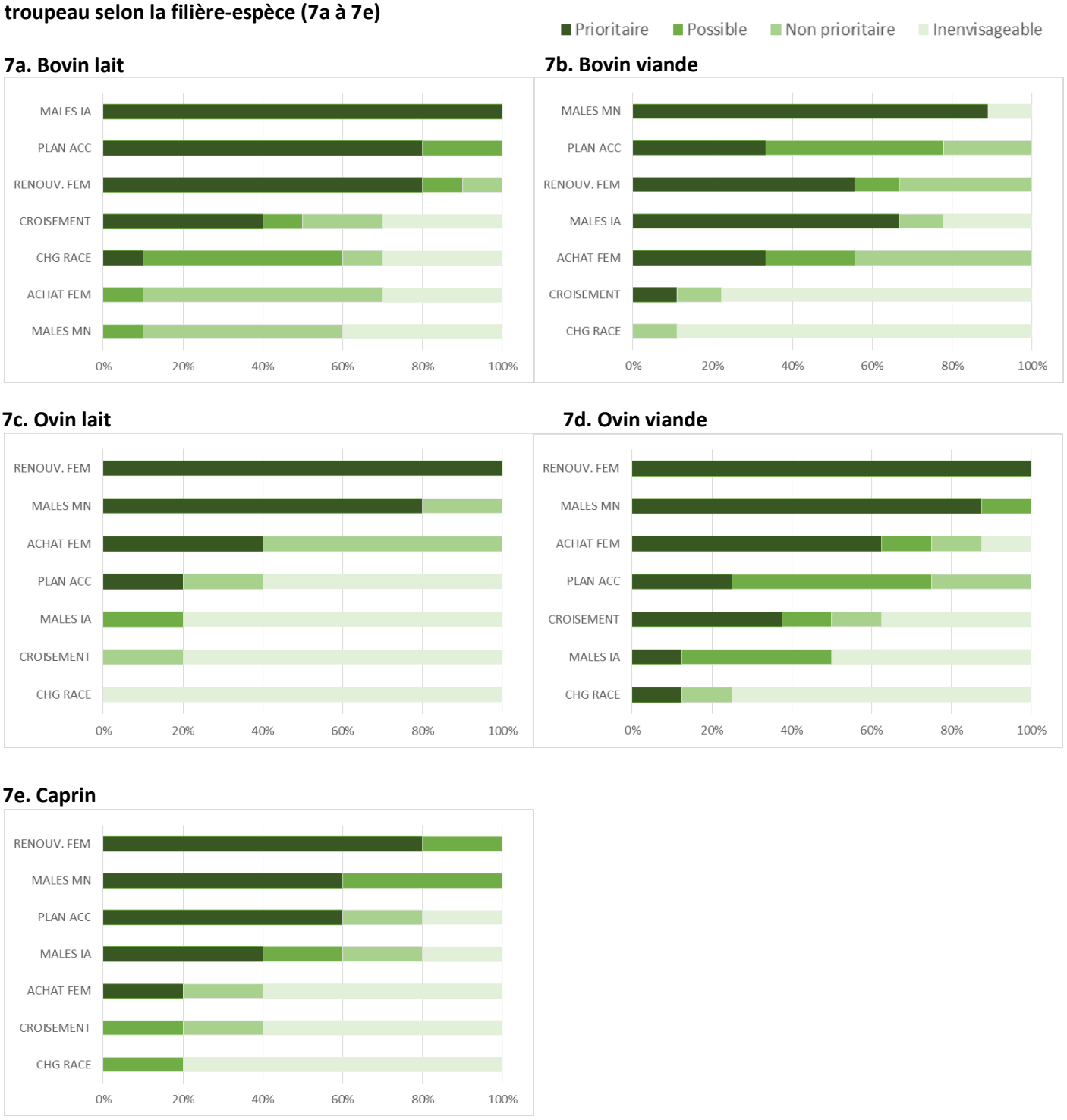
- **Les réponses à la question « Quelles pratiques de sélection pour un élevage agroécologique ? »**

Les éleveurs interrogés sur leurs pratiques ont caractérisé sept pratiques en les notant de « prioritaire » à « inenvisageable » dans leur troupeau (figure 7).

Quelles que soient les espèces et filières, la sélection des femelles de renouvellement est le moyen privilégié pour poursuivre les objectifs de sélection de l'éleveur. Généralement l'achat de femelles est, au contraire, peu souhaité voire exclu pour des raisons sanitaires. Vient ensuite l'utilisation de mâles de monte naturelle ou d'IA selon les espèces et filières, de façon assez classique par rapport aux pratiques majoritaires dans ces populations. En ovin lait, les éleveurs souhaiteraient disposer de l'IA mais son utilisation est aujourd'hui limitée par la quasi-nécessité de recourir à la synchronisation des chaleurs des femelles par des méthodes

artificielles. L'utilisation de femelles de reproduction issues de croisement est une voie assez peu mobilisée, uniquement citée par des éleveurs de bovins laitiers ou ovins viande (pratique assez répandue dans cette filière). Le changement de race comme voie pour mieux s'adapter au système n'est pas non plus une pratique envisagée par les éleveurs. L'échantillon d'éleveurs bovin lait est plus partagé sur ces deux dernières stratégies. La vision des éleveurs sur ces deux pratiques est précisée par la suite.

Figure 7. Fréquence des réponses sur les stratégies de choix des reproducteurs pour faire évoluer le troupeau selon la filière-espèce (7a à 7e)



Légende :

RENOUV. FEM : auto-renouvellement du cheptel femelle ; MALES MN : utilisation de mâles en monte/lutte naturelle ; PLAN ACC. : réalisation d'un plan d'accouplement (considérant le potentiel génétique des animaux) ; MALES IA : utilisation de mâles par voie d'insémination animale ; ACHAT FEM : achat de femelles pour assurer le renouvellement (ou croissance) du troupeau ; CROISEMENT : pratique du croisement pour constituer le troupeau femelle ; CHG RACE : changement de race du troupeau.

- ***Les éleveurs ont-ils ou songent-ils au croisement ou au changement de race pour s'adapter au mieux à l'orientation agroécologique de leur système ?***

Le changement de race est majoritairement exclu (figure 8), mais il faut le lire comme une satisfaction par rapport à la ou les races élevées. Le cheptel actuel est parfois issu d'un changement de race. En ovin allaitant en particulier, le choix des races selon le système fait partie intégrante des stratégies génétiques et de l'offre génétique actuelle. Finalement, on note généralement un attachement des éleveurs à la ou les races qu'ils ont choisies, et il ne ressort pas une tendance spécifique pour un type de race plutôt qu'un autre.

Le croisement à des fins d'amélioration du troupeau (donc sans considérer le croisement terminal) est une stratégie globalement peu mise en avant. On constate par ailleurs que les éleveurs qui se disent intéressés par le croisement (8), sont également majoritairement indécis ou intéressés par le changement de race (6). Les éleveurs de bovins laitiers se sont exprimés de façon plus balancée ou contrastée sur ces deux stratégies (cf. figure 9) : 50% des éleveurs interrogés pratiquent le croisement à 2 ou 3 voies, alors qu'à l'échelle de la France, moins de 5% des femelles laitières sont croisées (Bougoin et Le Mézec, 2010). Cependant, les modalités d'échantillonnage (surreprésentation des éleveurs pratiquant le croisement) et les très faibles effectifs (N=10) ne permettent pas de conclure à une spécificité des éleveurs de bovins laitiers sur ce point.

Figure 8 : Avez-vous déjà songé au changement de race ou au croisement ?

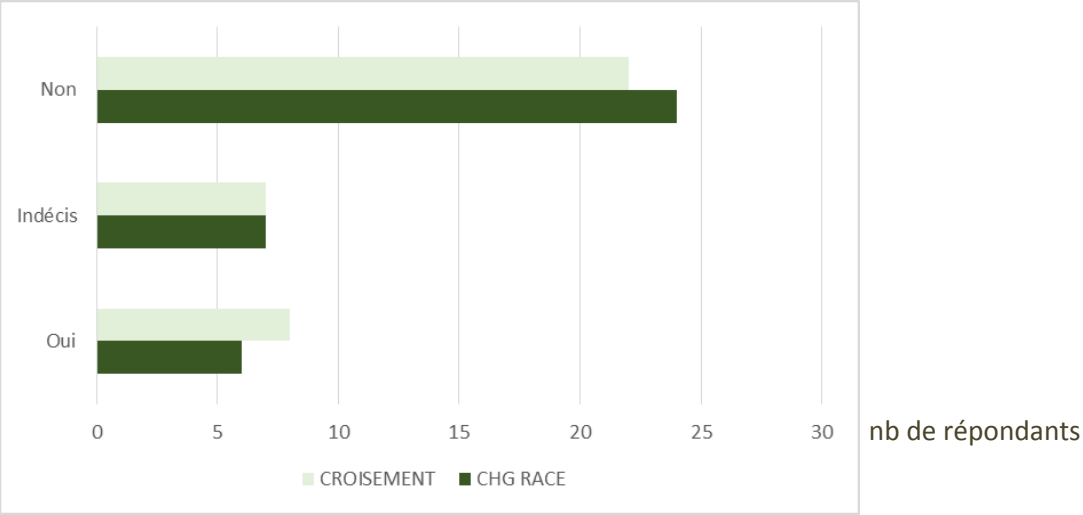
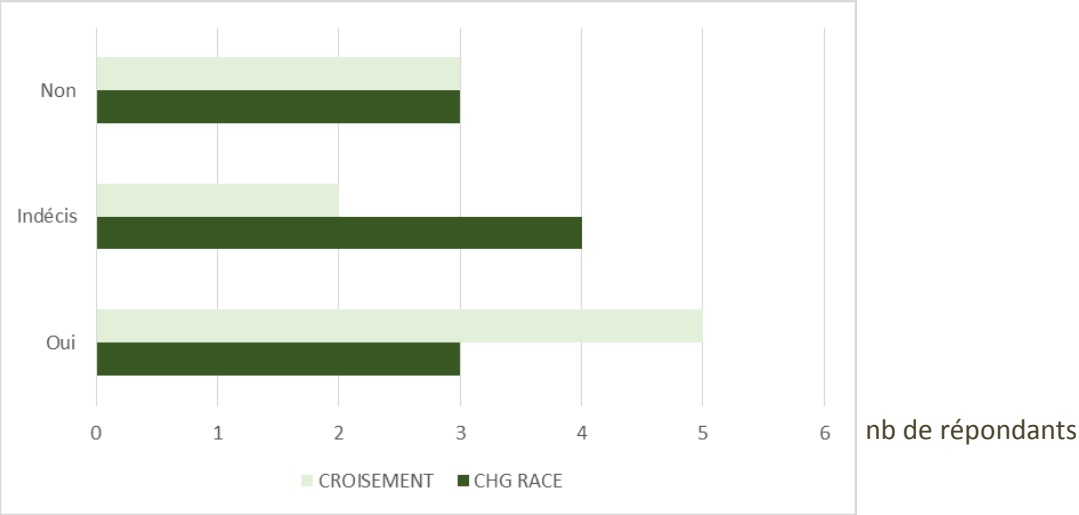


Figure 9. : Les éleveurs bovins laitiers, ont-ils déjà songé au changement de race ou au croisement ?



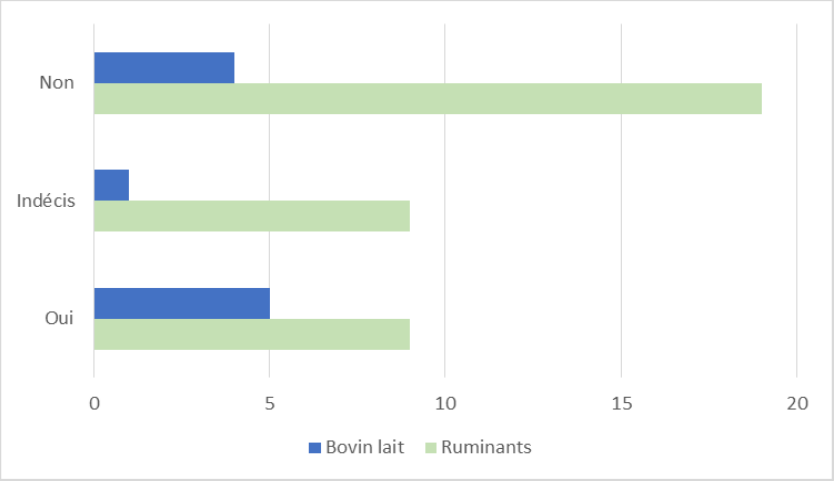
- ***Intérêt des éleveurs pour gérer une diversité d'animaux, une hétérogénéité intra-troupeau***

Majoritairement, la stratégie d'une variabilité (pas uniquement génétique) intra-troupeau ne séduit pas, tel que le révèle la figure 10 présentant les avis des éleveurs vis-à-vis de la stratégie visant à favoriser l'hétérogénéité intra-troupeau.

Ce n'est pas une pratique connue et une part importante des répondants sont restés indécis. La majorité des éleveurs associent la variabilité intra-troupeau à une complexité de la conduite d'élevage, entraînant une surcharge de travail et une pénibilité du métier plus importante. Pour certains, l'esthétique d'un troupeau homogène compte également.

Les éleveurs de bovins laitiers interrogés sont plus sensibles à cette stratégie, deux d'entre eux l'affichaient comme une stratégie importante pour leur élevage. Nous ne pouvons pas pour autant en traduire une spécificité de la filière bovin lait sur cette pratique, mais plus vraisemblablement un lien avec la pratique du croisement qui présuppose d'accepter l'hétérogénéité générée.

Figure 10 : Seriez-vous favorable à une stratégie basée sur la recherche d'une variabilité intra-troupeau pour gagner en flexibilité face aux aléas ?



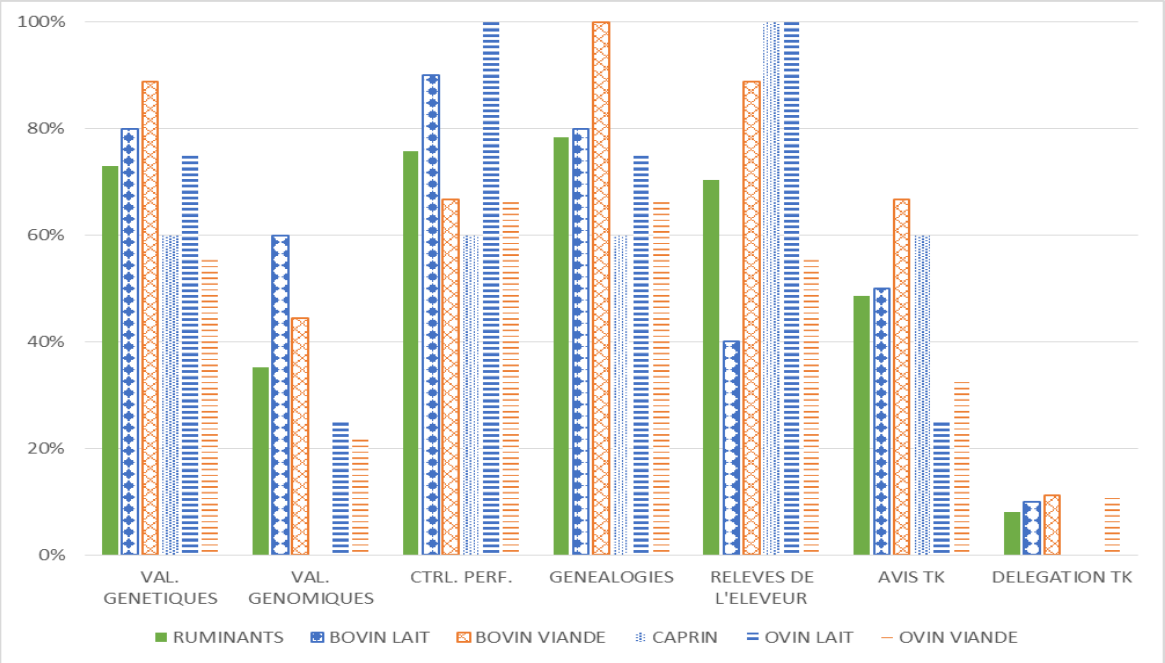
- ***Critères de tri et informations mobilisées pour la sélection du troupeau : des utilisateurs confirmés !***

Les éleveurs interrogés sur les critères et informations qu'ils utilisent (ou utiliseraient si elles étaient disponibles) pour trier les animaux dans leur élevage (figure 11), citent massivement les généalogies (près de 80% des enquêtés), les mesures issues du contrôle de performance (env. 75% des enquêtés) et les valeurs génétiques (près de 70% des enquêtés). Juste après arrivent l'utilisation d'observations personnelles, propres à l'éleveur (certains ont mis en place des dispositifs sophistiqués de caractérisation et tri des animaux). L'avis des techniciens environnant l'élevage est utilisé en moyenne par 1 éleveur sur 2 seulement, et quasiment aucun éleveur ne délègue à un technicien les choix génétiques.

Très clairement les éleveurs enquêtés ont un investissement technique poussé, ce qui est plutôt conforme avec leur niveau de réflexion et d'optimisation de leurs systèmes. **La sélection des animaux au sein de leur élevage fait partie intégrante de leur stratégie, et toutes les informations disponibles sont valorisées**.

Autre enseignement, près de 40% des éleveurs utilisent ou utiliseraient les valeurs génomiques. Si on considère que ces informations sont absentes dans la plupart des filières, et très récentes (2008-2010) en bovin lait, ce taux de réponses favorables est élevé.

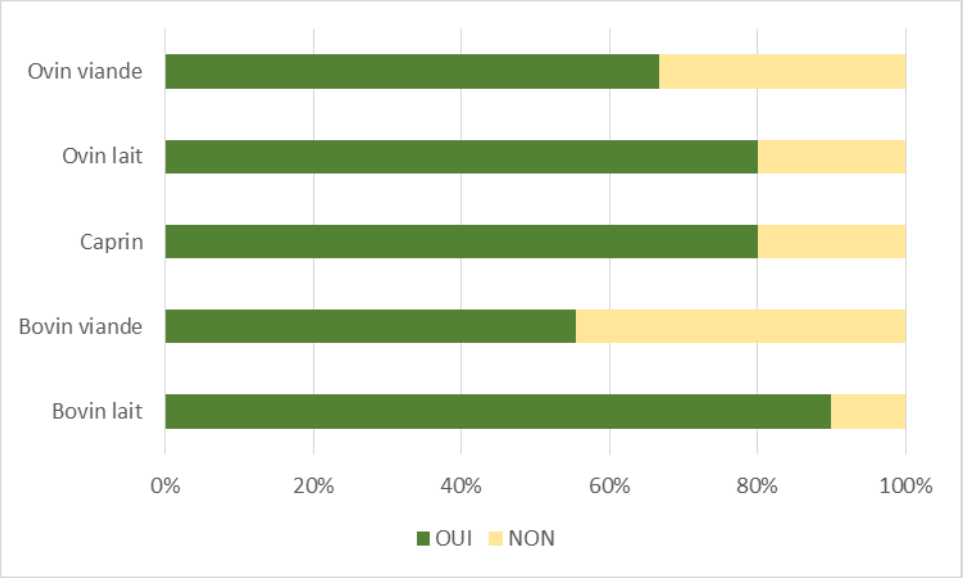
Figure 11 : Fréquence d'utilisation des différentes sources et critères de tri parmi les enquêtés ?



- ***L'offre génétique actuelle et l'intérêt du levier génétique vis-à-vis de l'agroécologie ?***

Globalement, toutes filières confondues, 3/4 des enquêtés considèrent que l'offre génétique actuelle permet une stratégie intra-élevage de type agroécologique (figure 12), même si des améliorations (critères, types d'évaluations génétiques, etc.) sont souhaitées.

Figure 12 : L'offre génétique actuelle permet-elle une orientation agroécologique ?

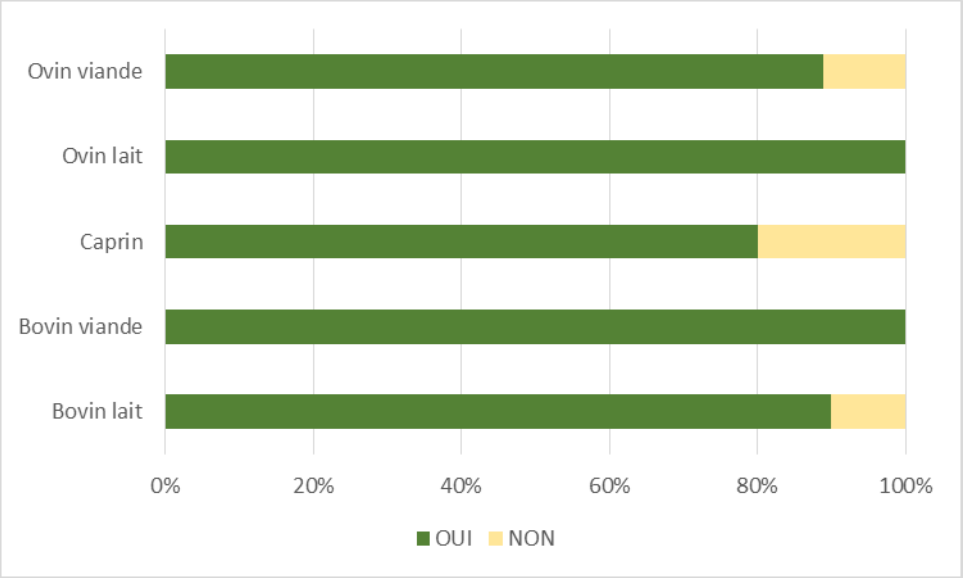


Les éleveurs considérant au contraire que l'offre génétique actuelle ne permet pas une orientation agroécologique (1/4 en général, 45% en bovin viande) avancent les raisons suivantes :

- Inadaptation des priorités de sélection actuelles (telles qu'ils les perçoivent : performance brute, beauté…) ou des systèmes d'alimentation en dispositifs de sélection (trop favorables en filières viandes) ;
- Appropriation insuffisante par l'éleveur des outils existants (compréhension et connaissance des index) ;

- Remise en cause de l'accompagnement technique, soit parce qu'il est jugé peu à l'écoute des spécificités des systèmes agroécologiques, soit parce qu'il semble négliger le levier génétique (un éleveur cite la commercialisation de mâles reproducteurs issus de centres d'engraissement).

Figure 13 : Le levier génétique est-il un bon levier pour répondre aux enjeux de l'agroécologie ?



Les éleveurs enquêtés sont très majoritairement (92%) convaincus que le levier génétique est à considérer dans une stratégie d'élevage agroécologique (figure 13), ce qui rejoint complètement les constats sur leur investissement technique dans le choix des animaux de leur troupeau.

Finalement il ressort des entretiens un élément que nous n'avions pas anticipé en termes de questionnement : l'appropriation des outils existants et d'accompagnement/formation (en groupe notamment) des éleveurs pour bâtir des stratégies de sélection en élevage adaptées, et pour mieux valoriser la diversité génétique disponible. Alors que l'on est face à des éleveurs investis et utilisateurs des outils « génétiques », il ressort une attente pour mieux comprendre et mieux utiliser les informations disponibles (définition et liste des évaluations génétiques ; construction des objectifs de sélection), et donc mieux choisir les reproducteurs.

« *Rendre plus accessible la lecture des informations génétiques (pour mieux comprendre)* », « *Il faut convaincre de l'intérêt de la génétique… cela peut passer par des formations* », « *Il faut changer la vision restreinte que l'on a de la génétique, en particulier celle des jeunes qui reprendront les exploitations* », « *Il est nécessaire que les techniciens soient bien formés, qu'ils aient des cours dans les établissements d'éducation et formation* »…

D.2. En filières de monogastriques

La sélection dans des milieux protégés tend à augmenter la sensibilité à l'environnement (Van der Waaij, 2004). Dans les filières de monogastriques, il existe quelques programmes de sélection mis en place par les entreprises multinationales intégrant des performances en provenance « d'élevages associés » répartis dans plusieurs endroits du globe pour évaluer l'adaptation des animaux à des conditions locales variées. Cette stratégie semble en particulier efficace pour la résistance à la chaleur tant en filières porcine qu'avicole. On peut citer par exemple le programme « Less Feed, More Meat » du sélectionneur de poulets de chair Hubbard qui mentionne clairement cette stratégie d'élevage dans des conditions terrain pour évaluer au

mieux la robustesse des animaux en température élevée et conditions alimentaires difficiles (Hubbard Newsletter n°10, Eté-Automne 2014). De même, cette stratégie dans les programmes de sélection des poules pondeuses comme le mentionne par exemple l'article « les élevages R&D de l'ISA » du site web de l'ISA (http://www.isapoultry.com/fr-fr/support/downloads/)

D.2.1. Les programmes de sélection des porcs.

La sélection porcine française est aujourd'hui conduite pour partie par un petit nombre de structures de taille modeste et qui sont en concurrence avec quelques firmes multinationales de taille beaucoup plus importante. Ces structures nationales, issues du monde coopératif, ont encore comme vocation principale de répondre à la demande des groupements de producteurs au niveau national (plus particulièrement dans le grand ouest où se concentre la majorité de l'élevage porcin), avec toutefois ces dernières années un développement significatif de leur activité à l'international. L'une des conséquences de la standardisation de la production est que la sélection n'est réalisée de manière efficace que dans un nombre limité de races, en France pour les lignées paternelles (principalement le Piétrain et des variétés de Piétrain et dans une moindre mesure le Large-White mâle et le Duroc) et à environ trois pour les lignées maternelles (Large White et Landrace, majoritaires, et des variétés "synthétiques" issues de croisements avec des races chinoises). Les systèmes de production alternatifs sous label ou en agriculture biologique utilisent généralement les mêmes races et les mêmes types de croisements que la production conventionnelle. On note toutefois une utilisation plus fréquente de la race Duroc dans les filières label rouge qui pour certaines imposent l'absence de gènes RN^- et Hal.

Une large étude a récemment été menée dans plusieurs pays européens sur la durabilité des systèmes de production porcine, incluant des élevages traditionnels, biologiques et conventionnels (Bonneau et al., 2014a et b). Il ressort de ces travaux que les programmes de sélection ne sont pas vraiment guidés par les principes agroécologiques tels que présentés par Dumont et al. (2014) même si certaines orientations vont dans le même sens : la limitation des intrants est quantitative et n'intègre pas spécifiquement l'utilisation de ressources locales, variables, potentiellement moins adaptées au potentiel génétique des animaux ; la préservation de la biodiversité n'est pas mentionnée mise-à-part la gestion de la consanguinité dans les populations sélectionnées, en particulier dans le cas des races locales ; la réduction des rejets est vue comme une simple conséquence positive de l'amélioration de l'efficacité alimentaire ; la diversification/cohabitation des modes de production n'est pas envisagée à grande échelle (Rydmer et al., 2014).

On peut mentionner deux études visant à évaluer la stratégie de sélection souhaitable pour des systèmes de production porcine agroécologiques. En élevage biologique, Leenhouwers et al. (2011) ont montré qu'il était plus avantageux économiquement d'utiliser le croisement (et non une race pure), comme dans les systèmes conventionnels. Il est envisageable de mettre en place un schéma de sélection spécifique, mais (en zone tempérée) les objectifs de sélection sont globalement similaires à ceux de l'élevage conventionnel et il faut pouvoir mettre en place une taille de population suffisante pour obtenir une sélection efficace. Rydhmer et al. (2014) ont évalué, du point de vue des organismes de sélection, sur la base de critères de durabilité les programmes de sélection (ou de gestion des populations) porcins dans plusieurs systèmes d'élevage allant du traditionnel au conventionnel, en passant par les systèmes d'élevage biologique. Il ressort de cette étude que les systèmes d'élevage biologiques n'ont pas des populations sélectionnées totalement adaptées à leur système ; qu'il est possible d'avoir un système adapté, incluant la gestion d'une race locale ou de conduire un programme de sélection en adéquation avec ce système ; les systèmes traditionnels s'avèrent limités en termes de gestion et d'amélioration génétique de leurs populations qui restent souvent très menacées. Ainsi en France, quelques filières locales, largement minoritaires en termes de production nationale bien que significatives sur certains territoires, s'appuient sur l'élevage d'animaux de races locales en lien avec des systèmes de production spécifiques généralement associés à des produits typiques à forte valeur ajoutée. Avec six races locales préservée la France est le principal "réservoir" de diversité génétique porcine au niveau Européen (Laval et al., 2000). Ces races se caractérisent généralement par une faible prolificité, une

forte adiposité et une faible croissance, mais une qualité de viande très supérieure. Contrairement à la production conventionnelle ces élevages sont conduits en race pure afin d'assurer à la fois la production et la préservation de la race. Sur le plan génétique l'objectif principal dans ces lignées est surtout de contrôler la consanguinité. Il n'existe alors pas de programme de sélection au sens strict, les reproducteurs devant surtout correspondre aux standards de la race.

Le tableau 7 ci-dessous décrit l'adéquation des programmes de sélection porcine actuels aux principes de l'agroécologie décrits par Dumont et al. (2013).

Tableau 7. Comment la sélection porcine française s'inscrit-elle dans les principes de l'agroécologie?

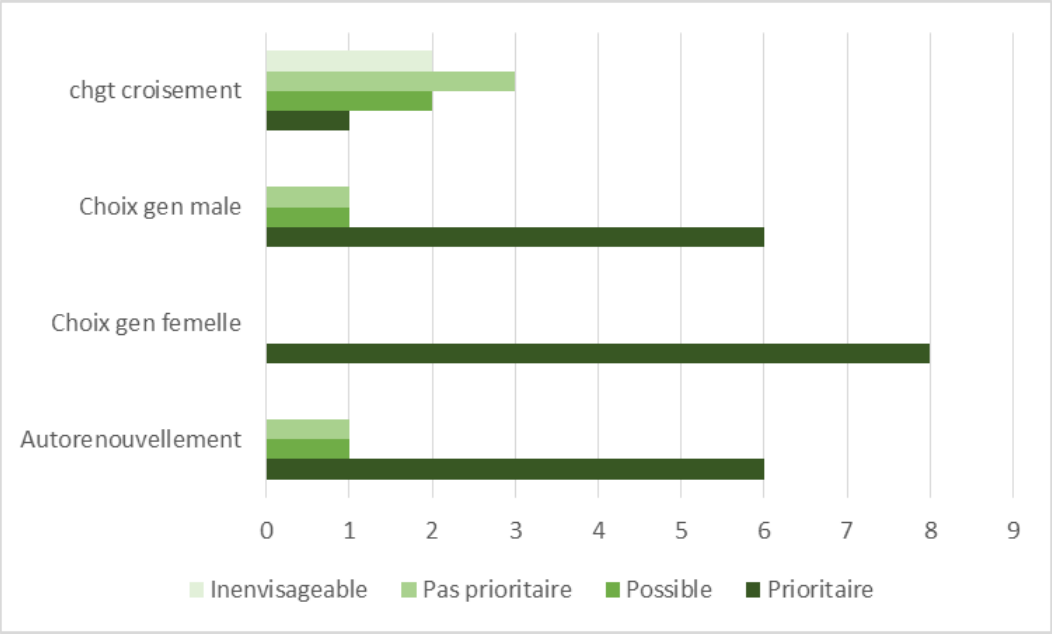
	Finalité pour la filière
***Principe 1** – Gestion intégrée de la santé animale (y compris le bien-être)* - prise en compte surtout au travers des caractères fonctionnels (aplombs, anomalies …) - difficile à considérer pour le moment en raison de difficultés méthodologiques et de mise en œuvre (choix des phénotypes, objectifs de sélection…) - peu de prise en compte de l'incidence de la sélection sur le bien-être animal	***
***Principe 2** – Réduction de l'utilisation des intrants* - critère largement pris en compte au travers de l'efficacité alimentaire - sélection basée uniquement sur des aliments hautement digestibles et équilibrés - pas de prise en compte de la réponse à des aliments moins digestibles voire carencés en certains nutriments	***
***Principe 3** – Réduction de la pollution et amélioration de l'efficacité métabolique des systèmes* - critère pris en compte au travers de l'efficacité alimentaire de l'animal - pas d'évaluation à l'échelle des systèmes (manque de méthodes) dans leur diversité	***
***Principe 4** – Amélioration de la diversité pour améliorer la résilience des systèmes* - utilisation de plusieurs races en croisement pour adapter les animaux en fonction du stade (reproduction, engraissement) et favoriser les effets d'hétérosis - choix des schémas de croisement en fonction des objectifs de production - la variabilité entre animaux est par contre peu valorisée et plutôt perçue comme un problème	*
***Principe 5** –Préservation de la diversité biologique* - considération pas ou peu prise en compte dans les systèmes conventionnels - préservation de la diversité des races locales et des systèmes de production associées	*

D.2.2. Le point de vue des éleveurs de porcs

- ***Les réponses des éleveurs de porcs à la question « Quelles pratiques de sélection pour un élevage agroécologique ?***

Il est clair que le choix de la génétique femelle est le levier considéré prioritaire par les éleveurs comme moyen de faire évoluer le troupeau selon les aptitudes recherchées (Figure 14). Les aptitudes le plus souvent citées pour guider ce choix sont les aptitudes de production en lien avec la performance économique et les aptitudes de rusticité ou de faible sensibilité sanitaire. C'est également sur cette dernière aptitude que le choix de l'auto-renouvellement est largement cité comme levier prioritaire (et souvent une nécessité pour les élevages bio du fait de l'absence d'un marché du reproducteur bio).

Figure 14. Les réponses des éleveurs porcins sur les moyens génétiques mis en œuvre pour faire évoluer leur troupeau dans une démarche agroécologique



Légende :
chgt croisement : choix ou changement de type de croisement
choix gen : choix génétique des reproducteurs (mâle ou femelle)

Le choix de la génétique mâle est souvent corrélé au marché sur lequel l'éleveur s'est engagé pour vendre sa production.

La diversité génétique n'est pas recherchée (et peut même être considérée comme un handicap pour une conduite efficace des bandes) mais elle sert généralement comme variable d'ajustement pour la conduite d'élevage et notamment la gestion de l'allotement. Celle-ci est également gérée par les différences qu'il existe entre les lignées utilisées pour le croisement en production.

- ***Critères de tri et informations mobilisées pour la sélection du troupeau***

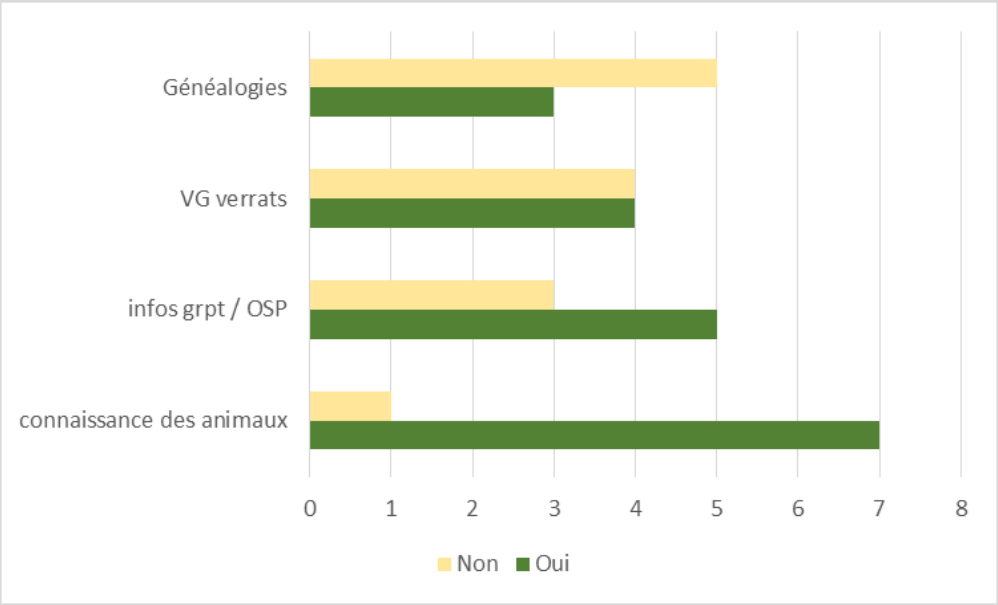
L'information génétique la plus utilisée pour le choix des reproducteurs est la connaissance de l'animal par l'éleveur qui comprend des données quantitatives de production, mais aussi des informations sur le caractère et le comportement de l'animal et sur les qualités maternelles (qualité laitière et qualité des porcelets).

L'information génétique fournie par le groupement de producteurs et/ou l'entreprise de sélection n'est pas considérée comme prioritaire mais cependant importante à avoir.

D'autre part, les informations sur la valeur génétique des verrats de CIA sont moyennement utilisées (1 sur 2) sans doute parce qu'il est reconnu que la sélection s'est faite largement en amont lors du choix des verrats placés en CIA.

Quant à la généalogie, elle est souvent inaccessible et les éleveurs ne la considèrent pas importante eu égard au risque de la consanguinité. Le travail en croisement et la rotation rapide du parc de verrats suffisent selon les éleveurs pour s'exonérer de ce risque.

Figure 15. Quelle information génétique est utilisée par les éleveurs pour le choix des reproducteurs ?



Légende :
VG : valeur génétique
Infos grpt / OSP : informations issues du groupement ou OSP.

- ***L'offre génétique actuelle et l'intérêt du levier génétique vis-à-vis de l'agroécologie ?***

L'offre génétique est adaptée aux principes de l'agroécologie et permet de s'y adapter. Seuls les éleveurs engagés dans la production biologique déplorent le manque d'intérêt des firmes génétiques pour le développement d'une génétique plus adaptée à leur système d'élevage même s'ils reconnaissent que le marché est insuffisant pour supporter les coûts du développement de lignées spécifiques. Ils reconnaissent que le porc adapté à l'élevage conventionnel est suffisamment plastique pour répondre aux attentes de l'élevage biologique. Un bémol porte sur l'intérêt d'avoir des porcelets suffisamment lourds à la naissance pour une bonne adaptation aux contraintes alimentaires de la production biologique avant de privilégier la prolificité.

Enfin, 90% des éleveurs enquêtés considèrent que la génétique est un bon levier pour faire évoluer leur élevage vers l'agroécologie.

D.2.3. Les programmes de sélection des volailles.

Le tableau 8 ci-dessous décrit l'adéquation des programmes de sélection avicole actuels aux principes de l'agroécologie décrits par Dumont et al. (2013).

Tableau 8. Comment la sélection avicole s'inscrit-elle dans les principes de l'agroécologie?

	Finalité pour la filière
Principe 1 *– Gestion intégrée de la santé animale (y compris le bien-être)* - prise en compte surtout au travers des caractères fonctionnels (aplombs, anomalies …) - difficile à considérer pour le moment en raison de difficultés méthodologiques et de mise en œuvre (choix des phénotypes, objectifs de sélection…) - peu de prise en compte de l'incidence de la sélection sur le bien-être animal	***
Principe 2 *– Réduction de l'utilisation des intrants* - critère largement pris en compte au travers de l'efficacité alimentaire - sélection basée principalement sur des aliments hautement digestibles et équilibrés, avec des variations de régimes selon les continents - prise en compte croissante de la réponse à des aliments moins digestibles, d'origine locale ou non concurrentiels vis-à-vis de l'alimentation humaine	***
Principe 3 *– Réduction de la pollution et amélioration de l'efficacité métabolique des systèmes* - critère pris en compte au travers de l'efficacité alimentaire de l'animal - pas d'évaluation à l'échelle des systèmes (manque de méthodes) dans leur diversité	***
Principe 4 *– Amélioration de la diversité pour améliorer la résilience des systèmes* - utilisation quasi-systématique du croisement pour adapter les animaux en fonction de l'objectif de production (production d'œufs, de viande, de filet) et de l'environnement (claustration, parcours, …), favoriser les effets d'hétérosis et limiter les effets des corrélations génétiques défavorables - choix des schémas de croisement en fonction des objectifs de production - la variabilité entre animaux n'est pas valorisée et perçue comme un problème, l'hétérogénéité des lots est pénalisée	*
Principe 5 *–Préservation de la diversité biologique* - incluse majoritairement au travers d'une gestion rigoureuse de la consanguinité dans les populations en sélection et le maintien chez les sélectionneurs de lignées pures non utilisées actuellement en production - en moindre mesure, préservation de la diversité des races locales et des systèmes de production associés pour des marchés de niche, mais risque de consanguinité dû à la très faible taille de ces populations	**

D.2.4. Point de vue des acteurs des filières avicoles

L'ensemble des enquêtes ont permis de préciser, avant tout, que la sélection de critères génétiques favorisant l'agroécologie ne peut se faire sans prendre en compte l'un de ses critères, qu'est l'efficience et la production. Le milieu avicole reste très compétitif et un élevage doit permettre une rémunération correcte

pour l'éleveur. Une pression génétique sur un critère peut en dégrader un autre. La sélection génétique doit ainsi prendre en compte tous les critères, qu'ils concernent la production ou la robustesse des animaux.

- **Point de vue d'éleveurs en démarche agroécologique**

Dans les modes d'élevage avec accès à un parcours (AB, Label Rouge ou autre cahier des charges), la sélection des souches (croissance lente, rusticité, adaptation pour une sortie sur parcours extérieur) est d'ores et déjà effectuée depuis de nombreuses années (premier label en 1965).

Les éleveurs enquêtés considèrent que la génétique est un des leviers de l'agroécologie mais n'est pas le seul et ce pour deux raisons principales :

- Les éleveurs, à leur niveau, ne peuvent pas choisir le type génétique. En revanche, ils peuvent jouer sur l'itinéraire technique des volailles (rations à partir de ressources locales, aménagement des bâtiments d'élevage et des parcours).
- Le raisonnement agroécologique au sein d'un élevage de volailles ne s'effectue pas sur l'atelier volaille seul, mais à l'échelle de l'exploitation, notamment en fonctionnant en échanges avec d'autres ateliers : avoir suffisamment d'effluents pour fertiliser les cultures et utiliser ces cultures pour la litière et pour l'alimentation animale (à travers une usine de fabrication d'aliment).

- **Point de vue des groupements de producteurs en démarche agroécologique**

Comme cité précédemment, les modes d'élevages avec accès à un parcours et la sélection nécessaire qui en découle s'ancrent dans les démarches agroécologiques.

Le groupement de volailles de chair enquêté ainsi que les sélectionneurs mettent en avant que les filières standard s'inscrivent aussi au sein des notions de l'agroécologie. Le critère environnemental est pris en compte indirectement par le critère efficience et production. En améliorant l'indice de consommation, cela entraîne une diminution des rejets et une réduction des intrants alimentaires. L'amélioration de l'impact environnemental passe également par la gestion des effluents comme le soulignent les groupements de producteurs enquêtés : bon nombre de leurs éleveurs se situent dans des zones vulnérables et sont soumis à un plan d'épandage strict.

De plus, le prix des matières premières étant de plus en plus élevé, les fabricants d'aliments sont contraints de se tourner vers d'autres matières premières que celles habituellement utilisées (substitution en partie du soja importé par du colza et du tournesol). Il en ressort qu'une sélection doit être effectuée au niveau des animaux pour que ces derniers puissent digérer et valoriser ces nouvelles matières premières.

- **Point de vue des accouveurs – producteurs de poussins**

Les critères recherchés par le maillon accouvage s'inscrivent dans les principes de l'agroécologie. L'objectif de ce maillon étant d'assurer une production de poussins à couver de qualité et rentable, la génétique vise à augmenter la qualité et quantité des œufs à couver par parquet ce qui induit une réduction de la quantité de déchets de couvoir, de l'utilisation des antibiotiques, de l'indice de consommation et de la quantité d'effluents. Pour le couvoir interrogé, ces démarches sont valables quelles que soit le mode de production.

- **Point de vue des sélectionneurs – producteurs de reproducteurs**

La sélection a beaucoup évolué ces 50 dernières années. Au début, peu de critères étaient pris en compte et ils concernaient presque exclusivement le gain de poids et la réduction de l'indice de consommation. Au fur et à mesure de l'évolution de la sélection, les entreprises interrogées ont intégré de nouveaux critères dans leurs programmes de sélection (en sus des critères déjà en place) tels que la qualité des aplombs, la résistance aux maladies ou encore l'agressivité des poules. Le principe de la sélection est d'intégrer de plus en plus de critères et de ne jamais retirer les critères déjà mis en place. Certains de ces critères correspondent aux principes de l'agroécologie (par exemple : adaptation des animaux aux variations de température).

De plus, un sélectionneur se doit d'anticiper les besoins de ses clients, les attentes sociétales des consommateurs et les nouvelles règlementations nationales ou européennes. Ainsi de nombreux travaux, inscrits dans une démarche agroécologique, sont conduits actuellement :

- amélioration de la robustesse des animaux dans le cadre du plan de réduction des antibiotiques
- sélection d'animaux plus calmes dans le cadre d'une potentielle interdiction de l'épointage à moyen terme
- sélection d'animaux digérant une plus grande diversité de matières premières alimentaires dans le cadre d'une diversification des rations à cause de la hausse des prix des matières premières et le passage à un aliment 100% bio pour les élevages AB
- prolongation et optimisation de la durée de production des poules pondeuses afin de diminuer la fréquence des renouvellements.

L'offre génétique des sélectionneurs interviewés s'est considérablement améliorée ces cinquante dernières années y compris du point de vue agroécologique et continuera à s'améliorer à l'avenir avec l'augmentation du nombre de critères génétiques pris en compte dans les schémas de sélection.

- **Cas particulier de la gestion des races locales**

Les filières de races locales interviewées s'intègrent aussi dans la notion d'agroécologie. Il s'agit d'élevages extensifs, utilisant autant que possible des ressources locales et un minimum d'intrants. La génétique n'est cependant pas le principal levier pour améliorer l'agroécologie dans ces exploitations. La conduite d'élevage, le mode de commercialisation en circuit court, et la vente de volailles aux particuliers pour l'amélioration de la gestion des déchets ménagers sont plutôt mis en avant comme les outils intéressants pour tendre vers plus d'agroécologie.

Ce type de production est par ailleurs une petite niche, importante à maintenir, mais qu'il n'est pas concevable de développer à grande échelle, principalement en raison de performances zootechniques trop en dessous de celles des croisements commerciaux, d'après les interviews.

- **La génétique est-elle un levier vis-à-vis de l'agroécologie ?**

De nombreux critères de sélection utiles à développer pour des systèmes agroécologiques ont déjà été recherchés et améliorés de longue date. Cela se constate directement par l'évolution des souches qui, par exemple, ont vu leur indice de consommation s'améliorer grandement réduisant ainsi à la fois les intrants alimentaires et les rejets d'effluents. Cette amélioration génétique des souches se poursuivra à l'avenir, notamment par l'ajout continu de critères de sélection en lien avec l'agroécologie (démarches déjà en cours).

Le travail sur les souches plus rustiques ou à croissance lente afin d'améliorer la production permet aussi de prendre en compte les principes de l'agroécologie, comme la réduction des intrants médicamenteux et l'utilisation de ressources alimentaires locales et variées. Cependant, chaque filière est spécifique et il n'est pas concevable de développer des souches très rustiques dans les élevages standards. La production de volailles est un milieu hautement compétitif et son marché est mondialisé. Selon un interviewé, l'amélioration de l'agroécologie via la génétique ne peut se faire sans tenir compte des besoins actuels du marché au risque de voir la part d'importations de viande de volaille augmenter (elle est déjà de 42 % des tonnages de viande de poulet consommés en France). De plus, l'amélioration de critères agroécologiques peut dégrader d'autres paramètres. Pour exemple, en filière pondeuse, l'amélioration du caractère exploratoire de la poule pour qu'elle exploite plus le parcours et ses ressources tend à entrainer une hausse de la ponte hors nid (donc un accroissement des risques sanitaires, de la pénibilité du travail pour l'éleveur et une réduction de la production).

La génétique est un des leviers de l'agroécologie mais elle est liée fortement aux conditions de production et à l'itinéraire technique. Plus les souches seront sélectionnées génétiquement, plus il y aura une pression sur

les éleveurs pour les élever correctement. Or la sélection s'effectue en conditions optimales ce qui peut entrainer des discordances entre les stations de sélection et les élevages.

Enfin, la prise en compte de nouveaux critères pour plus d'agroécologie pourrait entrainer une hausse du coût de production donc une hausse du prix de vente des volailles ou des œufs. Le consommateur doit être prêt à acheter ce type de produits plus onéreux. Or, si un marché existe, il est essentiellement axé sur des produits standards ou importés (en tonnage, tous lieux d'achat et de consommation confondus).

D'après un dernier interviewé: « *Même si la génétique est un outil qui permet de faire évoluer les caractéristiques des animaux, l'agroécologie n'est pas un problème génétique, car celle-ci est disponible. Il s'agit d'une problématique économique et politique* »

En filière avicole, la sélection est également influencée par la réglementation européenne et les attentes sociétales via les ONG comme le souligne une interprofession : les directives sur le bien-être animal sont omniprésentes dans notre société et certaines pratiques utilisées en France aujourd'hui pourraient être à moyen terme interdites (par exemple, épointage des poules pondeuses). Les sélectionneurs ont un rôle important d'anticipation des nouveaux besoins des producteurs (diversification des matières premières alimentaires) et aux nouvelles règlementations (bien-être animal) afin de sélectionner des lignées que les producteurs pourront élever demain.

Tableau 9 : Analyse AFOM des dispositifs génétiques actuels au regard de l'agroécologie selon le groupe de travail et les étrangers enquêtés.

ATOUTS	OPPORTUNITES
Une grande diversité de races, une variabilité génétique intra-race gérée par les éleveurs et leurs organisations pour préserver l'avenir **Des outils nouveaux, génomique et phénotypage à haut débit, permettant de nouvelles approches** (individualisation de la génétique, nouveaux caractères) **Des entreprises et des organisations de sélection bien structurées qui ont montré leur capacité à améliorer génétiquement de nombreux caractères** [RUMINANTS] Des races adaptées à différents environnements (pâturage, zone de montagne) Une sélection toujours basée sur la mutualisation des données, des compétences techniques et des outils entre éleveurs, entre races et entre espèces de ruminants Une sélection réalisée dans les conditions de production en élevage commercial [MONOGASTRIQUES] Une forte flexibilité de l'offre génétique via la diversité des croisements possibles Une efficacité de production très élevée	**Dynamisme général autour de la prise en compte en sélection de nouveaux caractères**, en particulier efficience alimentaire, survie et santé des animaux **Utilisation des outils génomiques** pour progresser sur des caractères difficiles à améliorer en sélection classique (santé, qualité des produits) **Prise en compte des interactions GxE dans l'évaluation des reproducteurs** **Augmentation du coût de production et des externalités négatives amenant les systèmes conventionnels à limiter les intrants** **Développement de marchés "alternatifs" qui croissent et peuvent peser sur les orientations générales.** [RUMINANTS] Diversification de l'offre génétique intra-race et valorisation de la mixité des races Amélioration de l'aptitude à bien valoriser l'herbe et les fourrages Intégration des performances en croisement et comparaison entre races [MONOGASTRIQUES] Poursuivre l'amélioration de l'efficacité alimentaire et la robustesse des animaux
FAIBLESSES	**MENACES**
Peu de comparaison de races et croisements en systèmes non conventionnels **Non intégration de la diversité génétique des animaux intra-élevage** comme une dimension favorable à la résilience du système de production **Impact environnemental non considéré comme objectif prioritaire de sélection** [RUMINANTS] Une efficacité de la sélection limitée par la multiplicité et les antagonismes génétiques entre les caractères d'intérêt, et par la méconnaissance des outils génétiques par une partie des éleveurs et techniciens. Des difficultés à intégrer les caractères de santé en sélection Faible disponibilité de données nouvelles relatives à l'impact environnemental et à l'utilisation des intrants (valorisation des pâturages), ou à la santé des animaux [MONOGASTRIQUES] Pas de contrôle des dispositifs de sélection par les éleveurs Peu de prise en compte de la mortinatalité	**Pression économique des marchés mondiaux des produits animaux en défaveur d'une génétique spécifique à des systèmes de production marginaux** **Inadéquation à court terme d'une offre génétique « agroécologique » avec les attentes des marchés mondiaux de la génétique** **Pas de temps long de l'amélioration génétique** **Brevetabilité du vivant (de l'animal en particulier)** **Faible production des races locales en général** [RUMINANTS] Perte du contrôle par les éleveurs des dispositifs de sélection [MONOGASTRIQUES] Concurrence avec l'alimentation humaine

E. Les leviers d'action pour favoriser le développement d'une génétique animale adaptée aux enjeux de l'agroécologie

Pour répondre à la question « Quelle gestion génétique des populations animales pour développer des ressources génétiques adaptées à la variabilité des systèmes de production agroécologiques ? », l'étude vise à dégager une liste hiérarchisée de critères de sélection animale répondant aux enjeux de l'agroécologie et à formuler les recommandations sur les moyens les plus adaptés pour que les critères retenus soient effectivement pris en compte dans les programmes de sélection.

A partir de l'analyse AFOM (cf Tableau 9) des dispositifs de sélection actuels au regard des enjeux de l'agroécologie, nous expliciterons nos propositions en trois parties :

1) Quel faire pour favoriser le développement de nouveaux critères de sélection répondant aux enjeux de l'agroécologie ?
2) Quel choix de races ou de croisements pour améliorer l'efficience des productions animales ?
3) Quelles stratégies de sélection et d'utilisation des reproducteurs mieux adaptés à des environnements moins maîtrisés par l'homme ?

E.1. Que faire pour favoriser le développement de nouveaux critères de sélection répondant aux enjeux de l'agroécologie ?

En termes de hiérarchie des aptitudes animales à améliorer, tant l'analyse bibliographique que les résultats d'enquêtes présentés dans les parties précédentes ont été explicites sur le sujet et cohérents d'une filière à l'autre. Dans toutes les filières, l'introduction de nouveaux critères se fait régulièrement, au fur et à mesure que des critères opérationnels sont proposés sur les caractères importants pour les éleveurs et les sélectionneurs. Ce sont les mêmes critères de sélection qui sont importants pour tout éleveur, quel que soit son système de production, même si la hiérarchie peut être modifiée à la marge entre deux aptitudes.

Les innovations technologiques en cours de développement concernant le phénotypage et la génomique à haut débit vont permettre dans les années à venir une prise en compte en sélection de nouveaux critères. La difficulté est avant tout de pouvoir développer rapidement de tels critères : les verrous sont au niveau de la recherche de phénotypes intéressants (critère corrélé à l'objectif encore mal défini), de l'innovation technologique (phénotypage à haut débit et à faible coût), ou politique (accès à des données existantes).

Dans toutes les filières, les points essentiels à considérer pour développer de nouveaux critères de sélection qui contribueront à répondre aux enjeux de l'agroécologie sont :

1) en termes d'objectif de sélection : l'amélioration de la robustesse des animaux, c'est-à-dire la sélection d'animaux peu sensibles aux variations du milieu d'élevage et qui produisent et se reproduisent donc bien quelles que soient les variations de l'environnement auxquelles ils ont à faire face.

2) en termes de critères de sélection : il est nécessaire de considérer les caractères de santé (immuno-compétence) et l'efficacité alimentaire des animaux en situation de ressources limitantes et/ou de qualité variable (ainsi que la mobilisation des réserves corporelles en ruminants et porcs) dans le développement de programmes de sélection adaptés aux enjeux de l'agroécologie.

Les recommandations en termes de moyens à mettre en œuvre au niveau public sont donc de deux ordres :

1) Contribuer à favoriser l'accès aux généticiens aux données collectées sur le terrain, en particulier aux données sanitaires individualisées (en ruminants et porcs) pour proposer de nouveaux critères de sélection en santé animale ;

2) Contribuer à faire remonter au niveau français (ANR, Casdar, France AgriMer…) et européen le besoin de programmes de R&D autour de critères de sélection concernant la santé et la valorisation de ressources alimentaires peu concurrentes de l'alimentation humaine.

Des programmes de recherche peuvent également permettre d'étudier de nouvelles pistes d'amélioration génétique qui sont réalisables uniquement en station expérimentale (résistance à certaines maladies spécifiques selon les souches, adaptation aux variations de température, mesures comportementales). Cependant, ce type de programme nécessite l'utilisation d'élevages expérimentaux et sont donc réalisables uniquement avec des financements pour la recherche.

Citons en particulier la résistance aux parasites gastro-intestinaux qui est un enjeu majeur pour les ruminants élevés à l'herbe, le système recommandé dans le cadre d'une production agroécologique. Même si chez les ovins quelques races tentent d'inclure ce caractère dans leur programme de sélection, le protocole d'infection et les mesures de nombre d'œufs dans les fèces restent des facteurs limitants de par leur coût et la lourdeur de leur mise en œuvre. D'une part, il serait primordial pour répondre à l'ensemble des demandes en ruminants d'aider à la mise en place d'une plateforme de phénotypage et à l'évaluation de la résistance pour les nombreuses races intéressées. D'autre part, des programmes de recherche sont nécessaires pour identifier de nouveaux critères faciles à mesurer et bien corrélés à la résistance génétique vraie. Par ailleurs, des études doivent être réalisées pour permettre le conseil des éleveurs en termes de gestion intégrée des parasites gastro-intestinaux incluant résistance génétique, traitements, nutrition et rotation des pâtures.

Dans toutes les filières animales, le développement des innovations en génomique et phénotypage à haut débit doit permettre à terme de repenser les critères de sélection et de les diversifier, tout en raccourcissant les délais entre la définition des objectifs et l'amélioration effective des cheptels (encadré n°3). Ce point est fortement mis en avant tant au niveau de l'expertise française que de la consultation réalisée auprès des experts étrangers (cf annexe 8). Toutefois, « face au développement spectaculaire des connaissances sur le génome, il y a un manque criant de connaissances sur l'expression des phénotypes, connaissances qui devraient permettre de répondre au mieux à une double finalité en termes d'exploitation de la variabilité des aptitudes animales : une sélection éclairée vers des objectifs majeurs pour améliorer l'efficience de la production et la robustesse des génotypes, et un élevage de précision qui valorise la variabilité individuelle des animaux pour gagner en efficience et en résilience à l'échelle du troupeau, ou pour améliorer la conduite des animaux d'un génotype donné » (Peyraud et Phocas, 2014). **Cependant, la valorisation et l'efficacité de ces nouveaux outils en termes de sélection nécessite de développer et maintenir de manière pérenne le phénotypage et le génotypage d'une population de référence constituée de plusieurs milliers à dizaines de milliers d'animaux représentatifs en termes de diversité génétique des candidats d'un programme de sélection donné. Ceci reste un frein majeur au développement de la sélection génomique dans de nombreuses races et/ou espèces. Il est donc souhaitable que des moyens financiers publics puissent être mobilisés pour constituer de telles populations dans les races où les moyens financiers privés dédiés à la sélection sont inexistants ou trop faibles.**

E.2. Quelles races ou quels croisements sont adaptés à des systèmes de production agroécologiques ?

Rappelons tout d'abord que les filières de ruminants et de monogastriques ont des stratégies d'utilisation des reproducteurs très différentes en termes d'exploitation de la variabilité des races. Dans les filières de monogastriques, la production s'effectue quasi-exclusivement en croisement terminal à partir de lignées parentales elles-mêmes issues le plus souvent de croisement de lignées grand-parentales pures. En revanche, une large majorité de la production de lait et viande de ruminants en France s'effectue en race pure. Les programmes de sélection actuels sont donc tous conçus pour une valorisation en croisements en filières de monogastriques, alors que les programmes de sélection des ruminants sont essentiellement conçus pour une valorisation en race pure.

Pas/peu d'études permettent de comparer réellement les races/lignées en systèmes de production agroécologiques, en particulier quand on s'intéresse aux races locales. Mais certaines évidences déjà mentionnées dans les parties précédentes du rapport sont à repréciser ici :

1) Les principes agroécologiques promeuvent l'utilisation de races adaptées aux conditions locales et plus particulièrement des races locales déjà présentes sur un territoire.
2) Cependant, dans beaucoup de ces races locales, les niveaux de production sont bien trop bas pour permettre de sortir d'un marché de niche et de se développer suffisamment pour pouvoir mettre en œuvre un programme de sélection efficace.
3) De plus, pas/peu d'études permettent de comparer l'intérêt de divers croisements pour des systèmes agroécologiques, en particulier chez les ruminants.
4) Les éleveurs enquêtés ne souhaitent globalement pas changer de races ou de croisements. En systèmes intégrés avicoles, ce questionnement n'existe pas, l'éleveur n'étant pas décisionnaire.

Notons aussi que dans l'ensemble les éleveurs enquêtés souhaitent plutôt limiter la diversité des animaux (races, espèces) présents au sein d'un même élevage, contrairement au principe agroécologique de valorisation de la diversité y compris intra-élevage pour accroître la résilience des systèmes de production. Intra-élevage la diversité génétique n'est pas favorisée par les marchés qui recherchent des lots d'animaux homogènes à l'achat que cela soit pour l'engraissement ou pour l'abattage. En outre, elle est vue comme un frein à une conduite facile des élevages y compris dans les élevages laitiers ; elle serait davantage à canaliser qu'à développer. En revanche, le maintien d'une diversité forte entre élevages fait consensus pour favoriser le maintien d'une diversité génétique à long terme.

Dans le cadre de l'engagement pris par la France pour la sauvegarde des ressources zoogénétiques, la recommandation qui nous semble importante est d'accroître dans la mesure du possible le niveau d'aide financière concernant la gestion in-situ des races locales. En effet, ces races ayant généralement des niveaux de production bien plus bas que les races nationales ou internationales et des effectifs de femelles reproductrices limités, elles sont en danger de ne pouvoir se développer durablement. Pour les y aider, il s'agit de maintenir une dynamique collective au sein de ces races afin de maintenir voire développer leurs effectifs suffisamment pour permettre une sélection d'animaux dont les performances répondent mieux aux besoins des éleveurs et des filières. En effet, la sélection est un outil onéreux et non compressible, et les collectifs ont des moyens financiers limités, dépendant généralement de subventions des collectivités. Cela n'est pas possible dans le cadre des moyens financiers dont ces collectifs disposent (en regard des volumes de vente). Jusqu'à présent, cela était particulièrement vrai en volailles où les éleveurs et organisations ne pouvaient bénéficier d'appui financier pour la protection des races menacées, les volailles n'étant pas prises en compte dans le dispositif français 'PRM', et aucune liste de races locales de volailles n'étant reconnue au niveau national. A l'été 2015, un dispositif européen adapté aux spécificités des volailles a pu être proposé et accepté par l'Europe, avec des actes délégués dédiés aux associations propriétaires des reproducteurs. Il reste maintenant à faire activer ce dispositif au niveau local.

Par ailleurs, en ruminants et en porcs, il paraît utile d'encourager le développement d'évaluations génétiques intégrant des données d'animaux croisés.

- En porc, le développement d'évaluations génétiques intégrant des données d'animaux croisés permettrait de mieux prendre en compte l'adaptation des animaux à la diversité des environnements d'élevage de production notamment pour des caractères de santé. Ceci nécessite des travaux de recherche sur ces nouveaux modèles d'évaluation mais aussi de mettre en place un circuit de gestion de l'information approprié.
- En ruminants, en France l'un des freins à l'utilisation du croisement de type élevage en particulier est la quasi absence de références (performances, pratiques…), d'index dédiés et comparables dans les différentes races pour choisir les reproducteurs mâles, et enfin de valeurs génétiques permettant de gérer la troupe de femelles croisées.

E.3. Quelles stratégies de sélection et d'utilisation des reproducteurs ?

Dans toutes les filières, 3 grandes approches sont possibles en termes de stratégie de sélection et d'utilisation de reproducteurs adaptés à des systèmes agroécologiques :

1) Utilisation des reproducteurs choisis par les programmes actuels qui *in fine* répondent déjà aux besoins d'un certain nombre des éleveurs en agroécologie, ainsi que certains travaux de la littérature et les enquêtes l'ont montré dans un bon nombre de cas et dans les diverses filières.

2) Choix de reproducteurs différents de ceux des filières principales, mais effectué parmi les candidats à la sélection des programmes conventionnels :

- Prise en compte d'interactions G x E dans les évaluations et choix des reproducteurs sur les valeurs génétiques prédites pour le système d'élevage cible agroécologique. Toutefois, la définition des caractéristiques du système cible est difficile. La stratégie d'élevage de parentaux dans les différents systèmes d'élevage / climat utilisés dans les filières de monogastriques permet de contourner en partie ce problème.
- Proposition d'index de synthèse « utilisateurs, personnalisés » pour classer les animaux : cette stratégie paraît à privilégier par tous et aurait à la fois l'avantage pour chaque éleveur d'utiliser les reproducteurs les mieux adaptés à ses besoins personnels et de permettre le maintien d'une diversité génétique à long terme

3) Mise en œuvre de programmes spécifiques pour des systèmes d'élevage non conventionnels. Deux verrous essentiels peuvent limiter la mise en œuvre de cette 3ème stratégie :

- Le premier verrou concerne l'efficacité technique de tels programmes : la taille de la population disponible pour conduire la sélection, la possibilité d'appui technique auprès des éleveurs participants au programme de sélection en cas de sélection mutualisée ou participative.
- Le second verrou est la faisabilité économique : le marché est-il suffisant pour que des entreprises privées amortissent le coût d'un programme supplémentaire de sélection ? Sinon, comment l'Etat peut-il favoriser une sélection mutualisée/participative dans un contexte de libéralisation (cf règlement zootechnique européen) ?

S'il émergeait un collectif d'éleveurs de taille suffisante autour d'un même objectif de sélection très différent des objectifs des programmes déjà existant, il faudrait alors une politique publique en mesure d'appuyer une recherche participative décentralisée et la diffusion de connaissances relatives aux meilleures pratiques de sélection durable, avec la collaboration des organisations de sélection et les structures d'appui technique existantes. **Toutefois, il nous paraît important de noter que le principe même d'établir une lignée ou un**

programme de sélection « agroécologique » implique de définir un consensus, une uniformisation-standardisation de l'élevage et de l'animal idéal « agroécologique », qui nous semble antinomique avec les principes mêmes de l'agroécologie qui visent à jouer sur les complémentarités et interactions entre les ressources disponibles : il n'y a pas UN animal type agroécologique, mais DES animaux aux profils variés permettant de répondre aux attentes de l'agroécologie.

- **En filières de ruminants**, il est complexe et coûteux de mettre en œuvre un dispositif de sélection pertinent (efficace). En dehors des grandes races nationales et internationales, nombre de programmes de sélection actuels peinent à trouver leur équilibre technique et économique, alors qu'une part non négligeable des opérations est financée par des fonds publics ou collectifs. Par ailleurs, les éleveurs interviewés ne s'opposent majoritairement pas aux dispositifs existants, estimant qu'ils répondent à leurs besoins, même si parfois imparfaitement.

Dans ce contexte il ne parait pas pertinent de proposer la création de nouveaux programmes de sélection. Ajoutons qu'une telle stratégie serait particulièrement contre-productive vis-à-vis des races locales et races à petits effectifs, en favorisant un peu plus les grandes races qui seules pourraient éventuellement (si suffisamment d'éleveurs se mobilisaient et partageaient une vision commune) s'engager dans cette voie.

En revanche, des évolutions sont à encourager ou développer :

- **Meilleure prise en compte des caractères fonctionnels dans les objectifs de sélection pour tendre vers plus de multi-compétence des animaux et plus de diversité parmi les reproducteurs sélectionnés**

Ces dernières années les évolutions des programmes de sélection sont à l'accroissement du nombre de critères disponibles (évaluations génétiques), induisant un rééquilibrage des objectifs de sélection en faveur des aptitudes d'adaptation aux conditions d'élevage variées. Dans une visée agroécologique, il est important d'encourager ces évolutions, en particulier par l'acquisition de références sur des aptitudes nouvelles. Les problématiques d'avenir requièrent des investissements massifs (efficacité alimentaire sur fourrages grossiers, résistance aux pathogènes, …) et intéressent l'ensemble des éleveurs et des systèmes.

- **Meilleure valorisation de la diversité génétique parmi les reproducteurs : adaptation fine de la génétique à la diversité des conditions et objectifs d'élevage**

Pour ce faire, nous recommandons de mieux accompagner les éleveurs dans l'utilisation des index, l'établissement de stratégies génétiques adaptées à l'élevage, ce qui peut comprendre la proposition d'index de synthèse personnalisés. Ces index de synthèse reposeraient sur un équilibre entre caractères adapté à l'élevage (état génétique du troupeau ; potentialités et contraintes du milieu et du système) et aux objectifs propres de l'éleveur. Cet accompagnement des éleveurs inclut les systèmes en croisement. Pour cela, il est nécessaire d'enrichir les références disponibles et en particulier d'aller vers des évaluations génétiques et génomiques multi-raciales incluant des animaux croisés. Cela permettrait à la fois une optimisation fine du trinôme « objectif d'éleveur » - « système et potentialité du milieu » - « animal », et une diversité génétique accrue inter-élevage du fait de la diversité des systèmes agroécologiques.

En parallèle, bien que des premiers travaux aient permis d'établir quelques bases méthodologiques importantes, dans l'objectif d'une adaptation à une large gamme de systèmes d'élevage, nous recommandons de poursuivre les travaux sur les évaluations génétiques intégrant les interactions GxE. Pour cela, il conviendrait d'accompagner les connexions entre les SNIG (systèmes nationaux d'information génétique) et les bases de données de description des systèmes (systèmes alimentaires et fourragers en particulier) et conditions pédoclimatiques.

- Enfin, d'une manière générale au-delà de soutenir une valorisation de la diversité intra-race (que ce soit pour une utilisation en race pure ou croisé), il faut **garantir un maintien d'une diversité inter-race, qui est l'une des composantes essentielles à l'adaptation à une diversité de milieux et contextes de production** (ce qui comprend la diversité des produits et la diversité des démarches qualité). Il faut permettre au plus grand nombre de races - quelle que soit leur taille - de bénéficier des avancées techniques et notamment des nouvelles évaluations génétiques. Cela peut passer par du soutien spécifique aux races locales, mais probablement il faut également encourager ou favoriser les mutualisations scientifiques et techniques avec les grandes races.

- **En filière porcine,** nous identifions deux freins majeurs à la mise en place d'un programme de sélection spécifique pour des élevages non conventionnels.

1) Le niveau des performances des races locales est économiquement adapté à la production destinée à des marchés de niche qui arrivent à développer des produits différenciés à forte valeur ajoutée. L'écart des performances, même en utilisant une race locale en croisement avec une race standard (ce à quoi sont opposés les éleveurs de races locales), est tel qu'il n'est pas envisageable d'avoir un modèle économiquement viable par l'utilisation d'une race locale pour une production en dehors de marchés de niche. D'ailleurs les associations qui gèrent les programmes de conservation des races locales mettent en œuvre leur stratégie de développement et de communication pour que leur marché reste un marché de niche. Il existe une réticence forte à partager cette ressource génétique à plus large échelle pour permettre son développement au-delà d'un marché de niche.

2) La production de porcs sous signes de qualité en France reste embryonnaire et ne représente que 0.4% pour le porc biologique et 3.1% pour le Label Rouge de la production nationale (source Ifip, porc par les chiffres). A ce niveau de production, les organisations de sélection n'investissent pas dans des programmes de sélection spécifiques pour l'élevage agroécologique tant pour des raisons techniques de taille de population que pour des raisons d'équilibre économique.

La voie du choix "piloté" des reproducteurs parmi les candidats à la sélection issus des programmes conventionnels, comme indiqué ci-dessus en seconde approche générique, semble une piste intéressante pour l'élevage porcin. Cette approche est plus habituelle en élevage de ruminants et son intérêt mériterait d'être mieux évalué pour l'espèce porcine. Il existe en effet au sein des différentes races et lignées une variabilité importante qui pourrait être mieux valorisée si l'on disposait d'informations permettant de mieux caractériser les animaux en particulier sur des critères fonctionnels. De la même manière, et sûrement en complément de l'approche précédente, une utilisation différente des races pourrait être envisagée pour une valorisation de la diversité existante dans des stratégies innovantes de croisement, permettant de concilier les bénéfices du croisement, la possibilité pour l'éleveur d'auto renouveler les femelles de son troupeau et une meilleure adaptation des animaux au système de production.

- **En filières avicoles**, on peut mentionner trois stratégies complémentaires permettant une offre génétique mieux adaptée à des systèmes agroécologiques.

1) La première stratégie consiste à valoriser les souches existantes qui sont déjà bien adaptées à des systèmes agroécologiques. C'est le cas en particulier des lignées de poulets de chair à croissance lente de type « label rouge ». Ces souches sont moins exigeantes que les souches à croissance rapide et sont donc plus adaptées à des environnements extensifs moins contrôlés. Alors que la croissance des souches utilisées pour la production de poulet de type « label rouge » est bien adaptée à leur marché, celle des races locales est faible et cantonne ces productions à des marchés de niche visant des produits de qualité supérieure (Chiron et al., 2015). La grande variété de souches disponibles en France pour les productions alternatives de type label rouge est un réel atout pour le positionnement français dans le développement de productions agroécologiques. Des publications américaines et norvégiennes (Fanatico, 2008 ; Brunberg et al., 2014) mentionnent notamment l'intérêt de ces souches pour les productions alternatives.

2) L'utilisation de croisement entre lignées est systématique en volailles. Les poulets de chair ou les poules pondeuses dans les élevages de production sont majoritairement issus d'un croisement entre 3 à 4 lignées pures choisies parmi un pool de lignées disponibles chez chaque sélectionneur. La sélection se fait à l'étage des lignées pures. Ce type de schéma permet une grande souplesse pour s'adapter à toute demande (dont celle de productions plus agroécologiques), car pour adapter les caractéristiques du produit terminal, il suffit de changer une des lignées pures utilisées dans le croisement ou d'en adapter les critères de sélection, ce

qui suppose de maintenir un nombre suffisant de lignées. Les sélectionneurs font continuellement évoluer leurs critères de sélection, notamment sur la robustesse, le bien-être et les maladies métaboliques, mais communiquent peu sur ces évolutions qui sont critiques pour la concurrence.

3) Le choix de l'environnement de sélection est souvent problématique, car la sélection avicole se fait à l'échelle mondiale et on ne peut envisager une sélection différente pour chacun des environnements cibles. La stratégie utilisée à l'heure actuelle en volailles est de sélectionner les lignées pures dans des milieux d'élevage standardisés (similaires pour chacune des lignées parentales) et maîtrisés (température, aliment, conditions sanitaires), puis de placer les troupeaux parentaux dans les différents environnements de production réels. Seuls les mieux adaptés aux différents environnements proposés fourniront un grand nombre de poussins pour la production dans ces mêmes environnements. Par exemple, l'élevage de populations parentales (les parents des animaux commerciaux) directement dans les pays à climat chaud permet d'améliorer l'adaptation à la chaleur, en sélectionnant les animaux les plus performants dans l'environnement de production (Ansah, 2000).

Pour conclure

Rappelons tout d'abord que l'agroécologie ne pourra être développée en élevage que si la rentabilité économique des exploitations, les attentes sociales des éleveurs (travail, revenus et reconnaissance) et les attentes sociétales et du marché sont prises en compte. Il s'agit d'inscrire donc cette évolution dans le cadre d'un développement durable des productions animales, non seulement sur le plan environnemental, mais aussi économique et social.

Il n'y a pas UN animal type pour les systèmes agro-écologiques, mais DES animaux aux profils variés répondant à la diversité des milieux et des conduites d'élevage. L'offre génétique actuelle permet une orientation agroécologique selon 90% des éleveurs interviewés

Dans toutes les filières, il paraît alors souhaitable de faire évoluer les programmes de sélection actuels pour qu'ils puissent répondre de mieux en mieux à une gamme de besoins variés en termes de profil de reproducteurs. Faciliter cette évolution permettra un plus large essor de systèmes agroécologiques plutôt que de proposer des programmes spécifiques qui auront du mal à être réellement efficaces. Orienter la sélection vers plus de robustesse, santé et efficacité alimentaire des animaux en situation de ressources limitantes (quantité et/ou qualité) est nécessaire pour toutes les filières animales. Le développement des innovations en génomique et pour le phénotypage à haut débit doit permettre à terme de repenser les critères de sélection et de les diversifier, tout en raccourcissant les délais entre la définition des objectifs et l'amélioration effective des cheptels. Soutenir les efforts de constitution de populations de référence génomique, y compris en races locales, est donc important. Il paraît aussi indispensable qu'un soutien public en termes financier et d'appui R&D soit maintenu pour le développement des races locales. Si le soutien de base à leur gestion *in situ* existe et doit être maintenu à un niveau significatif, il nous semble qu'un soutien supplémentaire doit viser avant tout à caractériser phénotypiquement ces populations locales et appuyer leur développement socio-économique localement. Il ne s'agit pas en premier chef de développer des programmes d'amélioration génétique dans des populations qui sont de faible taille, la gestion visant alors à limiter l'accroissement de la consanguinité.

En filières de ruminants, le premier besoin identifié au travers des enquêtes s'avère être un besoin de formation des éleveurs et techniciens à l'utilisation des outils existants : index, faire son bilan et définir un objectif de sélection pour son élevage pour savoir choisir, parmi les reproducteurs mis sur le marché, une génétique adaptée à son objectif et à son système de production. Par ailleurs, la déclinaison d'outils de choix « personnalisés-personnalisables » à l'élevage est à encourager pour mettre en œuvre une diversité de stratégies à l'échelle des élevages.

En filière porcine, l'utilisation de données de porcs croisés collectés dans différents environnements de production pour les évaluations génétiques permettrait de mieux prendre en compte les interactions Génotype x Milieu et d'intégrer des caractères de santé (ou d'environnement sanitaire) et de rusticité des animaux. Il conviendra ensuite de fournir aux éleveurs les outils et les index génétiques pour choisir les animaux adaptés à l'élevage conventionnel ou à l'élevage agroécologique.

Dans les filières avicoles, les pistes d'évolution concernent l'utilisation de critères de sélection pour la robustesse et l'adaptation, le testage des parentaux dans une gamme de conditions d'élevage, et la valorisation de la diversité génétique entre lignées. La sélection avicole étant beaucoup moins encadrée juridiquement que la sélection des autres espèces, alors que les systèmes de production avicole sont eux très encadrés, il s'agit de trouver les modalités d'intervention publique pour que les sélectionneurs privés entretiennent et sélectionnent une plus large gamme de lignées permettant une combinatoire élevée de croisements afin de répondre à des besoins plus variés à l'étage de production.

Remerciements

Les auteurs de ce rapport remercient les 62 éleveurs et représentants des filières de ruminants, porcs et volailles, ainsi que les entreprises avicoles qui ont participé aux enquêtes concernant la génétique comme levier de développement de l'agroécologie en productions animales. Un remerciement particulier s'adresse à Daniel Guéméné qui a apporté l'expertise du SYSAAF en sélection avicole. Ils remercient aussi les ingénieurs de l'Institut de l'Elevage ou de l'ITAVI qui ont contribué à la réalisation des enquêtes : Jean-Michel Astruc, Isabelle Bouvarel, Agathe Cheype, Geoffrey Chiron, Delphine Duclos, Jean Guerrier, Pascale Le Mézec, Serge Miller, Stéphanie Minéry, Aurélie Moulin, Jérôme Pavie, Agnès Piacere, Delphine Pinard.

Références

Ahlman T., Berglund B., Rydhmer L., Strandberg E., 2011. Culling reasons in organic and conventional dairy herds and genotype by environment interaction for longevity. Journal of Dairy Science 94, 1568-1575.

Ahlman T., Ljung M., Rydhmer L., Röcklinsberg H., Strandberg E., Wallenbeck A., 2014. Differences in preferences for breeding taits between organic and conventional dairy producers in Sweden. Livestock Science 162, 5-14.

Alhidary I.A., Shini S., Al Jassim R.A.M., Gaughan J.B., 2012. Physiological responses of Australian Merino wethers exposed to high heat load. J Anim Sci 90:212-220.

Allain D., Foulquié D., Autran P., François D., Bouix J., 2014. Importance of birthcoat for lamb survival and growth in the Romane sheep breed extensively managed on rangelands. J. Animal Sci. 92, 54-63.

Altieri M.A., 2002. Agroecological principles and strategies for sustainable agriculture. In Agroecological Innovations: Increasing food production with participatory development (N.T. Uphoff Ed.), Earthscan Publication Ltd, London, pp. 40-46.

Ansah G.A., 2000. Matching genetic potential for performance with field conditions. The layer industry worldwide. Proc. 21th World Poultry Congress, Montreal, Canada, electronic publication

Arango J.A., Cundiff L.V., Van Vleck L.D., 2002. Genetic parameters for weight, weight adjusted for body condition score, height, and body condition score in beef cows. J Anim Sci 80:3112-3122.

Arthur J.A., Albers G.A.A., 2003. Industrial perspectives and issues associated with poultry breeding. In: Muir WM, Aggrey SE, editors. Poultry genetics, breeding and biotechnology. Wallingford: CABI. pp. 1-12.

Assenza F, Elsen JM, Legarra A, Carre C, Salle G, Robert-Granie C, Moreno CR, 2014 Genetic parameters for growth and faecal worm egg count following Haemonchus contortus experimental infestations using pedigree and molecular information. Genet Sel Evol, 46:13.

Azoulay Y., Druyan S., Yadgary L., Hadad Y., Cahaner A., 2011. The viability and performance under hot conditions of featherless broilers versus fully feathered broilers. Poult Sci 90, 19-29.

Baker R, Gray G, 1991. Appropriate breeds and breeding schemes for sheep and goats in the tropics. Worm control for small ruminants in tropical Asia 2004:63.

Baker R, Watson T, Bisset S, Vlassoff A, Douch P: Breeding sheep in New Zealand for resistance to internal parasites: research results and commercial application. Breeding for disease resistance in sheep:19-32.

Banos G., Coffey M.P., 2010. Genetic association between body energy measured throughout lactation and fertility in dairy cattle. Animal, 4:2, 189-199

Basso B., Ricard E., Lagüe M., Guy G., Marie-Etancelin C., 2010. Mise au point d'un système de mesure individuelle du comportement alimentaire des canards élevés en lot. In : 9èmes Journées de la Recherche sur les Palmipèdes à Foie Gras, Bordeaux, 07-08/10/2010, pp179-182.

Baumont R., Lewis E., Delaby L., Prache S., Horan B., 2014. Sustainable intensification of grass-based ruminant production in Grassland Science in Europe, Vol. 19 - EGF at 50: the Future of European Grasslands, 521-532

Beaumont C., Dambrine G., Chaussé A.M., Flock D., 2003. Selection for disease resistance: conventional breeding for resistance to bacteria and viruses. In: Muir WM, Aggrey SE, editors. Poultry genetics, breeding and biotechnology. Wallingford: CABI. pp. 357-384.

Bell M.J., Potterton S.L., Graignon J., Saunders N., Wilcox R.H., Hunter M., Goodman J.R., Garnsworthy P.C., 2014. Variation in enteric methane emissions among cows on commercial dairy farms. Animal 8, 1540-1546.

Bell M.J., Wall E., Russell G., Simm G., Scott A.W., 2011. The effect of improving cow productivity, fertility and longevity on the global warming potential of dairy systems. J. Dairy Sci. 94, 3662-3678.

Berman A., 2011. Invited review: are adaptations present to support dairy cattle productivity in warm climates? J. Dairy Sci 94:2147-2158.

Berry D.P., Buckley F., Dillon P., Evans R.D., Rath M., Veerkamp R.F., 2003. Genetic relationships among body condition score, body weight, milk yield and fertility in dairy cows. J. Dairy Sci., 86, 2193-2204

Berry D.P., Shalloo L., Cromie A.R., Veerkamp R.F., Dillon P., Am P.D., Keraney J.F., Evans R.D., Wickham B., 2007. The economic breeding index: A generation on. Technical report to the Irish Cattle Breeding Federation, 50 pages. www.icbf.com/publications/files/economic_breeding_index.pdf

Berry D.P., Horan B., O'Donovan M., Buckley F., Kennedy E., McEvoy M., Dillon P., 2007. Genetics of grass dry matter intake, energy balance, and digestibility in grazing Irish dairy cows. Journal of Dairy Science 90, 4835-4845.

Bishop SC, Conington J, Waterhouse A, Simm G, 1996. Genotype X environment interactions for early growth and ultrasonic measurements in hill sheep. Anim Sci 62:271-277.

Bishop SC, Morris CA, 2007. Genetics of disease resistance in sheep and goats. Small Ruminant Research, 70(1):48-59.

Bittante G., Gallo L., Carnier P., Cassandro M., Mantovani R., Pastore E., 1996. Effects on fertility and litter traits under accelerated lambing scheme in crossbreeding between Finn sheep and an Alpine sheep breed. Small Ruminant Research 23:43-50.

Blanc F, Bocquier F, Agabriel J, D'hour P, Chilliard Y, 2006. Adaptive abilities of the females and sustainability of ruminant livestock systems. A review. Anim Res 55:489-510.

Bloemhof S., van der Waaij E. H, Merks J. W. M., Knol E. F., 2008. Sow line differences in heat stress tolerance expressed in reproductive performance traits. Journal Animal Science 86: 3330-3337.

Bloemhof S., Kause A., Knol E. F., Van Arendonk J.A.M., Misztal I. 2012. Heat stress effects on farrowing rate in sows: Genetic parameter estimation using within-line and crossbred models. Journal Animal Science, 90 2109-2119

Bocquier F, González-García E (2010) Sustainability of ruminant agriculture in the new context: feeding strategies and features of animal adaptability into the necessary holistic approach. Animal 4:1258-1273.

Boddicker, Garrick D. J., Rowland R. R. R., Lunney J. K., Reecy J. M., Dekkers J.C.M, 2014. Validation and further characterization of a major quantitative trait locus associated with host response to experimental infection with porcine reproductive and respiratory syndrome virus. Animal Genetics, 45, 48-58.

Boettcher P.J., Fatehi J., Schitz M.M., 2003. Genotype x Environment Interactions in Conventional versus Pasture-Based Dairies in Canada. Journal of Dairy Science 86, 383-389.

Bonneau M, de Greef K, Brinkman D, Cinar MU, Dourmad JY, Edge HL, Fàbrega E, Gonzàlez J, Houwers HWJ, Hviid M, Ilari-Antoine E, Klauke TN, Phatsara C, Rydhmer L, van der Oever B, Zimmer C and Edwards SA 2014a. Evaluation of the sustainability of contrasted pig farming systems: the procedure, the evaluated systems and the evaluation tools. Animal, doi:10.1017/S1751731114002110.

Bonneau M, Klauke TN, Gonzàlez J, Rydhmer L, Ilari-Antoine E, Dourmad JY, de Greef K, Houwers HWJ, Cinar MU, Fàbrega E, Zimmer C, Hviid M, van der Oever B and Edwards SA 2014b. Evaluation of the sustainability of contrasted pig farming systems: integrated evaluation. Animal, doi:10.1017/ S1751731114002122

Borg R.C., Notter D.R., Kott R.W., Kuehn L.A., 2005. Genetic factors influencing body weights and condition scores in adult Targhee ewes. J Dairy Sci 88:102-103.

Botreau R., Farruggia A., Martin B., Pomiès D., Dumont B., 2014. Towards an agroecological assessment of dairy systems: proposal for a set of criteria suited to mountain farming. Animal, 8, 1349-1360.

Bougoin M-H. et Le Mézec P., 2010. Le croisement entre races laitières en France vu par les bases de données. Renc. Rech. Ruminants, 17, 464.

Brandt H., Werner D. N., Baulain U., Brade W., Weissmann F., 2010. Genotype–environment interactions for growth and carcass traits in different pig breeds kept under conventional and organic production systems. Animal, 4 535-544

Brochard M., Boichard D., Ducrocq V., Fritz S., 2013. La sélection pour des vaches et une production laitière plus durables : acquis de la génétique et opportunités offertes par la sélection génomique. INRA Prod. Anim. 26(2), 145-156.

Browning R., Leite-Browning M.L., Byars M.JR., 2011. Reproductive and health traits among Boer, Kiko and Spanish meat goat does under humid, subtropical pasture conditions of the southeastern United States. J. Anim. Sci. 89:648-660.

Brunberg E., Grova L., Serikstad G.L., 2014. Genetics and welfare in organic poultry production, a discussion on the suitability of available breeds and hybrids. Bioforsk Rapport, vol 9, n°10, 30 pp

Brun-Lafleur L., Delaby L., Husson F., Faverdin P., 2010. Predicting energy x protein interaction on milk yield and milk composition in dairy cows. J. Dairy Sci. 93 (9), 4128-4143.

Buttchereit N., Stamer E., Junge W., Thaller G., 2012. Genetic parameters for energy balance, fat/protein ratio, body condition score and disease traits in Germany Holstein cows. J. Anim. Breeding and Genetics, 129, 280-288

Cahaner A., Deeb N., Gutman M.,1993. Effect of plumage-reducing naked-neck (Na) gene on the performance of fast-growing broilers at normale and high ambient temperatures. Poultry Science 72: 767-775.

Calenge F., Mignon-Grasteau S., Chanteloup N.K., Bree A., Lalmanach A.C., et al., 2014. Broiler lines divergently selected for digestive efficiency also differ in their susceptibility to colibacillosis. Avian Pathol 43: 78-81.

Calus M.P.L., Veerkamp, RF, 2003. Estimation of environmental sensitivity of genetic merit for milk production traits using a random regression model. J. Dairy Sci. 86, 3756-3764.

Cammack KM, Leymaster KA, Jenkins TG, Nielsen MK, 2005. Estimates of genetic parameters for feed intake, feeding behavior, and daily gain in composite ram lambs. J Anim Sci 83:777-785.

Carabano M. J., K. Bachagha, M. Ramon, and C. Diaz. 2014. Modeling heat stress effect on Holstein cows under hot and dry conditions: Selection tools. Journal of Dairy Science 97: 7889-7904.

Cariolet R., Dantzer R., 1985.MOVING ACTIVITY OF PREGNANT TETHERED SOWS - DETERMINATION OF SOME FACTORS OF VARIATIONS.ANNALES DE ZOOTECHNIE 34:373.

Chapuis H., Boulay M., Desnoues B., Gaultier P., Colleau J.J., et al., 2015. Impact des méthodes de gestion sur la diversité génétique des populations avicoles françaises. In: ITAVI, editor. 11èmes Journées de la Recherche Avicole et Palmipèdes à Foie Gras. Tours, France: WPSA. pp. 373-377.
Chiron G., Lubac S., Markey L., Lauvie A., Moyse F., Couzy C., 2015. Les verrous et opportunités pour la valorisation des produits chez les races avicoles en phase de sauvegarde, Journées de Recherche Avicole, 25 et 26 mars 2015, Tours

Clapperton M., Diack A.B., Matika O., Glass E.J., Gladney C.D., Mellecamp M.A., Hoste A., Bishop S.C., 2009. Traits associated with innate and adaptive immunity in pigs: heritability and associations with performance under different health status conditions. Genetic Selection Evolution, 41, 54.

Coleman J., Pierce K.M., Berry D.P., Brennan A., Horan B., 2009. The influence of genetic selection and feed system on the reproductive performance of spring-calving dairy cows within future pasture-based production systems. J. Dairy Sci, 92, 5258-5269

Connor E.E., 2015. Invited review: Improving feed efficiency in dairy production: challenges and possibilities. Animal, 9:3, 395-408

Coop RL, Graham RB, Jackson F, Wright SE, Angus KW, 1985. Effect of experimental Ostertagia circumcincta infection on the performance of grazing lambs. Res Vet Sci, 38(3):282-287.

Cottle D.J., Conington J., 2013. Reducing methane emissions by including methane production or feed intake in genetic selection programmes for Suffolk sheep. J Agric Sci 151:872-888.

Coyral-Castel S., Rame C., Monniaux D., Fréret S., Fabre-Nys C., Fritz S., Monget P., Dupont F., Dupont J., 2011. Ovarian parameters and fertility of dairy cows selected for one QTL located on BTA3. Theriogenology 75, 1239–1250.

Coyral-Castel S., Faverdin P., Ramé C., Fréret S., Guillaume D., Fritz S., Dupont J., 2013. Significant differences in fertility between dairy cows selected for one QTL located on bovine chromosome 3 are not attributable to energy balance, although eating behaviour is affected. Animal, 7:4, 610-617

Crawley A.M., Mallard B., Wilkie B., 2005. Genetic selection for high and low immune response in pigs: Effects on immunoglobulin isotype expression. Veterinary Immunology Immunopathology, 108, 71-76.

Cummins S.B., Lonergan P., Evans A.C.O., Berry D., Evans R.D., Butler S.T., 2011. Genetic merit for fertility traits in Holstein cows: I. Production characteristics and reproductive efficiency in a pasture-based system. J. Dairy Science, 95, 1310-1322

Cutullic E., Delaby L., Gallard Y., Disenhaus C., 2012. Towards a better understanding of the respective effects of milk yield and body condition dynamics on reproduction in Holstein dairy cows. Animal, 6:3, 476-487

Danchin-Burge C., 2012. Gestion durable de la variabilité génétique des ruminants domestiques : approches in situ et ex situ, Thèse de doctorat AgroParisTech, 176 p.

Davies G, Genini S, Bishop SC, Giuffra E, 2009. An assessment of opportunities to dissect host genetic variation in resistance to infectious diseases in livestock. Animal, 3(3):415-436.

Davies G, Stear MJ, Benothman M, Abuagob O, Kerr A, Mitchell S, Bishop SC, 2006. Quantitative trait loci associated with parasitic infection in Scottish blackface sheep. Heredity (Edinb) 96(3):252-258.

De Haas Y., Windig J.J., Calus M.P.L., Dijkstra J., de Haan M., Bannink A., Veerkamp R.F., 2011. Genetic parameters for predicted methane production and potential for reducing enteric emissions through genomic selection. J Dairy Sci 94:6122-6134.

Dehareng F., Delfosse C., Froidmont E., Soyeurt H., Martin C., Gengler N., Vanlierde A., Dardenne P. 2012. Potential use of milk mid-infrared spectra to predict individual methane emission of dairy cows. Animal, 6, 1694-1701.

De Jong G., Bijma P., 2002 Selection and phenotypic plasticity in evolutionary biology and animal breeding. Livest Prod Sci. 78:195-214.

Delaby L., Peyraud J.L., 2009. Valoriser les fourrages de l'exploitation pour produire du lait. Fourrages, 198, 191, 210

Delaby L., Faverdin P., Michel G., Disenhaus C., Peyraud J. L., 2009. Effect of different feeding strategies on lactation performance of Holstein and Normande dairy cows. Animal, 3:6, 891-905

Delaby L., Horan B., O'Donovan M., Gallard Y., Peyraud J.L., 2010. Are high genetic merit dairy cows compatible with low input grazing systems? in Grassland Science in Europe, Vol. 15 – Grassland in a changing world, 928-930

Delaby L., Fiorelli J.L., 2014. Elevages laitiers à bas intrants: Entre traditions et innovations. INRA, Prod. Anim, 27(2), 123-134

De la Chevrotiere C, Bambou JC, Arquet R, Jacquiet P, Mandonnet N, 2012. Genetic analysis of the potential role of IgA and IgE responses against Haemonchus contortus in parasite resistance of Creole goats. Vet Parasitol, 186(3-4):337-343.

De La Chevrotière C, Moreno C, Jaquiet P, Mandonnet N, 2011. La sélection génétique pour la maîtrise des strongyloses gastro-intestinales des petits ruminants. Productions Animales, 24(3):221.

Dematawewa C.M.B., Berger P.J., 1998. Genetic and phenotypic parameters for 305-day yield, fertility, and survival in Holsteins J Dairy Sci 81:2700-2709.

De Verdal H., Mignon-Grasteau S., Bastianelli D., Même N., Le Bihan-Duval E., Narcy A., 2013. Reducing the environmental impact of poultry breeding by genetic selection. J. Anim. Sci., 91, 613-622.

Dezetter C., Leclerc H., Mattalia S., Barbat A., Boichard D., Ducrocq V., 2014, Estimation des effets de la consanguinité et du croisement pour les caractères de production chez les vaches de race Prim'Holstein, Montbéliarde et Normande. Renc. Rech. Ruminants, 21, 233-236

Dillon P., Berry D.P., Evans R.D., Buckley F., Horan B., 2006. Consequences of genetic selection for increased milk production in European seasonal pasture based systems of milk production. Livestock Science, 99, 141-158

Dikmen S., Khan F.A., Huson H.J., Sonstegard T.S., Moss J.J., Dahl G.E., Hansen P.J., 2014. The SLICK hair nlocus derived from the Senepol cattle confers thermotolerance to intensively managed lactating Holstein cows. J. Dairy Sci. 97:5508-5520.

Dockès A.C., Magdelaine P., Daridan D., Guillaumin A., Rémondet M., Selmi A., Gilbert H., Grasteau S., Phocas F., 2011. « Adapter l'élevage, les animaux d'élevage et la sélection animale, à une perspective de développement durable. Points de vue croisés des acteurs des filières de la distribution et des associations », INRA Prod. Anim. 24, 285-296.

Dourmad J.Y., Etienne M., Prunier A., Noblet J. 1994. The effect of energy and protein intake of sows on their longevity. Livestock Production Science, vol. 40, 87-97

Dourmad J.Y., Canario L., Gilbert H., Merlot E., Quesnel H., Prunier A., 2010. Evolution of animal performance and robustness in pig farms. INRA Productions Animales 23: 53-64.

Dumont B., Gonzalez-Garcia E., Thomas M., Fortun-Lamothe L., Ducrot C., Dourmad J.Y., Tichit M., 2014. Forty research issues for the redesign of animal production systems in the 21st century. Animal 8, 1382-1393.

Dumont B., Fortun-Lamothe L., Thomas M., Jouven M., Tichit M., 2013. Prospects from agroecology and industrial ecology for animal production in the 21st century. Animal 7, pp 1028–1043

Edmonson AJ, Lean IJ, Weaver LD, Farver T, Webster G (1989) A BODY CONDITION SCORING CHART FOR HOLSTEIN DAIRY-COWS. J Dairy Sci 72:68-78.Emmerson D., 2003. Breeding objectives and selection strategies for broiler production. In: Muir WM, Aggrey SE, editors. Poultry genetics, breeding and biotechnology. Wallingford: CABI. pp. 113-126.

Emery DL, Clark BL, Stewart DJ, O'Donnell IJ, Hewish DR, 1984. Analysis of the outer membrane proteins of Bacteroides nodosus, the causal organism of ovine footrot. Vet Microbiol, 9(2):155-168.

Falzon LC, O'Neill TJ, Menzies PI, Peregrine AS, Jones-Bitton A, vanLeeuwen J, Mederos A ,2014. A systematic review and meta-analysis of factors associated with anthelmintic resistance in sheep. Prev Vet Med, 117(2):388-402.

Fanatico A., 2008. Organic poultry production in the United States. Rapport de l'ATTRA – National Sustainable Agricultrue Service, Holly Michels, EditorAmy Smith, Productionwww.attra.ncat.org/attra-pub/organicpoultry.html

IP331Slot 328, Version 121708

FAO, 2007. In: Rischkowsky, B., Pilling, D. (Eds.), The State of the World's Animal Genetic Resources for Food and Agriculture. Rome.

FAO, 2010. Breeding strategies for sustainable management of animal genetic resources: FAO Animal Production and Health Guidelines, 3. Rome.

Flori L., Gao Y., Laloë D., Lemonnier G., Leplat J.J., Teillaud A., Cossalter A.M., Laffitte J., Pinton P., de Vaureix C., Bouffaud M., Mercat M.J., Lefevre F., Oswald I.P., Bidanel J.P., Rogel-Gaillard C., 2011. Immunity Traits in Pigs: Substantial Genetic Variation and Limited Covariation. PLOS One, 6, 7.

Francis C, Lieblein G, Gliessman S, Breland TA, Creamer N, Harwood R, Salomonsson L, Helenius J, Rickerl D, Salvador R, Wiedenhoeft M, Simmons S, Allen P, Altieri M, Flora C, Poincelot R, 2003. Agroecology: the ecology of food systems. Journal of Sustainable Agriculture 22: 99-118.

François D, Bouix J, Brunel JC, Ricard E, Marcon D, Weisbecker J, Bibe B (2006) Genetic parameters of feeding traits in INRA401 sheep estimated under two different diets. In: 8th World Congress Genetics Applied Livestock Production Belo Horizonte, Brasil.

Francois D, Bouvier F, Ricard E, Bourdillon Y, Weisbecker J, Marcon D (2012) Residual feed intake divergent selection in sheep. In: 63rd Annual meeting of the European Federation of Animal Science, p 259 Bratislava, Slovakia.

Freire JPB, Dias RIM, Cunha LF, Aumaître A., 2003. The effect of genotype and dietary fibre level on the caecal bacterial enzyme activity of young piglets: digestive consequences.ANIMAL FEED SCIENCE AND TECHNOLOGY 106: 119-130.

Fric D. et Spengler Neff A., 2014. Adéquation de l'élevage aux conditions locales. JT Sélection animale en AB, Châteauroux 5-6 nov. 2014. 45-53.

Friggens NC, Ingvartsen KL, Emmans GC (2004) Prediction of body lipid change in pregnancy and lactation. J Dairy Sci 87:988-1000.

Friggens N., Berg P., Theilgaard P., Korsgaard I. R., Ingvartsen K. L., Løvendahl P., Jensen J., 2007. Breed and parity effects on energy balance profiles through lactation: Evidence of genetically driven body energy change. J. Dairy Science, 90, 5291-5305

Fulkerson W.J., Wilkins J., Dobos R.C., Hough G., Goddard M.E., Davison T. 2001. Reproductive performance in Holstein-Friesian cows in relation to genetic merit and level of feeding when grazing pasture. Animal Science, 73, 397-406

Fulkerson W.J., Davison T.M., Garcia S.C., Hough G., Goddard M.E., Dobos R., Blockey M., 2008. Holstein-Friesian dairy cows under a predominantly grazing system: Interaction between genotype and environment. J. Dairy Science 91, 826-839

Gautier, M., Faraut, T., Moazami-Goudarzi, K., Navratil, V., Foglio, M., Grohs, C., et al. (2007). Genetic and haplotypic structure in 14 European and African cattle breeds. Genet. Soc. Am. 177, 1059–1070.

Gavojdian D., Kusza S., Javor A., 2014. Implications of Genotype by Environment Interactions in Dairy Sheep Welfare. Animal Science and Biotechnologies 47:289-295.

Gilbert H. 2015. Sélection pour l'efficacité alimentaire chez le porc en croissance: opportunités et challenges. JRP, 47, 19-30.

Gliessman S.R., 2006. Animals in agroecosystems. In Agroecology: the ecology of sustainable food systems, 2nd edition, pp. 269-285, CRC Press, Boca Raton, FL, USA.

Goldberg V, Ciappesoni G, Aguilar I, 2012. Genetic parameters for nematode resistance in periparturient ewes and post-weaning lambs in Uruguayan Merino sheep. Livestock Science, 147(1–3):181-187.

Golden B.L., Garrick B.J., Benyshek L.L., 2009. Milestones in beef cattle genetic evaluation. J. Anim. Sci., 87, E3-E10.

Gonzalez-Garcia E, de Figuereido VG, Foulquie D, Jousserand E, Autran P, Camous S, Tesniere A, Bocquier F, Jouven M., 2014. Circannual body reserve dynamics and metabolic profile changes in Romane ewes grazing on rangelands. Domest Anim Endocrinol 46:37-48.

Gourdine JL, Bidanel, JP, Noblet, J, Renaudeau, D 2006.Effects of season and breed on the feeding behavior of multiparous lactating sows in a tropical humid climate. J. Anim. Sci., 84 : 469-480.

Gray G, 1997. The use of genetically resistant sheep to control nematode parasitism. Vet Parasitol, 72(3):345-366.

Gruner L, Aumont G, Getachew T, Brunel JC, Pery C, Cognie Y, Guerin, 2003. Experimental infection of Black Belly and INRA 401 straight and crossbred sheep with trichostrongyle nematode parasites. Vet Parasitol, 116(3):239-249.

Gruner L, Bouix J, Brunel JC, 2004. High genetic correlation between resistance to Haemonchus contortus and to Trichostrongylus colubriformis in INRA 401 sheep. Vet Parasitol, 119(1):51-58.

Guillou M., Guyomard H., Huyghe C., Peyraud J.L., 2013. Le projet agro-écologique : Vers des agricultures doublement performantes pour concilier compétitivité et respect de l'environnement, rapport pour le MAAF, juin 2013. http://agriculture.gouv.fr/IMG/pdf/Agroecologie_Rapport_double_performance_pour_le_MAAF_-_note_principale_et_annexes_-_VF_cle899e18.pdf

Haile-Mariam M., Carrick M.J., Goddard M.E., 2008. Genotype by Environment Interaction for Fertility, Survival, and Milk Production Traits in Australian Dairy Cattle. Journal of Dairy Science 91, 4840-4853.

Hammami H., Bormann J., M'hamdi N., Montaldo H.H., Gengler N., 2013. Evaluation of heat stress effects on production traits and somatic cell score of Holsteins in a temperate environment. J. Dairy Sci. 96, 1844-1855

Henryon M., Heegaard P. M. H., Nielsen J., Berg P., Juul-Madsen H. R., 2006a. Immunological traits have the potential to improve selection of pigs for resistance to clinical and subclinical disease. Animal Science, 8, 2597-2606

Henryon M., Sorensen P., Heegaard P. M. H., Nielsen J., Berg P., Juul-Madsen H. R., 2006b. Limited evidence that baseline levels of immunological traits provide useful selection criteria for resistance to clinical and sub-clinical disease in pigs. Proceedings of the 8th World Congress on Genetics Applied to Livestock Production, Belo Horizonte, Minas Gerais, Brazil, 13-18 August, 2006 15-09.

Hillel J, Groenen MA, Tixier-Boichard M, Korol AB, David L, et al., 2003. Biodiversity of 52 chicken populations assessed by microsatellite typing of DNA pools. Genet Sel Evol 35: 533-557.

Hoffmann I., 2011. Livestock biodiversity and sustainability. Livest. Sci. 139, 69-79.

Horan B., Mee J.F., Rath M., O'Connor P., Dillon P., 2004. The effect of strain of Holstein-Friesian cow and feed system on reproductive performance in seasonal-calving milk production systems. Animal Science, 79, 453-469

Horn M., Steinwidder A., Starz W., Pfister R., 2014. Interactions between calving season and cattle breed in a seasonal Alpine organic and low-input dairy system. Livestock Science 160, 141-150.

Hunt PW, Kijas J, Ingham A, 2013. Understanding parasitic infection in sheep to design more efficient animal selection strategies. Vet, 197(2):143-152.

Huquet B., Leclerc H., Ducrocq V., 2012. Modelling and estimation of genotype by environment interactions for production traits in French dairy cattle. Genetics Selection Evolution 44, 1-14.

Icken W., Schmutz M., 2013. LOHMANN DUAL – Layer and Broiler at the very same time. Poultry News, Lohmann Tierzucht, 2, 8-10.

IFOAM, 2014. Organic Animal Husbandry across the world: Towards an Action Plan for development and strengthening of Organic Animal Husbandry Proceedings of the IAHA-Preconference and Workshop, 12. and 15. October 2014, IFOAM 18th Organic World Congress in Istanbul, 38p.

Jacquiet P, Barillet F, Bouix J, Francois D, Moreno C, Terefe G, 2009: Larésistance génétiquedes ovins aux strongles gastro-intestinaux. Bull. Acad. Vét. France, Tome 162 - N°1.

Jarret G., Cerisuelo A., Peu P. ; Martinez J., Dourmad J.Y., 2012. Impact of pig diets with different fibre contents on the composition of excreta and their gaseous emissions and anaerobic digestion. Agr. Ecosyst. Env. 45, 6204-6209.

Jensen KK., 2012. Ethical concerns in low input breeds : observations from the first low input breeds symposium. In: Leenstra F, Jensen KK, Butler G, Baker B, Willer H et al., editors; 2012 15-16/03/2011; Wageningen. Research Institute of Organic Agriculture, Frick, Switzerland. pp. 14-19.

Jones H.E., Lewis R.M., Young M.J., Simm G., 2004. Genetic parameters for carcass composition and muscularity in sheep measured by X-ray computer tomography, ultrasound and dissection. Livest Prod Sci 90:167-179.

Kadzere C.T., Murphy M.R., Silanikove N., Maltz E., 2002. Heat stress in lactating dairy cows: a review. Livestock Production Science 77, 59-91.

Kanis E., De Greef K.H., Hiemstra A., van Arendonk J.A.M., 2005. Breeding for societally important traits in pigs. J. Anim. Sci., 83, 946-957.

Karlsson LJ, Greeff JC, 2012. Genetic aspects of sheep parasitic diseases. Vet Parasitol, 189(1):104-112.

Kearney J.F.,1M. M. Schutz, and P. J. Boettcher, 2004. Genotype × Environment Interaction for Grazing vs. Confinement.II. Health and Reproduction Traits. Dairy Sci. 87:510–516

Kennedy J., Dillon P., Delaby L., Faverdin P., Stakelum G., Rath M., 2003. Effect of Genetic Merit and Concentrate Supplementation on Grass Intake and Milk Production with Holstein Friesian Dairy Cows. J. Dairy Science, 86, 610-621

Kijlstra A., Eijck I.A.J.M., 2006. Animal health in organic livestock production systems: a review. Wageningen Journal of Life Sciences 54: 77-94.

Knap P.W., Bishop S.C., 2000. Relationships between genetic change and infectious disease in domestic livestock. In: Hill WG, Bishop SC, Mac Guirk B, Mac Kay JC, Simm G et al., editors. The challenge of genetic change in animal production. Edinburgh, UK: BSAS. pp. 65-80.

Koeck A, Miglior F, Kelton DF, Schenkel FS, 2012. Health recording in Canadian Holsteins: Data and genetic parameters. Journal of Dairy Science, 95(7):4099-4108.

Kougioumtzis A, Valergakis GE, Oikonomou G, Arsenos G, Banos G. 2014. Profile and genetic parameters of dairy cattle locomotion score and lameness across lactation. Animal, 8(1):20-27.

Lamont SJ, Pinard-van der Laan MH, Cahaner A, Van Der Poel JJ, Parmentier HK, 2003. Selection for disease resistance : direct selection on the immune response. In: Muir WM, Aggrey SE, editors. Poultry genetics, breeding and biotechnology. Wallingord: CABI. pp. 399-418.

Lawrence A.B., Wall E., 2014. Selection for 'environmental fit' from existing domesticated species. Rev. sci. tech. Off. Int. Epiz. 33, 171-179.

Lee G.J., Atkins K.D., Mortimer S.I.,1995. Variation between Merino ewes in pasture intake 2. Within-flock genetic parameters for intake and some production traits. Livest Prod Sci 41:143-150.

Lee G.J., Atkins K.D., Swan A.A., 2002. Pasture intake and digestibility by young and non-breeding adult sheep: the extent of genetic variation and relationships with productivity. Livest Prod Sci 73:185-198.

Len, N. T.; Lindberg, J. E.; Ogle, B., 2007. Digestibility and nitrogen retention of diets containing different levels of fibre in local (Mong Cai), F1 (Mong Cai x Yorkshire) and exotic (Landrace x Yorkshire) growing pigs in Vietnam JOURNAL OF ANIMAL PHYSIOLOGY AND ANIMAL NUTRITION 91: 297-303

Leroy G., Mary-Huard T., Verrier E., Danvy S., Charvolin E., Danchin-Burge C. 2013. Methods to estimate effective population size using pedigree data: Examples in dog, sheep, cattle and horse. Genetics Selection Evolution 2013, 45:1

Lewis C.R.G., Ait-Ali T., Clapperton M., Archibald A., Bishop S., 2007. Genetic perspectives on host responses to porcine reproductive and respiratory syndrome (PRRS). Viral Immunology, 20, 343-357.

Littlejohn M.D, Henty K.M., Tiplady K., Johnson T., Harland C., Lopdell T., Sherlock R.G., Li W., Lukefahr S.D., Shanks B.C., Garrick D.J., Snell R.G., Spelman R.J., Davis S.R., 2014. Functionally reciprocal mutations of the prolactin signaling pathway define hairy and slick cattle. Nature communications 5:5861.

Long N., Gianola D., Rosa G. J. M., Weigel K. A. , Avendaño S., 2008. Marker-assisted assessment of genotype by environment interaction: A case study of single nucleotide polymorphism-mortality association in broilers in two hygiene environments. J. Anim. Sci. 86: 3358-3366.

Loyau T, Berri C, Bedrani L, Metayer-Coustard S, Praud C, et al., 2013. Thermal manipulation of the embryo modifies the physiology and body composition of broiler chickens reared in floor pens without affecting breast meat processing quality. J Anim Sci 91: 3674-3685.

Loyau T, Rodenburg B, Fablet J, Tixier-Boichard M, David J, et al., 2015. Heritability of body surface temperature and genetic correlations with plumage condition and egg quality in laying hens exposed to chronic heat. 66th EAAP Annual Meeting. Warsaw, Poland.

Lunney J.K., Chen H., 2010 Genetic control of host resistance to porcine reproductive and respiratory syndrome virus (PRRSV) infection. Virus Research, 154, 161-169.

Ly J., Diéguez R.M., Martinez A., Garcia A. 1998. Digestion of a diet very high in fibre in Cuban Creole pigs. Animal Feed Science and Technology 72, 397-402.

Mandonnet N, Bachand M, Mahieu M, Arquet R, Baudron F, Abinne-Molza L, Varo H, Aumont G, 2005. Impact on productivity of peri-parturient rise in fecal egg counts in Creole goats in the humid tropics. Vet Parasitol, 134(3-4):249-259.

Mandonnet N, Ducrocq V, Arquet R, Aumont G, 2003. Mortality of Creole kids during infection with gastrointestinal strongyles: a survival analysis. J Anim Sci, 81(10):2401-2408.

Maniatis N., Pollott G.E., 2002. Maternal effects on weight and ultrasonically measured traits of lambs in a small closed Suffolk flock. Small Ruminant Res 45:235-246.

Mark T., 2004. Applied genetic evaluations for production and functional traits in dairy cattle. J. Dairy Sci. 87, 2641-2652.

Maudet C., Luikart G., Taberlet P., 2002. Genetic diversity and assignment tests among seven French cattle breeds based on microsatellite DNA analysis. Journal of Animal Science, 80, 942–950.

Maxa J, Norberg E, Berg P, Milerski M (2007) Genetic parameters for body weight, longissimus muscle depth and fat depth for Suffolk sheep in the Czech Republic. Small Ruminant Res 72:87-91.

McLaren A, Lambe NR, Brotherstone S, Conington J, Mrode R, Bunger L (2012) Investigation into the presence of genotype by environment interactions (G x E) in Scottish Blackface lamb traits. Small Ruminant Res 105:46-52.

Meale SJ, Beauchemin KA, Hristov AN, Chaves AV, McAllister TA (2014) Opportunities and challenges in using exogenous enzymes to improve ruminant production. J Anim Sci 92:427-442.

Menéndez-Buxadera A, Molina A, Arrebola F, Clemente I, Serradilla JM (2012) Genetic variation of adaptation to heat stress in two Spanish dairy goat breeds. J Anim Breed Genet 129:306-315.

Menendez-Buxadera A, Serradilla JM, Molina A (2014) Genetic variability for heat stress sensitivity in Merino de Grazalema sheep. Small Ruminant Res 121:207-214.

Mercks J.W.M., 1989. Genotype × Environment Interactions in Pig Breeding Programmes. VI. Genetic Relations between Performances in Central Test, On-farm Test and Commercial Fattening. Livestock Production Science 22, 325-339.

Mercks J.W.M., Mathur P.K., Knol E.F., 2012. New phenotypes for new breeding goals in pigs. ANIMAL 6, 535-543.

Merlot E, Vincent A, Thomas F, Meunier-Salaun M.–C., Damon M., Robert F., Dourmad J. -Y., Lebret B., Prunier A., 2012. Health and immune traits of Basque and Large White pigs housed in a conventional or enriched environment. Animal, 6, 1290-1299.

Miglior F., Muir B. L.,Van Doormaal B. J. 2005 Selection Indices in Holstein Cattle of Various Countries J. Dairy Sci. 88:1255–1263

Mignon-Grasteau S., Muley N., Bastianelli D., Gomez J., Péron A., Sellier N., Millet N., Besnard J., Hallouis J-M., Carré B., 2004. Heritability of Digestibilities and Divergent Selection for Digestion Ability in Growing Chicks Fed a Wheat Diet. Poultry Science 83:860–867.

Mignon-Grasteau S., 2007. Prise en compte des interactions entre génotype et environnement dans les productions avicoles. In: ITAVI, editor. 7èmes Journées de la Recherches Avicole. Tours. pp. 386-393.

Mignon-Grasteau S., Bourblanc M., Carré B., Dourmad J.Y., Gilbert H., Juin H., Noblet J., Phocas F., 2010. La réduction des rejets avicoles et porcins par la sélection. INRA Prod. Anim. 23, 415-426.

Mignon-Grasteau S., Narcy A., Méda B., Lessire M., Alnahhas N., Arnould C., Lalmanac A.C., Quéré P., Brossier F., Même N., Sedano L., Niepceron A., Marty H., Chanteloup N., Trotereau A., Le Vern Y., Lallier N., Brigant J.M., Callut O., Guitton E., Cousin P., Campone B., Lavillatte S., Hassouna M., Schouler C., 2013. Selection for feed efficiency as a tool to improve sustainability of poultry production. 102ème Annual meeting of the American Poultry Science Association, 22-25/07/2013, San Diego.

Monnet L.E., Bordas A., Mérat P., 1980. Gène cou nu, poids corporel et paramètres anatomiques et physiologiques des poulettes et poules adultes selon la température. Ann. Génét. Sél. Anim., 12, 241-254.

Morris C.A., Baker R. L., Hickey S. M., Johnson D. L., Cullen N. G., Wilson J. A., 1993. Evidence of genotype by environment interaction for reproductive and maternal traits in beef cattle. Animal Production 56:69-83.

Mrode R, Swanson G , 1996. Genetic and statistical properties of somatic cell count and its suitability as an indirect means of reducing the incidence of mastitis in dairy cattle. Animal Breeding Abstracts (United Kingdom).

Mulder H.A., Veerkamp R.F., Ducro B.J.,van Arendonk J.A.M., Bijma P., 2006. Optimization of Dairy Cattle Breeding Programs for Different Environments with Genotype by Environment Interaction J. Dairy Sci. 89:1740–1752

Muñoz C., Yan T., Wills D.A., Murray S., Gordon A.W., 2012. Comparison of the sulfur hexafluoride tracer and respiration chamber techniques for estimating methane emissions and correction for rectum methane output from dairy cows. J. Dairy Sci., 95, 3139-3148.

Nauta W.J, Baars T., Groen A.F., Veerkamp R.F., Roep D., 2001. Animal breeding in organic farming http://orgprints.org/4824

Nauta W.J., Veerkamp R.F., Brascamp E.W., Bovenhuis H., 2006. Genotype by environment interaction for milk production traits between organic and conventional dairy cattle production in the Netherlands. Journal of Dairy Science 89, 2729-2737.

N'Dri A.L., Sellier N., Tixier-Boichard M., Beaumont C., Mignon-Grasteau S., 2007. Genotype by environment interactions in relation to growth traits in slow growing chickens. Genet. Sel. Evol. 39: 513–528.

Nielsen H.M., Christensen L.G., Groen A.F. , 2005. Derivation of sustainable breeding goals for dairy cattle using selection index theory. J. Dairy Sci., 88, 1882-1890.

Noblet J., Gilbert H., Jaguelin-Peyraud Y., Lebrun T., 2013. Evidence of genetic variability for digestive efficiency in the growing pig fed a fibrous diet. Animal 7, 1259-1264.

Olesen I., Alfnes F., Rora M., Navrud S., Kolstad K., 2006. Economic values of fish welfare and application of market experiments. In: Kaiser M. and Lien M. (eds), Ethics and the politics of food. Wageningen Academic Publishers, The Netherlands. pp 446-451.

Olesen I., Husabo J.O., 1994. EFFECT OF USING ULTRASONIC MUSCLE DEPTH AND FAT DEPTH ON THE ACCURACY OF PREDICTED PHENOTYPIC AND GENETIC VALUES OF CARCASS TRAITS ON LIVE RAM LAMBS. Acta Agric Scand Sect A-Anim Sci 44:65-72.

Pabiou T., Nilforooshan M., Laloe D., Hjerpe E., Venot E., 2014. Across Country Genetic Parameters in Beef Cattle for Interbeef Weaning Weight Genetic Evaluation. Proceedings 10thWorld Congress of Genetics Applied to Livestock Production

Peyraud J.L., Phocas F., 2014. Dossier Phénotypage des animaux d'élevage, Avant-propos, INRA Prod. Anim. 27, 179-180.

Phocas F., 2011. L'optimisation des programmes de sélection. INRA Prod. Anim. 24, 339-354.

Phocas F., Agabriel J. , Dupont-Nivet M., Geurden I., Médale F., Mignon-Grasteau S., Gilbert H., Dourmad J-Y., 2014a. Le phénotypage de l'efficacité alimentaire et de ses composantes, une nécessité pour accroître l'efficience des productions animales. INRA Prod. Anim. 27, 235-248.

Phocas F., Bobe J., Bodin L., Charley B., Dourmad JY., Friggens N.C., Hocquette JF., Le Bail PY., Le Bihan-Duval E., Mormède P., Quéré P., Schelcher F., 2014b. Des animaux plus robustes : un enjeu majeur pour le développement durable des productions animales nécessitant l'essor du phénotypage fin et à haut débit. INRA Prod. Anim. 27, 181-194.

Phocas F., Brochard M., Larroque H., Lagriffoul G., Labatut J., Guerrier J., 2013. Etat actuel et perspectives d'évolution des objectifs de sélection chez les ruminants. 20èmes Rencontres Recherches Ruminants, Paris, France, 5-6 décembre 2013.

Phocas F., Ducrocq V., 2006. Discrete vs continuous time survival analysis of productive life of Charolais cows. 8th World Congress of Genetics Applied to Livestock Production, 13-18 august 2006, Belo Horionte, Brésil, CD-Rom, Communication n°03-13.

Pinard-van der Laan M.H., Lillehoj H.S., Zhu J.J., 2003. Genetic resistance and transmission of avian parasites. In: Muir WM, Aggrey SE, editors. Poultry genetics, breeding and biotechnology. Wallingford: CABI. pp. 329-326.

Pinares-Patiño CS, Hickey SM, Young EA, Dodds KG, MacLean S, Molano G, Sandoval E, Kjestrup H, Harland R, Hunt C, Pickering NK, McEwan JC, 2013. Heritability estimates of methane emissions from sheep. Animal 7:316-321.

Puillet L., Martin O., Sauvant D., Tichit M., 2010. An individual-based model simulating goat response variability and long term herd performance. Animal, 4, 2084-2098.

Quesnel H., 2005. Metabolic status and reproduction in the lactating sow. INRA PRODUCTIONS ANIMALES 18: 277-286

Raadsma HW, Egerton JR, Wood D, Kristo C, Nicholas FW: Disease resistance in Merino sheep. III. Genetic variation in resistance to footrot following challenge and subsequent vaccination with an homologous rDNA pilus vaccine under both induced and natural conditions. J Anim Breed Genet 1994, 111(1-6):367-390.

Ravagnolo 0., Misztal I., 2000. Genetic component of heat stress in dairy cattle, parameter estimation. J. Dairy Sci.

83:2126-2130.

Reiner G., Willems H., Pesch S., Ohlinger V.F, 2010. Variation in resistance to the Porcine Reproductive and Respiratory Syndrome Virus (PRRSV) in Pietrain and Miniature pigs. J. Anim. Breed. Genet. 127, 100-106.

Renaudeau D., Huc E., Noblet J., 2007. Acclimation to high ambient temperature in Large White and Caribbean Creole growing pigs , J. Anim. Sci. 85: 779-790.

Rupp R, Boichard D, 2003. Genetics of resistance to mastitis in dairy cattle. Veterinary research, 34(5):671-688.

Rupp R, Boichard D, Barbat A, Astruc J, Lagriffoul G, Barillet F, 2002. Selection for mastitis resistance in French dairy sheep. In: Proceedings of the 7th World Congress on Genetics Applied to Livestock Production, Montpellier, France, August, 2002 Session 9.

Rydhmer L, Gourdine JL, De Greef K and Bonneau M 2014. Evaluation of the sustainability of contrasted pig farming systems: breeding programmes. Animal, 8(12):2016-2026. doi:10.1017/S175173111400216X

Saintilan R., Mérour I.,Brossard L., Tribout T., Dourmad J. Y., Sellier P., Bidanel J., van Milgen J.,Gilbert H., 2013. Genetics of residual feed intake in growing pigs: Relationships with production traits, J. Anim. Sci. 91, 2542-2554.

Schinckel A.P., Richert B.T., Frank J.W., Kendall D.C., 1999. Genetic by environmental interactions for pig growth. Purdue University 1999 Swine Day Report.

Settar P., Yalcin S., Turkmut L., Ozkan S., Cahanar A., 1999. Season by genotype interaction related to broiler growth rate and heat tolerance. Poult Sci 78: 1353-1358.

Sidani C., Astruc JM., Baelden M., Barillet F. Bibé B., Bonnot A., Boscher MY., Bouchel D., Bouffartigue B., Bouix J., Brochard M., Dion F., Francois D., Jouhet E., Jullien E., Leymarie C., Moreno C.R., Orlianges M., Palhière I., Perret G., Raoul J., Raynal A., Tiphine L., Tribon P., 2010. The French Ovine Scrapie Plan: Results And Prospects. 9th World Congress of Genetics Applied to Livestock Production, 1-6 august 2010, Leipzig, Germany.

Strandberg E., Brotherstone S., Wall E. Coffey M.P., 2009. Genotype by environment interaction for first-lactation female fertility traits in UK dairy cattle. Journal of Dairy Science 92, 3437-3446.

Sundberg T., Rydhmer W.F., Fikse W.F., Berglund B., Strandberg E., 2010. Genotype by environment interaction of Swedish dairy cows in organic and conventional production systems. Acta Agric. Scand. Section A, 60, 65-73

Taberlet P., Valentini A., Rezaei H.R., Naderi S., Pompanon S., Negrini R. et al. 2008. Are cattle, sheep and goats endagered species? Mol. Ecol. 17, 275-284.

Tixier-Boichard M, Audiot A, Bernigaud R, Rognon X, Berthouly C, et al. , 2006. Valorisation des races anciennes de poulets : facteurs sociaux, technico-économiques, génétiques et réglementaires. Les Actes du BRG 6: 495-520.

Thomson B.C., Muir P.D., Smith N.B., 2004. Litter size, lamb survival, birth and twelve week weight in lambs born

Trou G., Delaby L., 2010. Une capacité étonnante à faire face aux variations alimentaires. Cap Elevage, 42, 6-9

Urriola P.E., Stein H.H., 2012.Comparative digestibility of energy and nutrients in fibrous feed ingredients fed to Meishan and Yorkshire pigs. JOURNAL OF ANIMAL SCIENCE 90: 802-812

Uthe J.J., Bearson S.M., Dekkers J.C., Nettleson D., Rodriguez-Torres Y., O'Connor A.M., McKean J.D., Tuggle C.K., 2011. Integrating comparative expression profiling data and association of SNPs with Salmonella shedding for improved food safety and porcine disease resistance. Animal Genetics, 42, 521-534.

van de Braak T., 2015. Introducing the ISA Dual. ISA Focus, 13, Janvier 2015.page 6

van Diemen P.M., Kreukniet M.B., Galina L., Bumstead N., Wallis T.S., 2002. Characterisation of a resource population of pigs screened for resistance to salmonellosis. Veterinary Immunology Immunopathology, 88, 183-196.

van Milgen J., Valancogne A., Dubois S., Dourmad J.Y., Sève B., Noblet J., 2008. INRAPorc: A model and decision support tool for the nutrition of growing pigs. Anim. Feed Sci. Tech., 143, 387-405.

Veerkamp, RF, Dillon, P, Kelly, E, Cromie, AR, Groen, AF, 2002. Dairy cattle breeding objectives combining yield, survival and calving interval for pasture-based systems in Ireland under different milk quota scenarios. Livestock Production Science 76, 137-151.

Verrier E., 2014. L'amélioration génétique des animaux : Aperçu historique, principes et application à des productions sous cahier des charges Journées Techniques - Sélection animale en AB - 5&6 novembre 2014 à Châteauroux, actes compilés 1-14 http://www.itab.asso.fr/downloads/jt-select-animale/actes_compiles_pdf2.pdf

Verrier E., Audiot A., Bertrand C., Chapuis H., Charvolin E., Danchin-Burge C., Danvy S., Gourdine J.L., Gaultier P., Guémené D., Laloë D., Lenoir H., Leroy G., Naves M., Patin S., Sabbagh M., 2015. Races animales françaises menacées

d'abandon pour l'agriculture, synthèse issue d'une étude commanditée et financée par le Ministère de l'Agriculture, de l'Agro-alimentaire et de la Forêt, 4p.

Vinet A., Drouilhet L., Bodin L., Mulsant P., Fabre S., Phocas F.,2012. Genetic control of multiple births in low ovulating mammalian species. Mammalian Genome 23, 727–740.

Visscher A. H., Janss L. L. G., Niewold T. A., de Greef K. H., 2002. Disease incidence and immunological traits for the selection of healthy pigs - A review. Veterinary Quarterly,24, 129-134

Wallenbeck, A., Gustafson, G., Rydhmer, L. 2009a. Sow performance and maternal behaviour in organic and conventional herds. Acta Agriculturae Scandinavica, 59, 181-191.

Wallenbeck, A., Rydhmer, L., Lundeheim, N. 2009b. GxE interactions for growth and carcass leanness: Re-ranking of boars in organic and conventional pig production. Livestock Science, 123, 154-160Wezel A., Bellon S., Doré T., Francis C., Vallod D., David C., 2009. Agroecology as a science, a movement and a practice. A review. Agronomy for Sustainable Development, 29, 503-515.

Waltner SS, McNamara JP, Hillers JK, Brown DL, 1994. Validation of indirect measures of body-fat in lactating cows. J Dairy Sci 77:2570-2579.

Wilkie B., Mallard B. 1999. Selection for high immune response: an alternative approach to animal health maintenance? Veterinary Immunology Immunopathology, 72, 31-235.

Yin T., Bapst B., Borstel U.U.V., Simianer H., König S., 2012. Genetic parameters for Gaussian and categorical traits in organic and low input dairy cattle herds based on random regression methodology. Livest. Sci., 147, 159-169.

Zerjal T., Gourichon D., Rivet B., Bordas A., 2013. Performance comparison of laying hens segregating for the frizzle gene under thermoneutral and high ambient temperatures. Poult Sci 92: 1474-1485.

Annexe 1 : Dispositifs de sélection actuels dans les filières de ruminants, de porcs et de volailles

Annexe 1a. La sélection des ruminants en France

1. Taille des dispositifs de sélection actuels dans les filières de ruminants

Source : « Dispositif Génétique : Chiffres clés Ruminants 2014 » et « Dispositif Génétique : Chiffres clés Ruminants 2013 » http://idele.fr/no_cache/recherche/publication/IdeleSolr/recommends/dispositif-genetique-chiffres-cles-ruminants-2014-1.html

Les chiffres indiqués se rapportent à l'année civile 2013 pour toutes les filières.

Le cheptel femelle

Filière	Nombre de femelles présentes en France	% de femelles en contrôle de performances	Nombre de femelles inséminées
Vaches allaitantes	4 046 000	23	672 951
Vaches laitières	3 644 128	70	3 440 375
Brebis allaitantes	3 940 000	8	161 280
Brebis laitières	1 383 000	61	644835
Chèvres	867 000	36	68 000

Si le contrôle de performance, base nécessaire à toute évaluation génétique, est très développé en filières laitières dans les espèces bovines et ovines, ce contrôle concerne moins d'un quart des vaches allaitantes et moins de 10% des brebis allaitantes. De même si l'insémination artificielle (fort vecteur de la diffusion du progrès génétique) est le mode quasi-exclusif de reproduction en vaches laitières (94%), il ne concerne que 17% des vaches allaitantes, 50% des brebis laitières et moins de 10% des autres filières de petits ruminants. Dans les races allaitantes, des taureaux contrôlés en station sont vendus comme taureaux ou béliers de monte naturelle. Toutefois, la majorité des taureaux et béliers de monte naturelle n'est pas issue d'un programme collectif de sélection.

Taille des dispositifs dans les principales races bovines en sélection en France

	Nombre de vaches présentes en 2013	Vaches contrôlées en 2013	Taureaux mis en marché / contrôlés en station en 2013
Races allaitantes			
Charolaise	1 523 000	376 098	721
Limousine	1 035 000	248 266	825
Blonde d'Aquitaine	482 000	158 351	290
Salers	205 000	50 961	98
Aubrac	170 000	60 706	134
Parthenaise	41 700	21 359	90
Rouge des Prés	39 000	18 247	83
Gasconne	18 300	8 068	87
Bazadaise	3 100	1 879	5
Races laitières			
Prim'Holstein	2 449 815	1 700 829	162
Montbéliarde	652 624	425 253	84
Normande	384 817	228 458	86
Abondance	48 384	22 955	4
Brune	27 576	17 283	9
Simmental française	25 524	16 473	6
Tarentaise	13 225	7 380	5

Taille des dispositifs de sélection dans les principales races laitières de petits ruminants

	Nombre de femelles présentes en 2013	Femelles contrôlées en 2013	Mâles contrôlés en station (testés sur descendance) en
Races ovines laitières			
Lacaune Lait	834 000	666 939	1711 (403)
Manech Tête rousse	291 000	98 036	232 (150)
Manech Tête noire	95 000	21 483	50 (27)
Basco-béarnaise	80 000	31 143	83 (49)
Corse	83 000	27 961	413 (13)
Races caprines laitières			
Alpine	475 000	175 133	(44)
Saanen	364 000	130 975	(36)
Principales races ovines allaitantes*			
Blanc du Massif central	~300 000	25 000	650
Lacaune Viande	~300 000	16 000	250
Mérinos d'Arles	~250 000	13 000	200
Mouton charolais	~250 000	9 500	175
Ile de France	~200 000	23 000	300
Causses du Lot	~100 000	30 000	100
Romane	?	22 000	350
Principales races caprines allaitantes ou Angora**			
Angora	~3 500	2 500	
Créole	~35 000	1 000	
Rove	~5 500		
Pyrénéenne	~3 000		

**Les données en races ovines allaitantes ont été communiquées par Jérôme Raoul (Idele, communication personnelle)*

***Les données en races caprines allaitantes ou Angora ont été communiquées par Daniel Allain (INRA, communication personnelle)*

2. Organisation de la sélection des ruminants en France

- **Historique**

L'organisation des programmes de sélection des ruminants a été initialement structurée en France par la mise en place d'un système mutualisé avec une forte intervention de l'Etat dans les années 1960. Les différentes structures impliquées dans le dispositif d'amélioration génétique ont été mises en place à l'origine par la Loi sur l'Elevage de décembre 1966. Cette loi avait pour but de faire progresser la qualité sanitaire et le niveau génétique des élevages français afin d'améliorer leur compétitivité face aux autres grands pays d'élevage, en particulier le Royaume-Uni à cette époque. Pour améliorer le niveau sanitaire du cheptel français et faciliter la traçabilité des animaux et des semences, un système national d'identification unique des animaux a été mis en place dès 1970. Plusieurs services ont également été proposés aux éleveurs pour réaliser l'enregistrement, le traitement et la valorisation des performances de leurs animaux dans un but de conseil technique et de sélection.

Certains services ont été mutualisés pour toutes les races : la gestion des identifiants nationaux attribuée aux Etablissements Départementaux de l'Elevage (EDE), la collecte des performances dans les élevages confiée aux organismes de contrôle de performances (OCP), la gestion des systèmes d'information confiée aux Centres Régionaux Informatiques (CRI) et au Centre de Traitement de l'Information Génétique (CTIG) et le traitement et la valorisation des performances, avec notamment le calcul des index de valeur génétique, confiés à l'INRA et à l'Institut de l'Elevage (IE) (Bougler, 1992). Les autres structures ont été organisées par race. Les Herd-books (HB) ont conservé leur rôle historique de tenue des livres généalogiques. Des schémas collectifs de sélection des taureaux d'insémination animale (IA) ont été mis en place dans les années 1960-1970 pour proposer aux éleveurs une offre de reproducteurs mâles de haute valeur génétique. La procréation et la diffusion par IA de ces taureaux étaient assurées respectivement par les unités de sélection et les centres de production de semences (CPS). Afin d'assurer une pérennité à ces structures et de proposer un service universel à tous les éleveurs français, une zone d'exclusivité territoriale pour la mise en place des semences avait été définie pour chaque CPS dans la loi de 1966. Enfin, les Unions de Promotion de la Race (UPRa), qui fédéraient les HB, les unités de sélection et les groupements d'éleveurs, ont eu pour but de promouvoir leur race, de définir les objectifs de sélection et d'apporter des conseils techniques aux éleveurs adhérents pour l'amélioration génétique de leur troupeau (Bougler, 1992).

Ce dispositif d'amélioration génétique des ruminants a été réformé par la loi d'orientation agricole (LOA) votée en décembre 2006. Dans un contexte politique plus libéral, les principaux enjeux de la réforme étaient de confier le dispositif génétique français à ses principaux acteurs, les éleveurs, tout en garantissant les intérêts à long terme de l'ensemble de la société. Les principaux objectifs de la LOA sont d'assurer une plus grande autonomie financière et décisionnelle du dispositif d'amélioration génétique vis-à-vis de l'Etat et de se conformer à la législation européenne, notamment en libéralisant le marché des semences animales et en supprimant les zones d'exclusivité territoriale des CPS, au nom du principe de libre concurrence. Afin de garantir la préservation des ressources génétiques nationales, la LOA a réaffirmé en 2006 le rôle de l'INRA pour développer des méthodes de gestion des populations (définition des objectifs de sélection, élaboration de méthodes d'évaluation génétique, optimisation des programmes de sélection) et de caractérisation de la diversité génétique.

- **Les acteurs de la sélection**

Le dispositif actuel d'amélioration génétique a maintenu un service d'intérêt général pour l'enregistrement des performances et des identifiants, la réalisation des évaluations génétiques et la diffusion du progrès génétique. Pour mutualiser une partie des coûts et assurer une qualité de service équivalente à tous les éleveurs, indépendamment de leur localisation géographique, une partie des services proposés aux éleveurs est toujours assurée par des organismes nationaux. Ces structures mutualisées concernent l'identification des animaux (EDE), le contrôle des performances réalisé par un organisme indépendant (OCP), la gestion des systèmes d'information (CRI, CTIG) et les évaluations génétiques (Institut de l'Elevage - INRA). Tous les

acteurs de la sélection, sont représentés au sein d'une interprofession, au statut juridique d'association de type loi 1901, appelée « France Génétique Elevage » (FGE).

Les UPRa ont évolué en organismes de sélection (OS) qui fédèrent, selon l'ancien principe des UPRa, les groupements d'éleveurs, le Herd-Book, les entreprises de sélection et les organismes de contrôle des performances. La création de l'OS correspond à une volonté affichée de rassembler, en une structure unique, tous les acteurs de la sélection d'une race sur un plan national pour proposer une offre cohérente de services aux éleveurs. Ces structures sont généralement des associations de type Loi 1901 mais peuvent également prendre la forme de Groupement d'Intérêt Economique (GIE) en race Charolaise, d'Unions de Coopératives agricoles en races Brune et Simmental ou encore de Sociétés d'Intérêt Collectif Agricole (SICA) en race Rouge des Prés. Les OS sont agréés par le Ministère de l'Agriculture pour la gestion d'une ou plusieurs races, et ce pour une durée de six ans (Arrêté du 7 août 2008). Selon l'arrêté du 28 décembre 2006, les missions des OS concernent l'orientation du programme d'amélioration génétique (définition des objectifs de sélection, gestion de la variabilité génétique), l'ingénierie de la morphologie raciale (choix des postes de pointage morphologique et formation des pointeurs, collecte et enregistrement des données), la promotion de la race auprès des éleveurs et des consommateurs, la tenue des livres généalogiques (certification, émission de documents individuels ou certificats généalogiques), la coordination des différents acteurs pour la création et la diffusion du progrès génétique et enfin le maintien de la variabilité génétique de la population sélectionnée. Afin de respecter les règles de la libre concurrence, tous les acteurs de l'OS doivent clairement distinguer le coût de base du service (récolte des données, fourniture de document, coût de mise en place de la semence) du coût de valorisation (conseil, génétique).

- **Les outils de la sélection**

1- Les évaluations génétiques

L'évaluation génétique des reproducteurs, en ferme ou en station, est un outil essentiel contribuant à l'efficacité des programmes de sélection des ruminants parce qu'elle permet de rationaliser le choix des meilleurs reproducteurs tant pour le choix des reproducteurs mâles (IA et MN) que le choix des femelles de renouvellement dans les élevages en contrôle de performance.

Les évaluations génétiques en ferme fournissent un critère objectif pour choisir intra-troupeau les reproducteurs nécessaires au renouvellement mais également choisir les reproducteurs nés dans d'autres troupeaux. La diversité des milieux rencontrés entre les élevages est un gage de sélectionner des reproducteurs mâles adaptés à la majorité des conditions d'élevage rencontrées en France. Cette diversité peut néanmoins poser des problèmes de précision des valeurs génétiques prédites et de comparaison du niveau génétique des différents élevages si les connexions génétiques sont faibles entre élevages, en particulier dans les races ayant une pratique très réduite de l'IA.

Les évaluations génétiques en station permettent de standardiser les modes de conduite des animaux et de mieux maîtriser les effets de milieu susceptibles d'induire de la variabilité dans les performances. Ces conditions de contrôle standards et homogènes facilitent alors la comparaison entre individus. L'enregistrement de données fiables permet de calculer des index de valeur génétique avec des précisions plus élevées. Ces stations permettent également de réaliser des mesures spécifiques qui requièrent un équipement onéreux ou qui ne pourraient pas être mises en œuvre facilement en routine dans les élevages (relevé des consommations alimentaires en station de CI, par exemple) et de tester les aptitudes fonctionnelles des mâles (fonction sexuelle et aplombs en particulier). En outre, des tests génétiques sont réalisés sur les reproducteurs entrant en station dans le but de détecter des anomalies génétiques ou d'éradiquer certains variants non souhaités dans une race. Ainsi, dans la plupart des races bovines, un test de détection du gène d'hypertrophie musculaire est réalisé avec pour objectif de contrôler sa propagation voire de l'éradiquer. En effet, ce gène est associé à une conformation musculaire supérieure des produits mais également à des difficultés de vêlage plus fréquentes. A l'inverse, la mutation d'hypermuscularité identifiée en race Texel et introgressée en race Lacaune viande est recherchée pour améliorer la conformation de cette race. En caprins laitiers, le gène codant pour la caséine αs1 est utilisé pour améliorer la qualité du lait et sa transformation en fromage. Par ailleurs, les maladies à prions des

petits ruminants ont ainsi été quasiment éradiquées en sélectionnant des béliers portant l'allèle ARR au gène *PrnP*.

- **Chez les bovins :**

Les évaluations génétiques des bovins sont réalisées séparément pour chacune des 18 races (9 allaitantes, 9 laitières) en sélection.

En races laitières, les caractères évalués sont tous basés sur les données recueillies en ferme : 5 caractères de production et de composition du lait, 20 à 30 caractères de morphologie selon les races, les comptages leucocytaires et les occurrences de mammite clinique, 3 caractères de fertilité, la longévité fonctionnelle, les facilités de naissance / de vêlage, la vitalité (=survie) à la naissance / au vêlage.

En races allaitantes, l'évaluation est essentiellement réalisée à partir des informations recueillies dans les élevages au contrôle de performance majoritairement en France mais aussi en Italie, Espagne, Belgique, Portugal et Pays-Bas. Les caractères évalués sont les suivants :- poids naissance, conditions de naissance, poids à 4 mois et 7 mois (sevrage), 19 postes de pointage et 2 notes globales de morphologie (développement musculaire et squelettique) au sevrage, croissance et morphologie post-sevrage de la génisse (entre 18 et 30 mois), fertilité de la génisse et efficacité de carrière de la vache (nombre de vêlages réalisé à l'âge de 78 mois). Pour les caractères de naissance et de croissance sont estimés des effets directs et maternels, fournissant ainsi des évaluations pour les deux types d'aptitude. En outre, une évaluation des performances d'abattage est réalisée à partir des données de la base NORMABEV pour la production de Jeunes Bovins (poids et âge d'abattage et conformation de la carcasse) ainsi que pour la production de veaux de boucheries sur support maternel laitier (poids et âge d'abattage, conformation de carcasse et couleur de viande). Par ailleurs, des évaluations annuelles sont réalisées pour la sélection des mâles reproducteurs à partir de performances de taureaux évalués sur leurs performances de croissance et morphologie post-sevrage en station d'évaluation (11 stations) ou en station de contrôle individuel avec mesure en outre de l'efficacité alimentaire (4 stations). En races Blonde d'Aquitaine et Limousine, sont en outre évaluées annuellement les qualités maternelles des taureaux destinés à l'insémination animale au travers du contrôle des performances de leurs filles en station (croissance et morphologie de la génisse à 18 mois, précocité sexuelle, fertilité, facilité de vêlage, production laitière, survie des veaux, poids de naissance, poids et morphologie à 4 mois des veaux).

- **Chez les petits ruminants :**

Les évaluations génétiques se font soit sur performances propres des mâles testés dans des stations de de contrôle individuel soit sur des femelles issues des mâles testés dans des centres de testage sur descendance.

En station de contrôle individuel, les futurs reproducteurs mâles sont testés sur leurs aptitudes propres : note de conformation, épaisseur de gras, croissance, qualité de la semence ou de la laine. L'environnement d'évaluation est généralement unique dans une race donnée afin d'avoir des estimations comparables entre les individus d'une même race. Cependant d'une race à l'autre l'environnement d'évaluation peut être très varié : par exemple, en bâtiment chez les Iles de France ou en plein air intégral chez les Solognotes.

En centre de testage sur descendance, les aptitudes maternelles ou laitières sont évaluées dans différents élevages (reflétant des environnements d'élevage variés). Les caractères évalués chez les petits ruminants laitiers sont la production et la qualité du lait, la résistance aux mammites, la conformation de la mamelle. Chez les ovins allaitants, la prolificité et les qualités maternelles sont évaluées dans certaines races.

2- **Les qualifications raciales**

Tous les index calculés en ferme et en stations sont utilisés par l'OS pour attribuer des qualifications raciales aux reproducteurs nés dans les élevages adhérents de l'OS. Ces qualifications raciales sont attribuées à toutes les catégories de reproducteurs (jeunes mâles, génisses, taureaux adultes, taureaux autorisés à l'IA) et définies par race. Elles sont des outils qui facilitent la diffusion du progrès génétique parce qu'elles

permettent aux éleveurs tant sélectionneurs que producteurs d'identifier les reproducteurs à utiliser pour l'amélioration génétique de leur troupeau.

3- La diffusion des reproducteurs sélectionnés

La diffusion des reproducteurs par IA est assurée par les CPS. Aujourd'hui, selon la législation européenne, tout reproducteur de race allaitante possédant un index de valeur génétique prédit avec « *une méthode d'évaluation sans biais* » peut être utilisé par IA sous couvert de certaines garanties sanitaires de la semence ; pour un taureau laitier une norme minimale de précision des index de production laitière (CD >= 0,5) est exigée en plus.

La diffusion des reproducteurs de MN s'effectue de manière contractuelle privative entre un éleveur sélectionneur et un acheteur. Dans les filières allaitantes où la monte naturelle reste le mode de reproduction prépondérant, les éleveurs sélectionneurs sont plus ou moins spécialisés dans la vente de reproducteurs de MN et/ou de mâles destinés à l'IA. Les mâles reproducteurs issus de ces élevages sont vendus soit directement après le sevrage, soit après une étape de contrôle de leurs performances individuelles de croissance et de morphologie en station d'évaluation.

Annexe 1b. La sélection porcine en France

1. Taille des dispositifs de sélection actuels dans la filière porcine

Source : « enquête sur l'activité 2014 des OSP agréés – Agence de la sélection porcine »

Les races locales

Race	Truies présentes	Truies en sélection	Verrats présents	Verrats utilisés	Portées
Basque	408	341	50	38	554
Porc de Bayeux	100	30	25	15	40
Cul noir Limousin	132	74	34	18	106
Gascon	1 310	891	150	122	1 419
Nustrale	676	313	72	33	335
Porc Blanc de l'Ouest	90	60	31	21	84

Dans les populations des races en conservation, les truies présentes représentent le cheptel au 31/12/14, les truies en sélection sont celles qui ont produit au moins une portée en 2014.

Les populations en sélection

	Effectifs au 31/12/14
Duroc	**151**
Landrace Français	**1 441**
Large White lignée femelle	**2 525**
Large White lignée mâle	**236**
Piétrain	**1 479**
Autres P.A.S. femelles	**2 535**
Autres P.A.S. mâles	**1 609**

Les effectifs représentent le nombre de truies au 31/12/2014 dans chaque population. Les effectifs « autres PAS femelles » et « autres PAS males » sont les cumuls des truies détenues de manière autonomes par plusieurs OSP. On entend par population autonome, une population animale sélectionnée par un seul OSP. Les autres populations représentent la sélection collective en France.

2. Organisation de la production et de la sélection porcine

L'élevage porcin en France, comme dans la plupart des pays du monde, est très majoritairement basée sur un modèle de production standard. Toutefois, depuis quelques années on assiste à une certaine diversification des modes d'élevage, associée à une démarcation des produits et un affichage plus marqué de l'origine géographique. Les systèmes de production sous label concernent principalement la charcuterie sous IGP (15%) produite à partir de systèmes conventionnels et pour une plus faible part le Label Rouge (3,5%) et

le porc Bio (0,4%) produits dans le cas d'itinéraires d'élevage spécifiques. En parallèle de cette différentiation par des labels officiels, on note également un fort développement de la différentiation par des marques commerciales.

L'élevage de porc utilise massivement le croisement entre races. Sur le plan génétique cela permet de privilégier les critères de reproduction dans les lignées femelles (ou maternelles) et les critères de croissance et de qualité des carcasses et des viandes dans les lignées mâles (ou paternelles). Ceci permet également de bénéficier des effets d'hétérosis aussi bien sur la reproduction que sur la croissance. Pour les lignées mâles la sélection a dans un premier temps surtout visé à améliorer la composition corporelle, la vitesse de croissance et l'efficacité alimentaire, puis plus récemment la qualité de la viande. Dans les lignées femelles on sélectionne également pour les performances de croissance et de composition corporelle, mais c'est sur la prolificité que l'effort de sélection a été le plus soutenu. De nombreux autres critères de sélection liés à la "fitness" peuvent également utilisés de manière régulière lors du choix des reproducteurs mais ne sont pas explicitement mentionnées dans les objectifs de sélection : qualité des aplombs, fertilité, anomalies, comportement maternel…

Figure 1. Importance relative des différents critères de sélection dans une race femelle (Large White, Bidanel, 2015) et mâle (Piétrain, Bidanel, 2015)

Ce type de schéma de sélection est qualifié de pyramidal (Figure 2), avec un étage de sélection, qui concernent un faible nombre d'animaux, avec des élevages de sélection où sont élevés des animaux de races pures dans des conditions sanitaires très strictes. L'étage de multiplication concerne un plus grand nombre d'élevage, dont le but est d'effectué les premiers croisements et puis fournissent les animaux aux élevages du dernier étage, l'élevage de production.

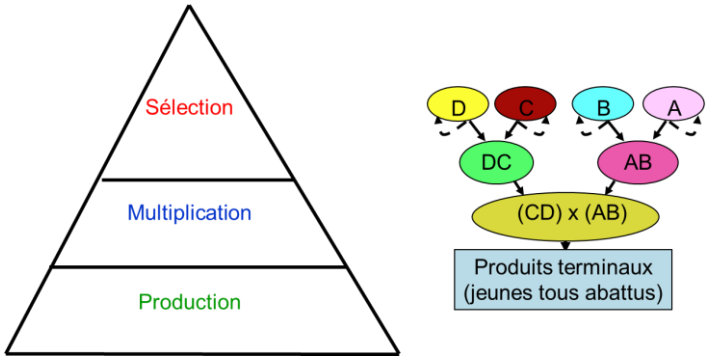


Figure 2 : représentation schématique d'un schéma de sélection pyramidal

La sélection porcine française est aujourd'hui conduite par un petit nombre de structures de taille modeste et qui sont en concurrence avec quelques firmes multinationales de taille beaucoup plus importante. Ces structures nationales, issues du monde coopératif, ont encore comme vocation principale de répondre à la demande des groupements de producteurs au niveau national (plus particulièrement dans le grand ouest où

se concentre la majorité de l'élevage porcin), avec toutefois ces dernières années un développement significatif de leur activité à l'international. Les objectifs de sélection de ces lignées ainsi que les critères utilisés pour construire les index de sélection sont connus pour les races dites collectives, partagées entre différents organismes de sélection. En revanche, ces informations sont parfois inconnues pour les autres races et lignées.

L'une des conséquences de la standardisation de la production est que la sélection n'est réalisée de manière efficace que dans un nombre limité de races, en France pour les lignées paternelles (principalement le Piétrain et des variétés de Piétrain et dans une moindre mesure le Large-White mâle et le Duroc) et à environ trois pour les lignées maternelles (Large White et Landrace, majoritaires, et des variétés "synthétiques" issues de croisements avec des races chinoises). Les systèmes de production alternatifs sous label ou en agriculture biologique utilisent généralement les mêmes races et les mêmes types de croisements que la production conventionnelle. On note toutefois une utilisation plus fréquente de la race Duroc dans les filières label rouge qui pour certaines imposent l'absence de gènes RN^- et Hal.

Quelques filières locales, largement minoritaires en terme de production nationale bien que significatives sur certains territoires, s'appuient sur l'élevage d'animaux de races locales en lien avec des systèmes de production spécifiques généralement associés à des produits typiques à forte valeur ajoutée. Avec six races locales préservée la France est le principal "réservoir" de diversité génétique porcine au niveau Européen (Laval et al., 2000). Ces races se caractérisent généralement par une faible prolificité, une forte adiposité et une faible croissance, mais une qualité de viande très supérieure. Contrairement à la production conventionnelle ces élevages sont conduits en races pures assurant à la fois la production et la préservation de la race. Sur le plan génétique l'objectif principal dans ces lignées est surtout de contrôler la consanguinité. Il n'existe en général pas de schéma de sélection au sens strict, les reproducteurs devant surtout correspondre aux standards de la race.

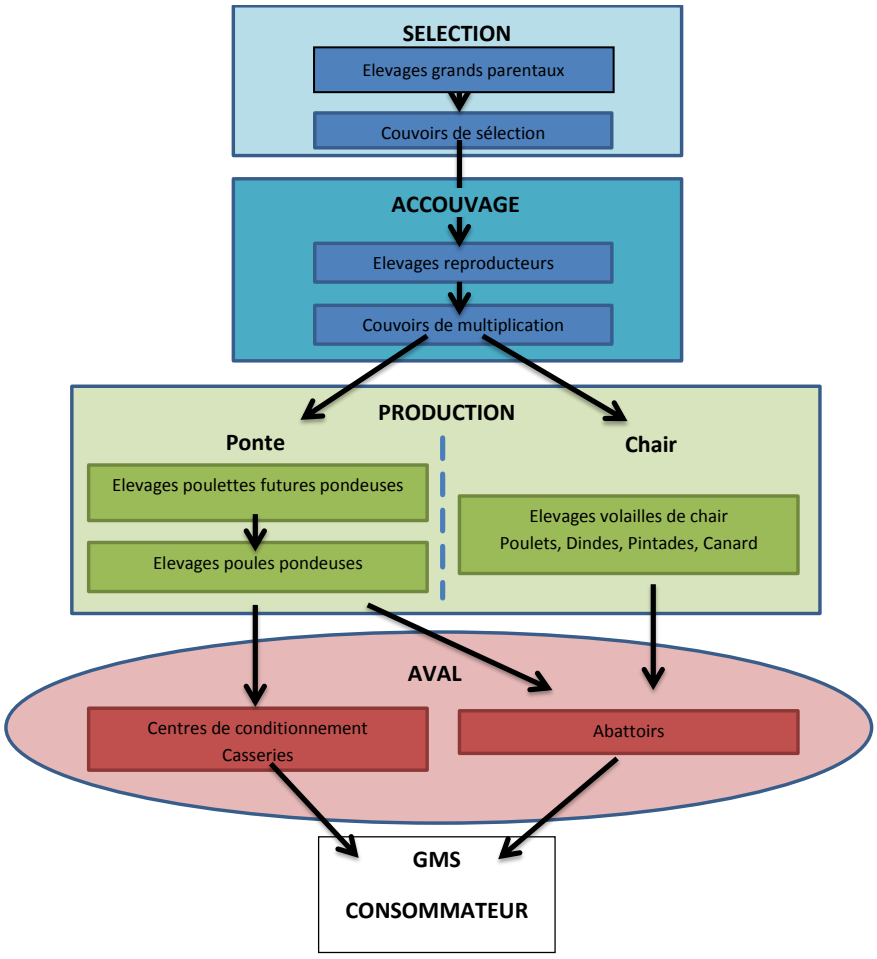
L'agence de sélection porcine recensait en 2014 que 37 populations animales sélectionnées (10 races collectives (dont 6 races locales en conservation), 17 variétés de race, et 15 lignées composites) étaient sélectionnées ou conservées sur le territoire français.

Le schéma de sélection des races conventionnelles a été particulièrement efficace en termes de gain de productivité pour les éleveurs. Il a également permis de fortement réduire l'adiposité des carcasses et le coût de production, répondant ainsi à la demande des consommateurs. Pour ces prochaines années, si on se réfère aux attentes des éleveurs conventionnels, la sélection devrait s'orienter vers une prise en compte plus importante de l'efficacité alimentaire des animaux en croissance, des qualités maternelles des truies et plus globalement de la santé et de la robustesse des animaux, sans que ces différents critères ne soient toujours clairement définis. L'objectif est de continuer à améliorer la productivité de l'élevage en réduisant les intrants alimentaires (l'aliment représente près des 2/3 du coût de production), vétérinaires (réduction de l'utilisation des antibiotiques et amélioration de l'image de la production) et de main-d'œuvre. Cette orientation, bien que relevant davantage de pilier économique de la durabilité, contribue également à l'amélioration de la durabilité environnementale (réduction des rejets des animaux et des émissions des élevages) et sociétale (bien-être des animaux, acceptabilité de l'élevage, attractivité du métier, travail…). Toutefois comme le montre une étude récente menée dans plusieurs pays européens sur la durabilité de différents systèmes de production porcine, incluant des élevages traditionnels, biologiques, conventionnels et conventionnels adaptés (Bonneau et al. 2014), il peut exister des antagonismes entre les différents piliers de la durabilité, par exemple le bien-être animal et l'environnement et l'économie.

Annexe 1c. Structure de la filière avicole

Organisation de la filière avicole

Les éleveurs de volailles au niveau de la production ont la particularité par rapport aux autres filières animales de ne pas effectuer la reproduction au sein de leur exploitation, essentiellement du fait de la rapidité du cycle de reproduction des volailles et des exigences sanitaires nécessaires. En aviculture, chaque stade d'élevage (sélection, reproduction, accouvage, élevage) correspond à un acteur différent, qui peut être un agriculteur, ou une entreprise. Les animaux sont sélectionnés par lignée pure ou race pure lors de l'élevage des grands parentaux par des entreprises de sélection. Les reproducteurs issus de lignées ou races pures ou de croisements préalables entre lignées sont commercialisés au niveau du maillon accouvage. Les accouveurs ont en charge la multiplication des animaux (poules et coqs reproducteurs issus très majoritairement de lignées différentes), puis ils ont la charge de l'accouvage des œufs fécondés (ou œufs à couver) et la fourniture des poussins éclos au maillon production. Le groupement de producteurs intervient sur les relations entre accouveur et éleveurs pour fournir à ces deniers, pour chaque nouvelle bande d'élevage, les animaux correspondants à leur système d'élevage (poussins d'un jour pour la filière chair et poules prêtes à pondre pour la filière œuf, souche variant selon le mode d'élevage).

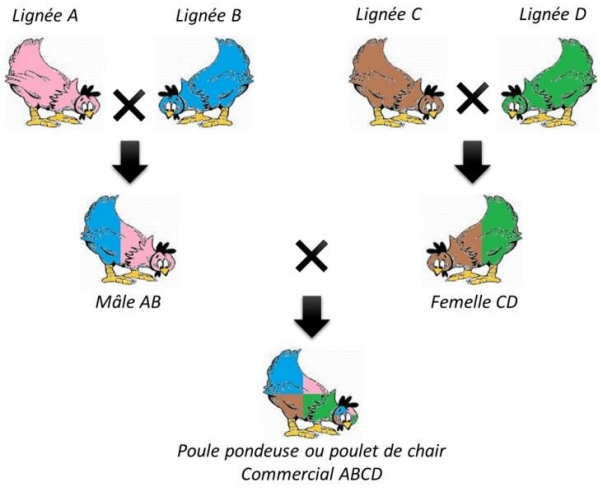


De la sélection à la production, la filière est structurée en 3 étages :

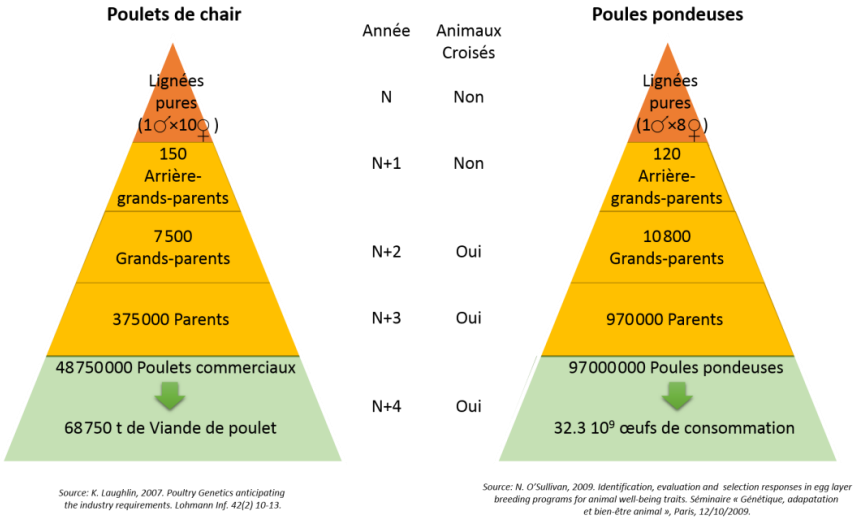
- Le premier étage, dit étage de sélection, comprend des animaux de lignées pures, qui sont généralement les arrière-arrière-grands-parents, arrière-grands-parents ou les grands-parents des animaux utilisés en production. Ces animaux sont pedigree, phénotypés et aujourd'hui de plus en plus fréquemment génotypés. Ce sont ces animaux qui sont sélectionnés sur un large nombre de critères afin de répondre aux objectifs complexes de sélection. Les lignées pures destinées à produire les pères des animaux commerciaux sont

principalement sélectionnées sur les critères de croissance, composition corporelle, efficacité alimentaire, alors que celles destinées à produire les futures mères des produits commerciaux sont sélectionnées sur leurs capacités de reproduction.

- Les étages de multiplication.
  - En premier lieu, les arrière-grands-parents sont reproduits entre eux afin d'augmenter le nombre de reproducteurs (grands-parents des animaux commerciaux).
  - Dans l'étape suivante, les grands-parents de 2 lignées différentes sont accouplés afin de produire les parents des animaux commerciaux. Les parents de 2 croisements différents seront ensuite accouplés afin de produire les animaux commerciaux. Ces étapes de croisement permettent de multiplier de nouveau le nombre de reproducteurs et donc de poussins terminaux, mais également de combiner les améliorations accumulées dans les lignées pures, de bénéficier de l'effet d'hétérosis.
- L'étage de production : on y élève les animaux croisés destinés à produire œufs et viande, mais pas à la reproduction. Dans les productions dites « standard », les animaux sont issus du croisement de 4 lignées pures. Dans les productions à croissance lente de type « label rouge », les animaux sont issus du croisement de 3 lignées pures, la mère du produit commercial étant issue d'un croisement entre 2 lignées pures alors que le père du produit commercial est issu d'une lignée pure. Le schéma ci-dessous illustre le croisement « 4 voies » utilisé pour la production de poulets standards.



Du fait de la très forte prolificité des espèces avicoles, cette structuration en étages permet de produire un grand nombre d'animaux commerciaux avec un très faible nombre de reproducteurs en haut de la pyramide (cf. schémas ci-dessous pour la production de poulet de chair ou d'œufs de consommation).



Source: K. Laughlin, 2007. Poultry Genetics anticipating the industry requirements. Lohmann Inf. 42(2) 10-13.

Source: N. O'Sullivan, 2009. Identification, evaluation and selection responses in egg layer breeding programs for animal well-being traits. Séminaire « Génétique, adaptation et bien-être animal », Paris, 12/10/2009.

Spécificités de la sélection en aviculture

A l'opposé de la plupart des autres espèces de rente, la sélection avicole est quasi-exclusivement réalisée au sein de quelques entreprises privées de dimension internationales. Issues des fusions successives d'entreprises de plus petite taille, elles sont aujourd'hui très peu nombreuses (moins d'une dizaine en poulet de chair, moins de 5 en poules pondeuses). Dans ce contexte de sélection avicole internationale, la France a un positionnement original avec plusieurs sélectionneurs sur des marchés de niche spécifique et l'implication du SYSAAF qui appuie la gestion de plus de 130 lignées annuellement chez ces sélectionneurs.

Le tableau ci-dessous reprend les principaux sélectionneurs avicoles et leurs filiales.

Groupe	Poulet croissance rapide	Poulet croissance lente	Poule pondeuse	Dinde	Canard/oie	Autres*
Hendrix Genetics			ISA, Babcock, Shaver, de Kalb, Hisex, Bovans	Hybrid Turkeys CARINGA (croissance lente ; race Rouge des Ardennes)		
Eric Wesjohann	Ross, Arbor Acres, Indian River, Aviagen broiler	Rower Ranger	HyLine, Lohmann, H&N	Aviagen Turkey Hockenhull turkeys		
Cobb-Vantress	Cobb, Heritage Breeders	Cobb-SASSO				
Groupe Grimaud	Hubbard	Hubbard	Novogen		Grimaud Frères Sélection (oie, canard de barbarie, canard pékin)	Galor (pintade) Grimaud Frères Sélection (pigeon)
SASSO		SASSO, Cobb-SASSO				
Bréheret					Canard pékin Canard de Barbarie	
CSVB		races locales Poulet de Bresse	Races locales			
Gauguet		Gauguet	Races locales			
Orvia					Gourmaud Sélection (oie, canard de barbarie, canard pékin)	
Sherry-Valley					Canard pékin (leader mondial)	
Mapple Leaf					Canard pékin	

**NB : deux sélectionneurs, Cailor et LDC, travaillent sur la caille spécifiquement et ne sont pas mentionnés dans le tableau.*

Annexe 2 : Pourquoi prendre en compte la variabilité génétique chez les races d'élevage ?

Extrait de la thèse de C. Danchin-Burge (2012) : « Gestion durable de la variabilité génétique des ruminants domestiques : approches in situ et ex situ », Thèse de doctorat AgroParisTech, 176 p.

D'après la théorie de la génétique quantitative, pour un caractère donné, le progrès génétique (Δ*G*) attendu sous l'effet de la sélection est fonction des paramètres suivants :

$E(\Delta G) = \frac{i\rho\sigma_A}{t}$ où *i* est l'intensité de sélection ; *ρ, la* précision du critère de sélection ; σ_A, l'écart-type génétique additif du caractère sélectionné ; *t,* l'intervalle de génération.

Le progrès génétique dépend donc strictement de la variabilité génétique du caractère sélectionné. Gérer la variabilité génétique d'une population en sélection, c'est préserver son potentiel de progrès génétiques (à la fois pour les caractères sélectionnés aujourd'hui et pour ceux que l'on souhaiterait sélectionner demain). Pour les races menacées, en dehors des aspects patrimoniaux, du point de vue génétique, il s'agit, d'une part, de maintenir le potentiel d'adaptation de ces populations et, d'autre part, de conserver des ressources génétiques pour d'éventuels besoins futurs.

La gestion par race des animaux d'élevage conduit à l'accouplement d'animaux semblables, en se référant en général à un standard, du moins en France et dans la plupart des pays industrialisés. Or, l'effectif de chaque race étant limité, on aboutit forcément à l'accouplement entre animaux apparentés, et donc à la procréation d'animaux dits consanguins dans la population. Ce phénomène est plus ou moins accentué en fonction du nombre de reproducteurs utilisés dans la race, du déséquilibre du sexe- ratio, et des choix réalisés pour les accouplements.

On rappelle que la consanguinité est le résultat de l'accouplement entre deux animaux apparentés, et correspond à la probabilité que les deux allèles qu'un individu porte à un locus donné soient identiques par descendance, c'est-à-dire proviennent par duplication mendélienne d'un même allèle ancestral (Malécot, 1948). Or, que ce soit pour les races en conservation ou les races à forte intensité de sélection, le nombre de reproducteurs utilisé est faible. Dans une population fermée, on assiste inéluctablement à une diminution de la variabilité génétique, sous les effets de la dérive génétique et de l'augmentation de la consanguinité, qui sont les deux facettes d'un même phénomène.

- La dérive génétique est due au fait que, d'une génération à l'autre le choix d'un nombre limité de reproducteurs représente un échantillonnage des gènes. Cela provoque des fluctuations aléatoires des fréquences alléliques, avec d'autant plus d'ampleur que le nombre de reproducteurs est faible. A plus ou moins long terme, en un locus donné, on aboutit à la fixation d'un allèle et à la perte de tous les autres. Du fait que les fréquences alléliques vont vers les extrêmes, la proportion d'animaux homozygotes augmente à un locus donné.
- L'augmentation de la consanguinité est due à l'instauration progressive d'une parenté entre reproducteurs au sein de la population. Cet accroissement de la consanguinité s'accompagne d'une augmentation de la proportion d'homozygotes. Soit *p*, la fréquence d'un allèle a, et *F* le coefficient de consanguinité moyen d'une population panmictique, l'espérance de la fréquence des homozygotes aa vaut alors : E[*f*(aa)] = p^2 + *Fp*(1-*p*). Cela représente un excès [égal à *Fp*(1-*p*)] par rapport aux proportions de Hardy-Weinberg.

Dans une population panmictique, l'accroissement de la consanguinité et l'érosion de la variabilité génétique s'effectuent au même rythme. Ce rythme dépend de plusieurs paramètres, dont les effectifs de reproducteurs des deux sexes et la variabilité de leurs tailles de descendance. On voit là clairement pourquoi les races à petits effectifs sont particulièrement concernées par la nécessité de la prise en compte de la variabilité génétique dans leur gestion. Les races en sélection sont également concernées, à plusieurs titres. Le choix de l'IA comme moyen privilégié de diffusion, en particulier pour les filières laitières, et surtout chez les bovins, implique une forte diminution du nombre de reproducteurs mâles, une augmentation de la taille moyenne de descendance de ces derniers et la possibilité d'un accroissement substantiel de la variance des

tailles de descendance entre mâles. Enfin, le choix du BLUP (Best Linear Unbiased Predictor) appliqué à un modèle animal comme méthode d'évaluation des caractères sélectionnés augmente la probabilité de sélection d'animaux apparentés (Verrier *et al.*, 1993).

On sait déjà depuis plusieurs siècles que la consanguinité a un effet délétère sur la viabilité d'une race, puisque Darwin déjà (1868) le décrivait. Ce phénomène appelé dépression de consanguinité peut être défini comme la réduction de la valeur moyenne d'un caractère du à la consanguinité. Il concerne les caractères quantitatifs de manière générale mais, d'après Falconer (1981), la dépression affecte principalement les caractères faiblement héritables (vigueur, adaptation, reproduction), ce qui est corroboré par les éléments que l'on retrouve dans la bibliographie. Les raisons de la dépression de consanguinité ont été analysées par exemple par Kristensen *et al.* (2010), qui les explique par deux mécanismes principaux mais dont il est difficile de déterminer les influences respectives : la surdominance, avec un avantage sélectif pour les hétérozygotes ; et la dominance partielle, avec un désavantage sélectif pour les homozygotes à un allèle donné (pour un locus donné).

Enfin, certains caractères sont affectés par la dépression de consanguinité à la fois de manière directe (consanguinité de l'individu) et indirecte (consanguinité de la mère) : c'est le cas par exemple d'un caractère comme la fertilité, la taille de portée (pour les espèces concernées), le poids à la naissance ou des caractères de croissance dépendant de la valeur laitière de la mère.
L'estimation des effets de la dépression de consanguinité est un thème de recherche qui est étudié depuis plusieurs décennies, mais qui reste à explorer. On trouve de nombreuses références à ce sujet. Un travail bibliographique réalisé par un étudiant d'AgroParisTech (A. Watine) a permis de compiler les données des effets estimés de la dépression de consanguinité pour des caractères de reproduction. Les résultats sont présentés dans le Tableau 1.

Tableau 1 : Effet de la consanguinité (F) sur les caractères de reproduction en bovin

Effet de 1% de F sur :	Alentajana (bovin allaitant)	Prim'Holstein	Jersiaise	Ayrshire, Guernesey, Brune
Age à la 1ère insémination en jours	+0,22	+0,35	+0,59	*NS*
Intervalle vêlage -vêlage en jours	+0,26	+0,31	*NS (+0,32)*	*NS*
Taux de non retour génisse en %	_	-0,14	*NS (+0,008)*	*NS*
Taux de non retour vache en %	_	-0,04	*NS (-0,126)*	*NS*
Facilité de vêlage en %	_	-0,058	*NS (+0,044)*	*NS*

D'après Carolino & Gama 2008, Miglior et al. 1992

Un autre effet néfaste de la consanguinité est l'accroissement de la proportion d'animaux atteints par une anomalie génétique à déterminisme simple[2], sous le simple effet de l'augmentation du taux d'animaux homozygotes. En effet, tout individu est porteur de quelques mutations (récessives) délétères. On estime par exemple ce nombre à 4 ou 5 chez l'homme. L'incidence des anomalies génétiques est donc (très) faible en situation normale car il est très peu probable que deux individus porteurs de la même mutation s'unissent. Deux individus apparentés ayant de plus fortes probabilités que deux individus non apparentés d'être porteurs des mêmes allèles, le risque d'être homozygote muté s'accroît chez un produit consanguin, et donc le risque d'être atteint par une anomalie du type décrit plus haut. Un peu moins de 400 anomalies

[2] On appellera ici anomalie génétique toute modification du patrimoine génétique se traduisant par modification notable valeur économique (des performances) individu, de sa descendance voire de ses conjoint(e)s (Ducos *et al.*, 2002)

génétiques ont été décrites chez les bovins, ce qui est très loin des connaissances atteintes chez l'homme (environ 2000). Le déterminisme génétique le plus fréquent chez l'espèce bovine est autosomique récessif (60% des cas), c'est à dire que les individus atteints sont homozygotes de la mutation. De façon pratique, cela signifie que les porteurs sains sont beaucoup plus nombreux que les animaux atteints. D'autres mécanismes héréditaires existent (comme une transmission autosomique dominante pour 20% des cas, ou une pénétrance incomplète etc.), que nous ne détaillerons pas ici. Depuis les années 1990, la filière bovine laitière est ponctuée par des crises dues à l'augmentation de la fréquence d'anomalies, principalement en race Prim'Holstein. L'ancêtre majeur porteur de la mutation a pu être identifié chaque fois (cf.

Tableau 2).

Tableau 2 : crises majeures dues à des anomalies génétiques en race Prim'Holstein, et ancêtre majeur responsable de la diffusion de la maladie

Anomalie	**Date de la crise**	**Ancêtre vecteur principal**
Bovine Leucocyte Adhesion Deficiency (BLAD)	1992-1995	Osborndale Ivanhoe
Bulldog	1999-2001	Igale
*Complex Vertebral Malformation (*CVM)	2000-2003	Bell
Brachyspina	2006-actuellement	Sweet Haven Tradition

En France, la politique d'éradication de ces maladies a été similaire pour tous ces cas : recherche d'un test génétique permettant de détecter les animaux porteurs, puis test des taureaux d'IA, accouplements programmés pour limiter la procréation de taureaux porteurs, et interdiction progressive d'utiliser les taureaux porteurs dans le programme racial. Par exemple, pour l'anomalie Brachyspina, il a été décidé début 2012 de tester tous les taureaux Prim'Holstein et d'interdire l'utilisation des taureaux porteurs à partir de juin 2013.

Pour contrer les effets de la dérive et de la consanguinité, il est donc nécessaire, quelle que soit la taille de la population, de mettre en place des politiques de gestion de la variabilité génétique intra-race, ce que nous allons détailler par la suite. Une autre solution, sur laquelle nous ne reviendrons pas, est d'opter pour la migration de gènes extérieurs. Suivant les races, il est diversement apprécié par les éleveurs d'avoir recours à des reproducteurs de races extérieures, afin de faire progresser la race pour un caractère particulier (par exemple avec l'introduction de gènes Red Holstein en Montbéliarde dans les années 90 pour améliorer la production laitière), ou pour améliorer la diversité génétique de la race, dans le cas des races locales (par exemple, avec l'utilisation de la race Télémark chez la race bovine Vosgienne). En général, les gestionnaires de races de ruminants à petits effectifs refusent l'utilisation d'autres races pour améliorer leur diversité génétique. En revanche, pour beaucoup d'entre elles, au départ des programmes de conservation, la situation étant souvent très dégradée du point de vue démographique, les éleveurs ont pu avoir eu recours au croisement d'absorption ou à l'utilisation d'animaux croisés afin d'augmenter plus rapidement les effectifs. Par exemple, pour une race comme la chèvre du Massif Central ou la chèvre Provençale, le faible nombre de chèvres pures au démarrage ne permettait pas d'installer de nouveaux éleveurs. Ces derniers se sont donc installés avec quelques chevrettes de races locales et le reste du troupeau en race Alpine, puis ont procédé à un croisement d'absorption à partir de boucs de races locales.

Annexe 3 : Aptitudes animales

Listes d'aptitudes / espèce Groupes d'aptitudes animales	Ruminants	Porcins	Volailles
SANTE : résistance aux maladies et accidents de santé	Résistance aux boiteries, aux mammites, aux maladies métaboliques, au parasitisme…	Résistance aux boiteries, aux infections virales,…	Résistance aux boiteries, aux bactéries (salmonelles), parasites, virus, problèmes digestifs, …
REPRODUCTION : capacité naturelle à se reproduire	Bonne fertilité femelle, expressivité des chaleurs, facilitées de mise-bas, prolificité (ovin)…	Bonne fertilité femelle, expressivité des chaleurs, facilitées de mise-bas, prolificité…	Caractères de reproduction, fertilité, taux de ponte, taux d'éclosion, …
RUSTICITE et résilience	Valorisation de ressources fourragères médiocres et/ou changeantes, résistance à la rudesse du climat, mobilisation des réserves corporelles…	Valorisation de ressources fourragères médiocres et/ou changeantes, mobilisation des réserves corporelles…	Changements climatiques : adaptation à la chaleur extrême, au froid, aux variations de températures, Capacité à consommer des céréales ou protéines rustiques, à s'adapter aux variations de composition, de présentation de l'aliment, …
EFFICIENCE et PRODUCTION	Efficience alimentaire, longévité de carrière, croissance et poids-âge-type, production laitière…	Efficience alimentaire, longévité de carrière, croissance, qualités maternelles, engraissement …	Poids final, croissance, indice de consommation, vitesse de croissance, composition corporelle, vie productive en pondeuses, autres critères de production, …
QUAL. PRODUITS	Tendreté, gustatif, qualité sanitaire, qualités intrinsèques, fromageabilité…	Tendreté, qualités gustatives, …	Amélioration de la qualité nutritionnelle et diététique (faible teneur en gras), qualité organoleptique des produits, qualité sanitaire des produits…
REJETS dans l'environnement	Réduction des gaz à effets de serre, des rejets azotés…	Réduction de rejets azotés, et de gaz à effets de serre…	Réduction des rejets azotés, des rejets de phosphore, des gaz à effets de serre, …
FACILITES D'ELEVAGE : Travail, comportement et bien-être animal	Docilité, sans corne, autonomie comportementale…	Docilité, comportement, autonomie comportementale…	Sans agressivité, qualité des aplombs, utilisation du parcours, …
ORIGINE : Autres caractéristiques liées à l'origine de l'animal	Réduction de la consanguinité, originalité/population, race locale…	Originalité du croisement/population, race locale…	Réduction de la consanguinité, maintien de la biodiversité des races, …

Annexe 4 : Méthodologie des enquêtes auprès d'éleveurs, organisations et acteurs étrangers

SAVOIRS ET PRATIQUES D'ELEVEURS EN SYSTÈMES AGROÉCOLOGIQUES

AVERTISSEMENT :

Les enquêtes réalisées n'ont pas vocation à être représentatives des éleveurs français ni même des éleveurs inscrits dans des démarches agroécologiques. Elles visent à capter une diversité d'avis, de ressentis, de savoirs et pratiques de terrain afin de faire émerger des pistes d'actions.

Introduction

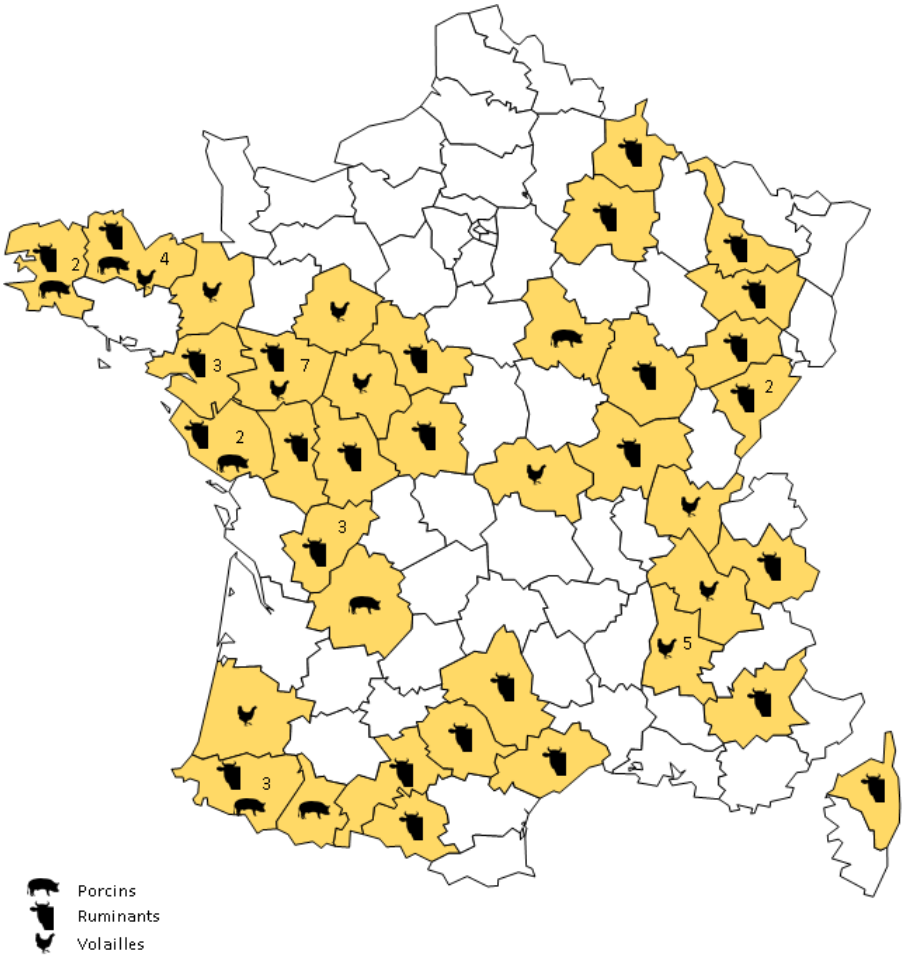
Dans le cadre de l'étude « SSP-DGPAAT-2014-11 : Outils et leviers pour favoriser le développement d'une génétique animale adaptée aux enjeux de l'agroécologie », une exigence dans la commande du Ministère de l'Agriculture, de l'Agro-alimentaire et de la Forêt (MAAF) est le recours à des enquêtes auprès d'éleveurs ou organisations engagés dans des démarches de type agroécologique.

Une enquête téléphonique a donc été élaborée et validée courant janvier-février puis réalisée courant mars-avril 2015. Ses objectifs opérationnels sont :

- Recenser, d'après les éleveurs, groupements de producteurs, interprofessions, acteurs de la génétique, les aptitudes de l'animal ou les aptitudes du troupeau qui permettraient de poursuivre la prise en compte de l'agroécologie dans les élevages ;
- Les hiérarchiser selon leur importance de prise en compte pour demain (par rapport à l'agroécologie) ;
- Identifier des pistes d'actions, des marges de manœuvre, des difficultés ressenties sur les critères qui relèvent de la sélection animale ainsi que sur les outils et dispositifs dans lesquels ils sont/pourraient être mobilisés.

En parallèle une enquête web a été déployée auprès de contacts étrangers afin de recueillir le regard et les références produites en dehors de France et de les confronter avec ce travail.

Figure 1 : Répartition géographique des élevages enquêtés



Légende : les départements concernés par des élevages enquêtés sont colorés en orange. Le nombre d'enquêtes réalisées est inscrit sauf lorsqu'il n'y a qu'une enquête.

Méthode

Cible et échantillonnage

L'enquête auprès des éleveurs devait porter sur des responsables d'exploitations professionnelles dont les pratiques d'élevage ou de conduite de l'exploitation s'inscrivent dans les principes de l'agroécologie. Une certaine diversité était par ailleurs recherchée sur les tailles de structures, filières de production et races. Muni de ces caractéristiques, nous avons sollicité un panel d'organisations d'élevage œuvrant dans des filières inscrites dans les principes de l'Agrobiologie (Agriculture biologique, Agriculture durable (RAD, CIVAM), races rustiques, groupes de développement …). Ces organisations, réparties sur tout le territoire (cf Figure 1) et couvrant l'ensemble des filières incluses dans l'étude, nous ont fourni des noms et coordonnées d'éleveurs à enquêter dont la plupart ont fait bon accueil à nos interviews. Dans quelques cas l'enquête a été conduite en groupe.

L'enquête par mail organisée auprès d'experts étrangers travaillant sur des thèmes connexes à Génétique et Agrobiologie s'est appuyée sur un recrutement à dire d'experts, en mobilisant les participants à la présente étude (intervieweurs et responsables d'organismes interviewés).

Bilan de l'échantillonnage

Tableau 1 : Effectifs d'élevages enquêtés

SOQ* / Espèce-filière	AB*	Autre SOQ (non AB)	Sans SOQ	Total
Bovin lait	7	2	1	**10**
Bovin viande	7	-	2	**9**
Caprin	2	2	1	**5**
Ovin lait	1	4	-	**5**
Ovin viande	2	4	3	**9**
Porcin	3	2	3	**8**
Volaille**	3	3	10	**16**
Total	**25**	**17**	**20**	**62**

** SOQ : Signe Officiel de Qualité ; AB : label Agriculture Biologique.*
*** Eleveurs et entreprises*

Le détail de l'échantillonnage obtenu est maintenant présenté par groupe de filières.

- **Ruminants**

Diversité raciale

Tableau 2 : Répartition des élevages selon le type de race (principale)

Type race / Espèce-filière	Spécialisées	Mixtes	Rustiques	A petits effectifs	Total
Bovin lait	5	4		1	**10**
Bovin viande	5		3	1	**9**
Caprin	4			1	**5**
Ovin lait	5				**5**
Ovin viande	7		1	1	**9**
Total	**27**	**4**	**4**	**4**	**38**

NB : Les races à petits effectifs sont surreprésentées (quasiment 1 par filière) car elles sont généralement particulièrement adaptées à leur environnement et constituent un élément de biodiversité recherché dans l'agroécologie.

Tableau 3 : Races présentes dans les élevages enquêtés (en race pure ou en croisement)

Bovin lait	Bovin viande	Caprin	Ovin lait	Ovin viande
Abondance	Béarnaise	**Alpine***	Basco-béarnaise*	**Mouton charollais***
Brune*	Blanc Bleu	Provençale*	Corse*	Grivette*
Prim'Holstein*	Blonde d'Aq.	**Saanen***	Lacaune Lait*	Ile de France
Jersiaise	**Charolaise**			Rouge de l'Ouest
Montbéliarde*	**Gasconne***			Solognote*
Normande*	INRA 95			**Suffolk**
Pie rouge des Plaines	**Limousine***			**Texel***
Rouge Danoise	Maraîchine*			**Mouton vendéen***
Tarentaise*	Nantaise			
Vosgienne*	Rouge des Prés*			

* : Races présentes à titre principal dans au moins un élevage enquêté

En gras : races présentes dans au moins 3 élevages enquêtés

Tableau 4a : Répartition des élevages selon le type d'animaux élevés

	Bovin lait	Bovin viande	Caprin	Ovin lait	Ovin viande	Total
En race pure	1	7	4	3	4	**19**
Absorption	2	1	1		2	**6**
Croisement 2, 3 voies	5				3	**8**
Croisement terminal*	2	1		2		**5**
Total	**10**	**9**	**5**	**5**	**9**	**38**

* *dans un sens strict : race pure maternelle (laitière ou pas) croisée pour produire un veau avec un mâle de race bouchère.*

La plupart des élevages en ovin viande classés en croisement 2, 3 voies pratiquent également le croisement terminal (sur support maternel issu de croisement).

Tableau 4b : Répartition des élevages selon le nombre de races (atelier principal) et espèces élevées

Atelier principal	Autres ateliers (ruminants)	1 seule race (atelier principal)	Plusieurs races (atelier principal)	Total
Bovin lait	-	3	4	7
	Bovin viande	1	2	3
Bovin viande	-	5	3	8
	Bovin lait	1	-	1
Caprin	-	3	2	5
Ovin lait	-	2	-	2
	Bovin lait	1	-	1
	Bovin viande	1	-	1
	Ovin viande	1	-	1
Ovin viande	-	3	5	8
	Bovin viande	1	-	1
Totaux		**22**	**16**	**38**

En bilan, 3 élevages enquêtés exploitent plusieurs espèces de ruminants, 6 élèvent à la fois des animaux laitiers et allaitants. Majoritairement les éleveurs conduisent une seule race (au sein de l'atelier principal), sauf en ovin viande et en bovin lait.

Structure des élevages

Tableau 5 : Effectifs d'animaux (femelles adultes) par élevage

Espèce-filière	Moyenne	Minimum	Maximum	France	Prod. Lait annuel (L)
Bovin lait	57	25	140	52[1]	293 600
Bovin viande	76	23	200	43[1]	-
Caprin	196	48	340	109[2]	156 800
Ovin lait	281	175	350	249[3]	66 800
Ovin viande	333	130	900	62[3]	-

1 : BDNI effectifs moyens au 31/12/2014 (communication personnelle Idele).
2 : Agreste, enquête cheptel 2013.
3 : BDNI, enquête au 01/01/2014 (élevages >0 tête).

Les cheptels enquêtés sont en moyenne de plus grande taille que la moyenne des cheptels français. En bovin lait et ovin lait, ils sont de taille similaire, en bovin viande, caprin et ovin viande ils sont clairement en moyenne de taille supérieure. Pour les ovins et caprins, il faut considérer que la moyenne de référence intègre des très petits élevages (non professionnels). Ajoutons qu'en caprin en particulier il y a généralement de grandes différences de taille entre livreurs et fermiers (resp. 3 et 2 dans l'échantillon).

Taille et surfaces des exploitations : des systèmes herbagers

Tableau 6 : Ressources humaines (en équivalent temps-plein)

Espèce-filière	Moyenne	Minimum	Maximum
Bovin lait	2,5	1,0	4,7
Bovin viande	2,1	1,0	4,0
Caprin	2,8	1,2	3,8
Ovin lait	2,3	2,0	3,0
Ovin viande	2,0	1,0	3,0

Tableau 7 : Surfaces de cultures et surfaces fourragères (hectares)

Espèce-filière	SAU moyenne	SAU moy. RGA 2010	SFP/SAU moyenne	SFP/SAU minimal	SFP/SAU maximal
Bovin lait	106	79	90%	79%	100%
Bovin viande	185	63	72%	37%	100%
Caprin	55	33	68%	63%	80%
Ovin lait	42		87%	80%	100%
Ovin viande	142		84%	50%	100%

« Je suis avant tout éleveur de prairie… »

Les exploitations enquêtées se distinguent très nettement des élevages français (RGA 2010), par une SAU beaucoup plus importante, et un taux moyen de surfaces fourragères (SFP) compris entre 68% et 90%.

- **Porcins**

Diversité raciale

En production porcine, les types génétiques utilisés par les éleveurs enquêtés sont :

Type génétique	Large White (LW)	Landrace (LF)	Truie Croisée LW x LF	Lignées sino-européennes	Races locales
Nb d'éleveurs	1	1	2	2	2 associations

Structure des élevages

	Moyenne	Minimum	Maximum	France (moyenne, RGA 2010)
Nb de femelles adultes	221	80	630	160
Ressources humaines (en ETP)	1,73	1,73	4,0	-
SAU	44,5	-	-	-

* *Ne sont pas pris en compte les effectifs des races locales*

Les cheptels de truies sont de taille équivalente aux moyennes nationales.

- **Volailles**

Afin d'obtenir un panorama global des choix des critères génétiques utilisés en aviculture, l'échantillon d'acteurs interviewés a été constitué de représentants des différents maillons de la filière avicole : élevage (n=2), groupement de producteurs (n=2), accouvage (n=1), sélection (n=6), interprofession (n=3), institut technique (n=1), chambre d'agriculture (n=1) et association de défense d'une race à petit effectif (n=1). L'échantillon représente majoritairement des systèmes d'élevage déjà ancrés dans l'agroécologie notamment avec des démarches de Signes d'Identification de la Qualité et de l'Origine (Agriculture Biologique, Label Rouge ou Appellation d'Origine Protégée) ou encore à travers l'élevage fermier ou l'élevage de races à petits effectifs**.** De plus, les différents organismes adoptent des stratégies en lien avec les principes de l'agroécologie : meilleure utilisation possible des ressources disponibles (utilisation de céréales locales en substitut au soja importé) ; contribution à la biodiversité (aménagement des parcours des volailles) ; réduction des intrants (système permettant des économies d'énergie tels les échangeurs récupérateurs de chaleur).

Trame d'enquête

La trame d'enquête a été co-construite par des ingénieurs issus des 3 Instituts techniques parties prenantes de l'étude. Après s'être accordés sur la liste des thèmes à aborder et le texte d'introduction de l'enquête (à énoncer en début d'entretien), une première version a été élaborée (pour les ruminants) et adaptée pour les filières porcs et volailles. La trame d'enquête s'organise autour de questions ouvertes, utiles pour laisser toute latitude de réponse à la personne interviewée, et questions fermées (listes à cocher ou hiérarchiser) intéressantes pour cadrer le discours et rendre facilement comparables les résultats issus des différentes interviews. Le questionnaire est articulé en 5 parties :

- Présentation rapide de l'éleveur, de son exploitation, de son troupeau ;
- Les qualités recherchées par l'éleveur pour un animal adapté à un mode de production agroécologique, leur hiérarchie ;
- Les qualités d'un troupeau adapté à un mode de production agroécologique : place de l'hétérogénéité ;
- Les modalités de sélection / tri / acquisition des reproducteurs dans le troupeau, place de la génétique ;
- Les limites et leviers dans l'organisation actuelle de la génétique et l'offre d'outils pour mieux progresser vers l'agroécologie.

Chaque filière a adapté le questionnaire initial. Les trames par espèce sont fournies ci-dessous.

Les trames en construction ont été transmises aux membres du Comité de Pilotage de l'étude afin de recueillir et intégrer les avis de ses membres. Des entretiens tests (2-3 par filière) ont été réalisés en parallèle pour s'assurer de la bonne compréhension des questions et de la structuration adéquate du questionnaire.

Réalisation des enquêtes

La réalisation des enquêtes a été organisée séparément au sein de chaque espèce avec toutefois un calendrier commun, soit des enquêtes programmées de fin février à début mai. Au total un peu moins de 15 experts de l'Institut de l'Elevage, de l'IFIP et de l'ITAVI ont été sollicités, selon leur filière, pour réaliser les enquêtes. En ruminant, où le nombre d'enquêtes et d'enquêteurs était le plus conséquent, une version web (Limesurvey) du questionnaire a été réalisée afin de sécuriser la saisie et accélérer l'analyse des résultats. Ce formulaire a été adapté pour servir de base à l'enquête web auprès des référents et experts étrangers.

Annexe 5 : Trame d'enquête « Eleveur de Ruminants »

OBJECTIF DES ENQUETES

- Recenser, d'après les éleveurs, groupements de producteurs, interprofessions, acteurs de la génétique, les aptitudes de l'animal ou les aptitudes du troupeau qui permettraient de poursuivre la prise en compte de l'agroécologie dans les élevages ;
- Les hiérarchiser selon leur importance de prise en compte pour demain (par rapport à l'agroécologie) ;
- Obtenir des pistes d'actions, les marges de manœuvre, les difficultés ressenties sur les critères qui relèvent de la sélection animale.

Texte introductif

Le Ministère en charge de l'Agriculture a des ambitions fortes pour développer dans les exploitations agricoles la triple performance, c'est à dire améliorer au sein de l'exploitation à la fois sa performance économique, sa performance environnementale et sa performance sociale.

Il s'attache particulièrement au concept d'agroécologie. L'agroécologie est définie comme **l'application des concepts et des principes de l'écologie pour concevoir et gérer des agroécosystèmes durables**. Ceci implique de prendre en compte la diversité biologique à tous ses niveaux d'organisation, et de comprendre et d'utiliser les régulations écologiques, en considérant les systèmes de culture ou les systèmes d'élevage comme des écosystèmes particuliers. **Dans ce cadre, l'agroécologie se décline en un ensemble de pratiques dont l'objectif est d'amplifier les processus naturels pour concevoir des systèmes productifs, peu artificialisés (c'est à dire peu dépendants d'intrants extérieurs à l'exploitation), respectueux de l'environnement.**

Le Ministère souhaite comprendre les différents leviers sur lesquels il peut agir pour accompagner les agriculteurs vers 'plus' d'agroécologie.

Plusieurs leviers techniques sont déjà mis en œuvre par les agriculteurs, que ce soit au niveau de la réduction des intrants, de la réduction des rejets, de la gestion intégrée de la santé animale, de l'adaptation au changement climatique, et de la préservation de la biodiversité et des services qui lui sont associés. Il est aussi possible de raisonner l'adaptation des animaux, et d'utiliser des leviers tels que la sélection génétique et le choix des races.

Afin d'être en accord avec les réalités du terrain, le Ministère nous a demandé d'enquêter les agriculteurs pour connaître les aptitudes de l'animal ou du troupeau qui pourraient évoluer pour aller vers 'plus' d'agroécologie.

Notre enquête a ainsi pour objet de comprendre comment le choix des animaux et de leur génétique permet de mieux prendre en compte :

- la gestion intégrée de la santé animale

- une plus forte utilisation des ressources naturelles et une réduction des recours aux intrants

- une meilleure gestion des populations (des animaux ?, des races ?) pour améliorer l'adaptation des systèmes d'élevage à des changements extérieurs (par exemple le changement climatique).

0 Bonjour, je suis _____ _____ de l'Institut de l'Elevage. Je réalise une enquête sur l'agroécologie et la génétique.

Notre souhait est de recueillir votre point de vue d'éleveur sur l'animal adapté aux systèmes agroécologiques. L'objectif de ce travail est de mieux orienter les travaux et actions à conduire pour que les éleveurs disposent des références, des animaux et des outils génétiques dont ils ont besoin.

Cette enquête prendra une trentaine de minutes et naturellement nous garantissons l'anonymat absolu de votre témoignage. Etes-vous disponible pour la démarrer maintenant ?

Avant de commencer, avez-vous déjà entendu parler d'agroécologie ?

On va considérer pour cette enquête l'ensemble des pratiques qui visent à mieux utiliser les ressources disponibles (terres, végétaux, animaux…) pour composer un système productif peu dépendant des intrants extérieurs et respectueux de l'environnement. Ainsi vos coordonnées nous ont été transmises par « _____ » considérant que vos pratiques ressortent de l'agroécologie.

1) Pouvez-vous me décrire rapidement votre exploitation / votre structure (si groupement …)?

1.1 Effectifs d'animaux (présence moyenne)

NB Femelles allaitantes	NB Femelles laitières	NB de femelles de renouv.	NB veaux/agneaux de boucherie	NB veaux sous la mère	NB JB	NB bœufs

1.2 Quel volume annuel pour le lait ?

1.3 Races ou / et croisements présents pour les ruminants (préciser les proportions si plusieurs races) ?

1.4 Produits en filière ou signes de qualité éventuels ?

Produits	**Filières ou Vente directe**	**SOQ (AB, Label, AOC…)**
Viande		
Lait		
Fromages et produits laitiers transformés		

1.5 Avez-vous d'autres ateliers animaux ?

1.6 SAU, SFP

1.7 NB de personnes (dont salariés) (en équivalent temps plein)

1.8 Adresse de l'exploitation (ville et CP)

2) L'agroécologie dans votre élevage *(structure…)*

2.1 Pouvez-vous citer 1 ou 2 actions principales mises en œuvre dans votre élevage, qui sont en accord avec l'agroécologie ? (sans lien forcément avec la génétique)

3) Votre vision de l'animal adapté à vos orientations agroécologiques

3.1 Au niveau des animaux dans votre élevage, pouvez-vous citer les aptitudes animales que vous recherchez / développez pour être le plus en phase possible avec vos pratiques agroécologiques ? (en spontané)

3.2 Pour vous, dans votre système, pouvez-vous classer les aptitudes des animaux suivantes par ordre d'importance par rapport à vos orientations agroécologiques ?
(Vous pouvez également nous donner votre avis de façon plus détaillée, témoigner de votre expérience et notamment nous dire si vous avez déjà cherché à améliorer ces critères.)

	Hiérarchie (1er, 2ème…)	Déjà mis en œuvre dans votre ex-ploit.O/N	Commentaire de l'éleveur (facile ou pas à améliorer ?, une évolution engagée dans le troupeau ? …..)	
Santé : résistance aux maladies et accidents de santé (ex. : résistance aux boiteries, aux maladies métaboliques, au parasitisme…)				
Reproduction : capacité naturelle à se reproduire (ex. : bonne fertilité, expressivité des chaleurs, facilité de mise-bas, prolificité…)				
Rusticité et résilience (ex. : valorisation de ressources fourragères médiocres et/ou changeantes, résistance à la rudesse du climat, mobilisation des réserves corporelles…)				
Efficience et production (ex. : efficience alimentaire, longévité de carrière, croissance, production laitière…)				
Qualité des produits (ex. : tendreté, gustatif, qualité				

sanitaire, fromageabilité…)			
Impact environnemental (ex. : réduction des gaz à effets de serre, des rejets azotés…)			
Facilité d'Elevage : Travail, comportement et bien-être animal (docilité, sans corne, autonomie…)			
Autres caractéristiques liées à l'origine de l'animal (ex. réduction de la consanguinité, originalité/population, race locale…)			

3.3 Y-a-t-il d'autres aptitudes animales absentes de la précédente liste et doivent être ajoutées ?

3.4 Je vais maintenant vous citer des moyens pour faire évoluer votre troupeau selon les orientations prioritaires évoquées auparavant. Pour chaque moyen pouvez-vous me dire si dans votre élevage c'est ++ prioritaire ; + possible ; - pas prioritaire ; - - inenvisageable ?

- choix du renouvellement – femelles : ++ / + / - / - -
- choix des reproducteurs mâles par IA : ++ / + / - / - -
- choix des reproducteurs mâles par MN : ++ / + / - / - -
- optimisation des accouplements : ++ / + / - / - -
- achats d'animaux : ++ / + / - / - -
- utilisation de croisement : ++ / + / - / - -
- changement de race : ++ / + / - / - -
- autre (à préciser)…) ?

3.5 Nous allons maintenant parler de la façon dont vous choisissez les reproducteurs (mâles et femelles) dans votre élevage. Je vais vous citer plusieurs informations possibles en élevage, vous me direz si oui ou non vous les utilisez.

- Votre connaissance des animaux : relevés d'informations et mesures qui vous sont propres : oui / non

Si oui à préciser :

- Les valeurs génétiques : oui / non
- Les valeurs génomiques : oui / non
- Le contrôle de performance : oui / non
- La généalogie : oui / non
- Les choix sont faits avec l'appui de techniciens : oui / non
- Les choix sont délégués à un/des technicien(s) : oui / non

3.6 Si cela n'a pas été évoqué avant :

3.6.1 Avez-vous déjà songé à changer de race ?

Si oui, qu'est-ce qui vous tenterait à changer de race (et dans quels objectifs ?), qu'est-ce qui vous freinerait ?

3.6.2 Certains éleveurs ont fait le choix d'animaux croisés plutôt que des femelles de race pure. En quoi cela vous tenterait ou au contraire vous freinerait ?

3.6.3 Pour certains techniciens ou chercheurs, une stratégie pour faire face aux aléas (climatiques, sanitaires…) serait de travailler avec un troupeau composé d'animaux différents (hétérogènes : races ou intra-race). Avez-vous un avis ?, Si oui qu'en pensez-vous ?

4) Les acteurs de la génétique dans l'agroécologie ?

Les évolutions de l'agriculture ne peuvent s'appréhender qu'en considérant les relations avec l'amont et l'aval et avec les autres acteurs de l'espace rural. **A ce propos, pourrions-nous échanger sur les décideurs de la génétique de demain.**

4.1 L'offre actuelle (semences ou animaux) permet-elle une orientation agroécologique ? oui/non (si non : citer 1 ou 2 raisons principales)

4.2 Pensez-vous que la génétique soit un bon levier pour faire évoluer votre élevage vers l'agroécologie ?

4.3 Pour conclure, selon vous, quelles sont les actions prioritaires (3 maximum) à mettre en œuvre au niveau local, régional, national, pour que la génétique soit un levier de l'agroécologie (libre) ?

5) **Merci et au revoir !**

5.1 Merci pour votre participation. Si vous le souhaitez, en nous indiquant une adresse e-mail (ou à défaut votre adresse postale) nous pourrons vous transmettre le bilan de cette étude (fin d'été – début automne).

5.2 La génétique n'est qu'un des maillons possibles pour appuyer une évolution vers l'agroécologie. Et votre expérience en la matière nous intéresse. Une autre enquête (INRA, Institut de l'Elevage…) est en cours de montage. Accepteriez-vous qu'un collègue vous recontacte vous interroger (là encore sous forme téléphonique) sur l'ensemble des principes et pratiques agroécologiques mis en œuvre sur votre exploitation ? oui / non

Annexe 6 : Trame d'enquête « Eleveur de Porcins »

OBJECTIF DES ENQUETES

- Recenser, d'après les éleveurs, groupements de producteurs, interprofessions, acteurs de la génétique, les aptitudes de l'animal ou les aptitudes du troupeau qui permettraient de poursuivre la prise en compte de l'agroécologie dans les élevages
- Les hiérarchiser selon leur importance de prise en compte pour demain (par rapport à l'agroécologie)
- Obtenir des pistes d'actions, les marges de manœuvre, les difficultés ressenties sur les critères qui relèvent de la sélection animale

Texte introductif

Le Ministère en charge de l'Agriculture a des ambitions fortes pour développer dans les exploitations agricoles la triple performance, c'est à dire améliorer au sein de l'exploitation à la fois sa performance économique, sa performance environnementale et sa performance sociale.

Il s'attache particulièrement au concept d'agroécologie. L'agroécologie est définie comme **l'application des concepts et des principes de l'écologie pour concevoir et gérer des agroécosystèmes durables**. Ceci implique de prendre en compte la diversité biologique à tous ses niveaux d'organisation, et de comprendre et d'utiliser les régulations écologiques, en considérant les systèmes de culture ou les systèmes d'élevage comme des écosystèmes particuliers. **Dans ce cadre, l'agroécologie se décline en un ensemble de pratiques dont l'objectif est d'amplifier les processus naturels pour concevoir des systèmes productifs, peu artificialisés (c'est à dire peu dépendants d'intrants extérieurs à l'exploitation), respectueux de l'environnement.**

Le Ministère souhaite comprendre les différents leviers sur lesquels il peut agir pour accompagner les agriculteurs vers 'plus' d'agroécologie.

Plusieurs leviers techniques sont déjà mis en œuvre par les agriculteurs, que ce soit au niveau de la réduction des intrants, de la réduction des rejets, de la gestion intégrée de la santé animale, de l'adaptation au changement climatique, et de la préservation de la biodiversité et des services qui lui sont associés. Il est aussi possible de raisonner l'adaptation des animaux, et d'utiliser des leviers tels que la sélection génétique et le choix des races.

Afin d'être en accord avec les réalités du terrain, le Ministère nous a demandé d'enquêter les agriculteurs pour connaître les aptitudes de l'animal ou du troupeau qui pourraient évoluer pour aller vers 'plus' d'agroécologie.

Notre enquête a ainsi pour objet de comprendre comment le choix des animaux et de leur génétique permet de mieux prendre en compte :

- la gestion intégrée de la santé animale

- une plus forte utilisation des ressources naturelles et une réduction des recours aux intrants

- une meilleure gestion des populations (des animaux ? des races ?) pour améliorer l'adaptation des systèmes d'élevage à des changements extérieurs (par exemple le changement climatique).

Début de l'enquête téléphonique

(Rmq : prise de RDV préalable)

0 Bonjour, je suis _____ _____ de l'Institut de l'Elevage. Je fais une enquête sur l'agroécologie et la génétique.

Notre souhait est de recueillir votre point de vue d'éleveur sur l'animal adapté aux systèmes agroécologiques. L'objectif de ce travail est de mieux orienter les travaux et actions à conduire pour que les éleveurs disposent des références, des animaux et des outils génétiques dont ils ont besoin.

Cette enquête prendra une trentaine de minutes et naturellement nous garantissons l'anonymat absolu de votre témoignage. Etes-vous disponible pour la démarrer maintenant ?

Avant de commencer, avez-vous déjà entendu parler d'agroécologie ?

On va considérer pour cette enquête l'ensemble des pratiques qui visent à mieux utiliser les ressources disponibles (terres, végétaux, animaux…) pour composer un système productif peu dépendant des intrants extérieurs et respectueux de l'environnement. Ainsi vos coordonnées nous ont été transmises par « _____ » considérant que vos pratiques ressortent de l'agroécologie.

1) Pouvez-vous me décrire rapidement votre exploitation / votre structure (si groupement…)?

(Pour les exploitations)

1.1 Effectifs d'animaux (présence moyenne)

NB de truies	NB place d'engraissement	Production annuelle (type d'animaux : porcelets/porcs charcutiers/reproducteurs)

1.3 Races ou / et croisements présents (préciser les proportions si plusieurs races) ?

Races des truies	Races des verrats (ou semence)

1.4 Produits en filière ou signes de qualité éventuels ?

Produits	**Filières ou Vente directe**	**SOQ (AB, Label, AOC…)**

1.5 Avez-vous d'autres ateliers animaux ?

1.6 SAU, SFP ?

1.7 NB de personnes (dont salariés) (en équivalent temps plein)

1.8 Adresse de l'exploitation (ville et CP)

2) L'agroécologie dans votre élevage *(structure…)*

2.1 Pouvez-vous citer 1 ou 2 actions principales mises en œuvre dans votre élevage, qui sont en accord avec l'agroécologie ? (sans lien forcément avec la génétique)

3) Votre vision de l'animal adapté à vos orientations agroécologiques

3.1 Au niveau des animaux dans votre élevage, pouvez-vous citer les aptitudes animales que vous recherchez / développez pour être le plus en phase possible avec vos pratiques agroécologiques ? (en spontané)

3.2 Pour vous, dans votre système, pouvez-vous classer les aptitudes (ou groupes d'aptitudes) des animaux suivantes par ordre d'importance par rapport à vos orientations agroécologiques ?
(Vous pouvez également nous donner votre avis de façon plus détaillée, témoigner de votre expérience et notamment nous dire si vous avez déjà cherché à améliorer ces critères.)

	Hiérarchie (1er au 8ème)	Déjà mis en œuvre dans votre ex-ploit.O/N	Commentaire de l'éleveur (facile ou pas à améliorer ?, une évolution engagée dans le troupeau ? …..)
Santé : Résistance aux maladies et accidents de santé (Ex : résistance aux boiteries, aux infections virales,…)			
Travail, comportement et bien-être animal (Ex : Docilité, comportement, autonomie…)			
Reproduction et prolificité (ex. : bonne fertilité, expressivité des chaleurs, facilité de mise-bas, prolificité…)			
Rusticité et résilience (ex. : valorisation d'aliments de qualité médiocre et/ou changeantes, mobilisation des réserves corporelles…)			
Qualité des produits (Ex : tendreté, gustatif,….)			
Efficience et production			

(ex : efficience alimentaire, longévité de carrière, croissance, qualités maternelles,…)			
Impact environnemental (ex. : réduction des gaz à effets de serre, des rejets azotés…)			
Autres caractéristiques liées à l'origine de l'animal (ex. originalité du croisement/population, race locale…)			

3.3 Y-a-t-il d'autres aptitudes animales absentes de la précédente liste et doivent être ajoutées ?

3.4 Je vais maintenant vous citer des moyens pour faire évoluer votre troupeau selon les orientations prioritaires évoquées auparavant. Pour chaque moyen pouvez-vous me dire si dans votre élevage c'est ++ prioritaire ; + possible ; - pas prioritaire ; - - inenvisageable ?

- Mode de renouvellement (auto-renouvellement vs achat de cochettes) : ++ / + / - / --
- Choix du renouvellement de la génétique femelle : ++ / + / - / --
- Choix de la génétique mâle : ++ / + / - / --
- Changement de croisement : ++ / + / - / --
- Autre (à préciser)…. ?

3.5 Nous allons maintenant parler de la façon dont vous choisissez les reproducteurs (mâles et femelles) dans votre élevage. Je vais vous citer plusieurs informations possibles en élevage, vous me direz si oui ou non vous les utilisez.

- Votre connaissance des animaux : relevés d'informations et mesures qui vous sont propres : oui / non

Si oui à préciser :

- Les informations génétiques fournies par le groupement et/ou la firme génétique : Oui / Non
- les valeurs génétiques des verrats de CIA : Oui / Non
- la généalogie des animaux (verrats de CIA) : Oui/Non
- autre informations (à préciser)

4) Les acteurs de la génétique dans l'agroécologie ?

Les évolutions de l'agriculture ne peuvent s'appréhender qu'en considérant les relations avec l'amont et l'aval et avec les autres acteurs de l'espace rural. **A ce propos, pourrions-nous échanger sur les décideurs de la génétique de demain.**

4.1 L'offre actuelle (semences ou animaux) permet-elle une orientation agroécologique ? oui/non
(si non : citer 1 ou 2 raisons principales)

4.2 Pensez-vous que la génétique soit un bon levier pour faire évoluer votre élevage vers l'agroécologie ?

4.2 Pour conclure, selon vous, quelles sont les actions prioritaires (3 maximum) à mettre en œuvre au niveau local, régional, national, pour que la génétique soit un levier de l'agroécologie (libre) ?

5) **Merci et au revoir !**

5.1 Merci pour votre participation. Si vous le souhaitez, en nous indiquant une adresse e-mail (ou à défaut votre adresse postale) nous pourrons vous transmettre le bilan de cette étude (fin d'été – début automne).

5.2 La génétique n'est qu'un des maillons possibles pour appuyer une évolution vers l'agroécologie. Et votre expérience en la matière nous intéresse. Une autre enquête (INRA, Institut de l'Elevage…) est en cours de montage. Accepteriez-vous qu'un collègue vous recontacte vous interroger (là encore sous forme téléphonique) sur l'ensemble des principes et pratiques agroécologiques mis en œuvre sur votre exploitation ? Oui / non

Annexe 7 : Trame d'enquête « Eleveur de Volailles »

OBJECTIF DES ENQUETES

- Recenser, d'après les groupements de producteurs, interprofessions, acteurs de la génétique, les aptitudes de l'animal ou les aptitudes du troupeau qui permettraient de poursuivre la prise en compte de l'agroécologie dans les élevages
- Les hiérarchiser selon leur importance de prise en compte pour demain (par rapport à l'agroécologie)
- Obtenir des pistes d'actions, les marges de manœuvre, les difficultés ressenties sur les critères qui relèvent de la sélection animale

Texte introductif

Le Ministère en charge de l'Agriculture a des ambitions fortes pour développer dans les exploitations agricoles la triple performance, c'est à dire améliorer au sein de l'exploitation à la fois sa performance économique, sa performance environnementale et sa performance sociale.

Il s'attache particulièrement au concept d'agroécologie. L'agroécologie est définie comme **l'application des concepts et des principes de l'écologie pour concevoir et gérer des agroécosystèmes durables**. Ceci implique de prendre en compte la diversité biologique à tous ses niveaux d'organisation, et de comprendre et d'utiliser les régulations écologiques, en considérant les systèmes de culture ou les systèmes d'élevage comme des écosystèmes particuliers. **Dans ce cadre, l'agroécologie se décline en un ensemble de pratiques dont l'objectif est d'amplifier les processus naturels pour concevoir des systèmes productifs, peu artificialisés (c'est à dire peu dépendants d'intrants extérieurs à l'exploitation), respectueux de l'environnement.**

Le Ministère souhaite comprendre les différents leviers sur lesquels il peut agir pour accompagner les agriculteurs vers 'plus' d'agroécologie.

Plusieurs leviers techniques sont déjà mis en œuvre par les agriculteurs, que ce soit au niveau de la réduction des intrants, de la réduction des rejets, de la gestion intégrée de la santé animale, de l'adaptation au changement climatique, et de la préservation de la biodiversité et des services qui lui sont associés. Il est aussi possible de raisonner l'adaptation des animaux, et d'utiliser des leviers tels que la sélection génétique et le choix des races.

Afin d'être en accord avec les réalités du terrain, le Ministère nous a demandé d'enquêter les agriculteurs pour connaître les aptitudes de l'animal ou du troupeau qui pourraient évoluer pour aller vers 'plus' d'agroécologie.

Notre enquête a ainsi pour objet de comprendre comment le choix des animaux et de leur génétique permet de mieux prendre en compte :

- la gestion intégrée de la santé animale

- une plus forte utilisation des ressources naturelles et une réduction des recours aux intrants

- une meilleure gestion des populations (des animaux ?, des races ?) pour améliorer l'adaptation des systèmes d'élevage à des changements extérieurs (par exemple le changement climatique).

Début de l'enquête téléphonique

0 Bonjour, je suis _____ _____ de l'Institut Technique de l'Aviculture. Je fais une enquête sur l'agroécologie et la génétique.

Notre souhait est de recueillir votre point de vue de :

- groupement de producteurs
- ou d'interprofession
- ou d'entreprise de sélection / d'entreprise d'accouvage

sur l'animal adapté aux systèmes agroécologiques. L'objectif de ce travail est de mieux orienter les travaux et actions à conduire pour que les interlocuteurs de la filière disposent des références, des animaux et des outils génétiques dont ils ont besoin.

Cette enquête prendra une trentaine de minutes et naturellement nous garantissons l'anonymat absolu de votre témoignage. Etes-vous disponible pour la démarrer maintenant ?

(En cas de questions :

Une synthèse de l'étude pourra être communiquée (fin d'été, laissez-nous une adresse email à défaut postale : fin de questionnaire)

Commanditaire : MAAF de l'étude globale)

Avant de commencer, avez-vous déjà entendu parler d'agroécologie ?

On va considérer pour cette enquête l'ensemble des pratiques qui visent à mieux utiliser les ressources disponibles (terres, végétaux, animaux…) pour composer un système productif peu dépendant des intrants extérieurs et respectueux de l'environnement. Ainsi vos coordonnées nous ont été transmises par « _____ » considérant que vos pratiques ressortent de l'agroécologie.

1) Pouvez-vous me décrire rapidement votre structure?

1 .1 -Nom, adresse

1.2 – Description de la production : Quelles espèces ? Quelles souches ou races ? Quels signes de qualité ou non ? Volumes mis en élevage ? (ou CA ?)

1.3 – Description des adhérents / clients : quel type ?

1.4 - Zone, territoire couvert ?

2) L'agroécologie dans votre structure

2.1 - Pouvez-vous citer 1 ou 2 principes mis en œuvre dans la stratégie de votre groupement / structure/ entreprise, qui sont en accord avec l'agroécologie ? *(sans lien forcément avec la génétique)*

3) Votre vision de la volaille adaptée pour des orientati-ons agroécologiques

3.1

Si groupement, entreprise : Au niveau des volailles élevées dans votre structure / produites par votre structure, pouvez-vous citer les aptitudes animales que vous recherchez/développez pour être le plus en phase possible avec des pratiques agroécologiques ? (en spontané)

Si interprofession : Quelles aptitudes pensez-vous qu'il faille rechercher / développer au niveau des animaux pour développer un élevage en phase avec l'agro écologie ? *(en spontané et indiquer dans tableau ci-dessous, en précisant si spontané)*

3.2 Pour vous, pouvez-vous classer les aptitudes suivantes (ou groupes d'aptitudes) des volailles par ordre d'importance par rapport à vos orientations agroécologiques ?
(Vous pouvez également nous donner votre avis de façon plus détaillée, témoigner de votre expérience et notamment nous dire si vous avez déjà cherché à améliorer ces critères.)

	Hiérarchie (1er au 9ème)	Déjà mis en œuvre dans votre exploit.O/N	Commentaire de l'éleveur (facile ou pas à améliorer ?, une évolution engagée dans le troupeau ? …..)	
Santé : résistance aux maladies et accidents de santé (ex. : résistance aux boiteries, aux salmonelles, parasites, problèmes digestifs, …)				
Reproduction : (caractères de reproduction, fertilité, taux de ponte, taux d'éclosion , ..)				
Rusticité et résilience **Robustesse et capacité à maintenir la production face à des variations de l'environnement** (ex. : changements climatiques : à a chaleur extrême, au froid, aux variations de chaleur, Capacité à consommer des céréales ou protéines rustiques, à s'adapter aux variations de composition, de présentation de l'aliment…)				
Efficience et production (ex. : poids final, GMQ, indice de consommation, vitesse de croissance, vie productive en pondeuses, Autre critère de production…)				
Qualité des produits (ex. : Amélioration de la qualité nutritionnelle et diététique (dont faible teneur en gras), qualité organoleptique ou gustative des				

produits, qualité sanitaire des produits)			
Impact environnemental (ex. : réduction des rejets azotés, des rejets de phosphore, des gaz à effets de serre, …)			
Facilité d'Elevage : Travail, comportement et bien-être animal (ex : sans agressivité, qualité des aplombs, utilisation du parcours…)			
Autres caractéristiques liées à l'origine de l'animal (ex. réduction de la consanguinité, maintien de la biodiversité des races…)			

3.3 - Y-a-t-il d'autres aptitudes animales absentes de la précédente liste et doivent être ajoutées ?

3.4 - Quels sont les critères sur lesquels vous travaillez ? vous pensez travailler à l'avenir ?

4) Les acteurs de la génétique dans l'agroécologie ?

Les évolutions de l'agriculture ne peuvent s'appréhender qu'en considérant les relations avec l'amont et l'aval et avec les autres acteurs de l'espace rural. **A ce propos, pourrions-nous échanger sur les décideurs de la génétique avicole de demain.**

4.1 L'offre génétique actuelle (souches disponibles) permet-elle une orientation agroécologique ? oui/non (si non : citer 1 ou 2 raisons principales)

4 .2- Qui sont les décideurs des choix de sélection ? *(ex : les sélectionneurs , les accouveurs, les groupements de producteurs , l'abattoir, la GMS, le consommateur ?...)*

4.3 Pensez-vous que la génétique soit un bon levier pour faire évoluer votre structure vers plus d'agroécologie ?

Quels changements vous paraitraient utiles ou nécessaires pour mettre plus vite le cap vers l'agro écologie ? Est-ce selon vous faisable à court ou moyen terme ?

4.4 Pour conclure, selon vous, quelles sont les actions prioritaires (3 maximum) à mettre en œuvre au niveau local, régional, national, pour que la génétique soit un levier de l'agroécologie *(libre)* ?

5) Merci pour votre participation et au revoir !

Si vous le souhaitez, en nous indiquant une adresse e-mail (ou à défaut votre adresse postale) nous pourrons vous transmettre le bilan de cette étude (fin d'été – début automne).

Annexe 8 : Synthèse des enquêtes « web survey on animal genetics and agroecology »

La trame pdf des enquêtes web est mise en fin de cette annexe.

Bilan des enquêtes

Les enquêtes étaient sous forme de formulaire web, diffuse via les réseaux d'adresses des experts Inra et ABCIS menant l'étude. Les cibles sont des experts étrangers en production animale et en génétique.

11 experts ont répondu à l'enquête couvrant 8 pays et 3 espèces ou groupes d'espèces (cf. fig 1).

Espèces Pays	Ruminants (2 esp. au moins)	Bovins Lait	Porcins	**Totaux**
Allemagne	1			**1**
Espagne			1	**1**
Etats Unis		1		**1**
Irlande	1	1		**2**
Italie			1	**1**
Nouvelle Zélande	1			**1**
Pays-Bas	1		1	**2**
Suisse		2		**2**
Totaux	**4**	**4**	**3**	

En porcins les 3 répondants sont employés d'organisations de sélection. En ruminants dont bovins lait, les répondants sont majoritairement des académiques ou des administratifs sauf les 2 répondants suisses (évaluation génétique et organisation de sélection).
Par la suite les bovins laits sont regroupés au sein des ruminants, leurs réponses ne divergeant pas des autres ruminants.

Définition de l'agroécologie ?

Tous adhèrent à la définition proposée par Dumont et al (Animal, 2013).
Toutefois, les deux réponses Irlandaises considèrent qu'il manque une référence au besoin de maintenir voire d'augmenter la production. L'un ajoute en outre que la simplification du métier d'éleveur doit également être incluse.
Cinq répondants (Espagne, Irlande, Nouvelle-Zélande, Pays-Bas, Suisse) ont connaissance de travaux récents sur ce sujet-là dans leur pays.

Quels sont les programmes R&D prioritaires ?

Ruminants (7 répondants)

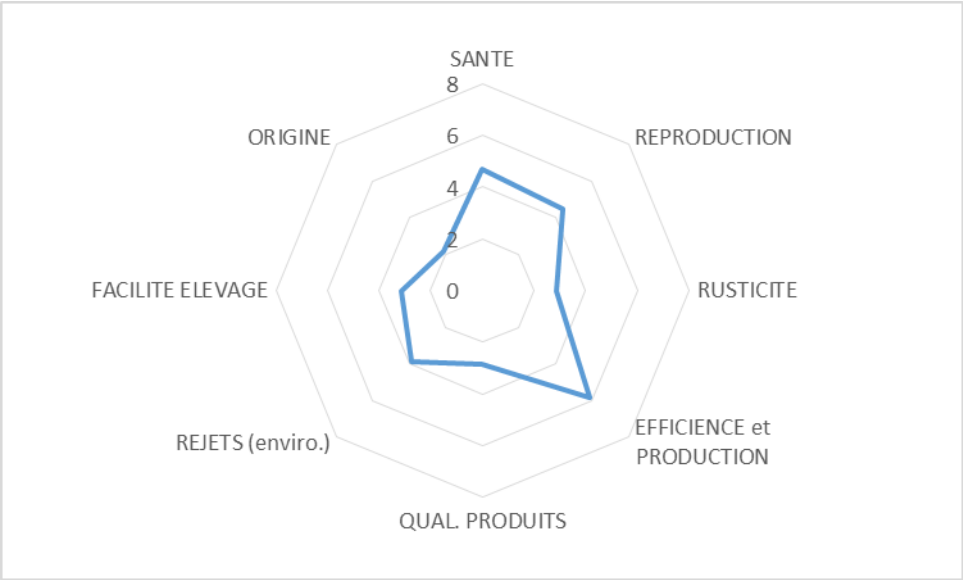
- (4) Programmes de phénotypage et renforcement des bases de données (dont efficacité alimentaire (3), rejets, santé (2), mortalité et longévité)
- (1) Evaluation génétiques tenant compte des GxE
- (1) Sélection génomique en croisement

- (2) Optimisation des programmes de sélection et des méthodes
- (1) Déterminer les caractères les plus important dans le futur
- (1) Influence du microbiote sur les émissions de gaz à effets de serre

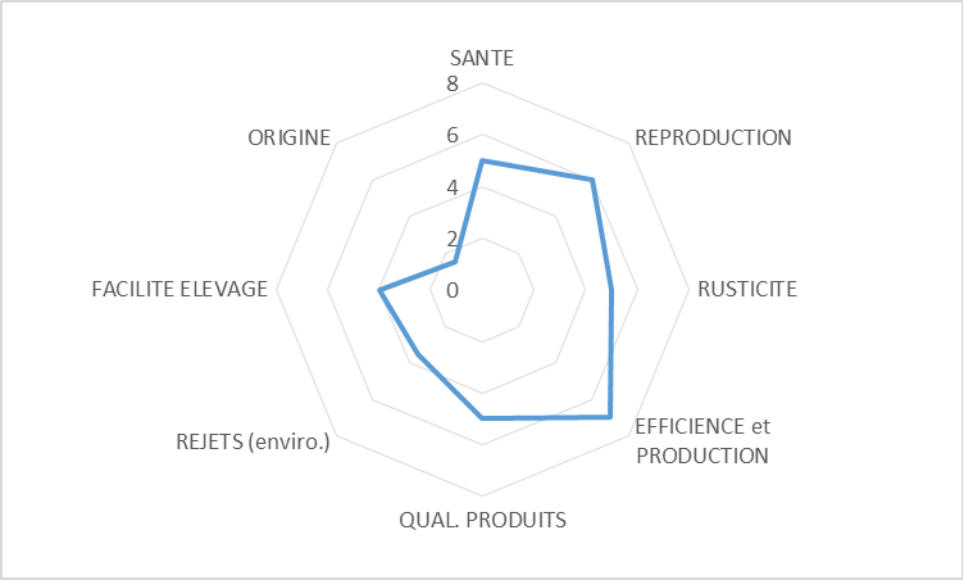
Porcins (1 réponse)
"Improving feed efficency
Develop genomic techniques of monitoring haplotypes in crossbreds to purebred parents (avoid genotype*environment interactions)
Select for robustness and resilience traits, behavior, difficult traits, hopefully selectable with genomics techniques in future."

<u>Aptitudes animales les plus importantes en système agroécologique</u>

7 répondants en Ruminants :



2 répondants en Porcins :



Faut-il envisager un changement de race ou type de races utilisées ?

	OUI	NON	Totaux
Ruminants	3	4	7
Porcins	0	2	2
Totaux	3	6	9

Races pures ou croisements : quelle stratégie est-elle la plus adaptée aux systèmes agroécologiques ?

	Races pures	Les 2 sont possibles	Croisements	Totaux
Ruminants	2	3	2	7
Porcins	0	1	1	2
Totaux	2	4	3	9

Quels sont les stratégies, pratiques, outils génétiques à encourager ?

(5) Des objectifs de sélection sur base économique, voire des objectifs de sélection dédiés (2) (agroéco…)
(4) Des évaluations génétiques précises pour un maximum de caractères dont l'efficacité alimentaire, et les caractères de santé, phénotypage (bases de données)
(4) Sélection génomique en race pure et en croisement (1)
(1) Individualisation du conseil : objectifs de sélection en élevage et gestion des anomalies génétiques

Quels est votre regard global sur l'adaptation de l'offre génétique actuelle aux besoins des éleveurs en système agroécologique?

	La génétique actuelle couvre globalement les besoins	Quelques changements sont à faire	Des changements majeurs sont à mettre en œuvre	Totaux
Ruminants	1	4	2	7
Porcins	0	2	0	2
Totaux	1	6	2	9

Analyse AFOM (SWOT) : les dispositifs génétiques actuels au regard de l'agroécologie

(9 répondants)

ATOUTS	OPPORTUNITES
[RUM] **Une grosse expérience de la sélection** : personnel qualifié, méthodologies éprouvées **Des organisations en place** qui ont montré leur capacité à réaliser du progrès génétique **Des outils nouveaux, en particuliers issus de la génomique, permettant de nouvelles approches** : individualisation de la génétique, nouveaux caractères… **Des races diverses et adaptées** à différents environnement (dont le pâturage), et une variabilité génétique gérée [PIG] **Efficacité alimentaire** et plus globalement efficacité de l'ensemble de la chaine Impact carbone et eau	[RUM] **Les nouveaux caractères** : le dynamisme autour des nouveaux caractères et en particulier sur les caractères d'efficience alimentaire et de longévité. **Sélection génomique et augmentation des gains génétiques possibles** **Performances en croisement** (cumul d'effet d'hétérosis et de gain combinatoire entre races productives et/ou robustes) et **prise en compte des interactions GxE**. Augmentation du **poids économiques des intrants** et des externalités négatives, demande sociétale. Développement **d'objectifs de sélection équilibrés, diversification de l'offre génétique** et valorisation de la mixité des races Développer les aptitudes à bien **valoriser de l'herbe** non concurrente de l'alimentation humaine [PIG] Poursuivre l'amélioration de l'efficacité de conversion et la robustesse.
FAIBLESSES	**MENACES**
[RUM] **Efficacité de la sélection** : Nombre et antagonismes entre les caractères potentiellement d'intérêt. Retard sur les caractères de santé. **Pressions/orientations économiques** **Disponibilité de données nouvelles** relatives à l'impact environnemental et plus généralement à l'utilisation des intrants (valorisation des pâturages), ou encore à la santé des animaux Les bases de la génétique n'attirent plus comparées à la génomique. [PIG] Emission de gaz à effets de serre Certains programmes de sélection ne prennent pas ou pas suffisamment en, compte les causes de mortalité.	[RUM] **Perte du contrôle par les éleveurs** des dispositifs de sélection **Pression économique** (court terme?) / pas de temps de la génétique **Cadre réglementaire et économique** favorable aux grandes races productives. Mesures incitatives pour les éleveurs insuffisantes et/ou **marché (mondial) de la génétique défavorable**. [PIG] **Concurrence avec l'alimentation humaine** ; **Réglementation défavorable** Surproduction Inadéquation (à court terme) avec **les attentes du marché mondial** (nombreuses régions du monde ne s'orientent pas vers l'agroécologie)