

Les ontologies ATOL et EOL, des outils en appui aux nouveaux challenges en production porcine

Marie-Christine Meunier-Salaün, Jérôme Bugeon, Olivier Dameron, Alice Fatet, Isabelle Hue, Catherine Hurtaud, Léa Joret, Claire Nédellec, Matthieu Matthieu.Reichstadt@inrae.Fr Reichstadt, Jean Vernet, et al.

▶ **To cite this version:**

Marie-Christine Meunier-Salaün, Jérôme Bugeon, Olivier Dameron, Alice Fatet, Isabelle Hue, et al.. Les ontologies ATOL et EOL, des outils en appui aux nouveaux challenges en production porcine : Phénotypage et élevage de précision. 46. Journées de la Recherche Porcine, Feb 2014, Paris, France. pp.281-285. hal-01019239

HAL Id: hal-01019239
https://hal.science/hal-01019239

Submitted on 3 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.

2014. Journées Recherche Porcine, 46, 281-286.

Les ontologies ATOL et EOL, des outils en appui aux nouveaux challenges en production porcine : phénotypage et élevage de précision

Marie-Christine MEUNIER-SALAÜN (1,2), Jérôme BUGEON (3), Olivier DAMERON (4), Alice FATET (5), Isabelle HUE (6), Catherine HURTAUD (1,2), Léa JORET (3), Claire NEDELLEC (7), Matthieu REICHSTADT (8), Jean VERNET (8), Pierre-Yves LE BAIL (3)

(1) INRA, UMR1348, PEGASE, 35590 Saint-Gilles, France; (2) Agrocampus ouest, UMR1348, PEGASE, 35000 Rennes, France
(3) INRA, UR 1037 LPGP, 35042 Rennes, France; (4) Université Rennes I/IRISA, Av Gal leclerc, 35042 Rennes, France
(5) INRA, UMR 85 PRC, 37380 Nouzilly, France; (6) INRA, UMR 1198BDR, 78352 Jouy en Josas, France
(7) INRA, UMR1077 MIG, 78352 Jouy en Josas, France;
(8) INRA, UMR1213 Herbivores, 63122 Saint-Genès Champanelle, France

Marie-Christine.Salaun@rennes.inra.fr

Avec la collaboration des experts impliqués dans les groupes de travail (http://www.atol-ontology.com/index.php/en/les-acteurs-en/experts/les-experts-en)

Les ontologies ATOL et EOL, des outils en appui aux nouveaux challenges en production porcine : phénotypage et élevage de précision

La vocation des ontologies est de faciliter l'organisation et l'exploitation des connaissances et des données produites en grande quantité notamment en biologie. L'ontologie ATOL (http://www.atol-ontology.com) pour "Animal Trait Ontology for Livestock" a été dédiée à la définition et l'organisation des caractères phénotypiques des animaux d'élevage (poisson, oiseaux, mammifères). Or, un phénotype résulte de l'action commune d'un génotype et de son environnement (plus des mécanismes épigénétiques). Sa définition nécessite donc aussi une description précise de l'environnement d'élevage. L'ontologie EOL pour "Environnement Ontology for Livestock" a été ainsi créée pour décrire, de manière générique, les systèmes et conditions d'élevage. La combinaison des concepts des caractères phénotypiques des animaux (ATOL) et de ceux des conditions d'élevage (EOL) permettra la standardisation et l'annotation très précise des bases de données phénotypiques. Elle facilitera les approches intégratives et systémiques grâce à la représentation univoque des concepts en un langage partagé, commun aux différents utilisateurs et à l'accès automatisé à ces concepts rendu possible par des logiciels. Ces deux ontologies constituent un outil prometteur pour des projets d'expérimentation en particulier ceux portant sur l'élevage de précision, et à un appui méthodologique aux programmes d'amélioration génétique prédictive. Elles devraient être aussi de puissants outils pour la recherche d'informations dans les documents scientifiques et techniques, par les logiciels de pointe d'ores et déjà disponibles mobilisant l'analyse sémantique. Dans cet article la structure des ontologies, leurs caractéristiques et leurs applications en productions animales sont présentées et illustrées dans le domaine de la production porcine.

ATOL and EOL ontologies: tools to support new challenges in pig production : phenotyping and precision livestock farming

The purpose of ontologies is to facilitate the organization and use of knowledge produced in large quantity especially in biology. The ontology ATOL for "Animal Trait Ontology for Livestock" (http://www.atol-ontology.com) has been devoted to the definition and organization of the phenotypic traits of farming animals (fish, poultry, mammals). However, a phenotype results from the joint action of genotype and environment (plus epigenetic mechanisms), thus its definition also requires a precise description of the animal rearing environments. The ontology EOL for "Environmental Ontology for Livestock" has been created to describe, in a generic manner, the livestock systems and the rearing conditions. The combination of the concepts of the phenotypic traits of animals (ATOL) and those of the rearing conditions (EOL) will allow standardization and a powerful annotation of animal phenotypic databases. It will also facilitate integrative and systemic approach with the unequivocal representation of the concepts in a shared language, common to different users with automated access by the use of software. These ontologies are promising tools for experimental projects especially those on precision livestock farming and methodological support for predictive breeding programs. They should also be powerful tools to retrieve relevant information in scientific and technical documents using advanced software already available mobilizing semantic analyses. The structure of the ontologies, their characteristics and their applications in the field of animal production, are presented and illustrated for pig production.

INTRODUCTION

Dans la filière porcine, les systèmes de production et d'amélioration génétique sont en continuelle évolution, pour répondre à l'objectif du nécessaire maintien de la production à des niveaux de productivité viables et durables, mais aussi à des attentes multiples : réduction des impacts sur l'environnement (rejets organiques et médicamenteux, gaz,...), amélioration de la qualité des produits (sanitaires, hygiéniques, organoleptiques) et satisfaction d'exigences éthiques (bien-être animal) ou sociales (travail de l'éleveur). La prise en compte simultanée de ces différentes dimensions nécessite l'intégration de données multiples et variées, et soulève des questions très diverses dans le domaine de la recherche et des applications. La pluralité de ces questions requiert la mise en place d'approches systémiques, que ce soit dans le cadre de la biologie intégrative, de la sélection prédictive ou du concept d'élevage de précision (Faverdin, 2012). La masse d'information générée par le développement des technologies en « omiques » (génomique, protéomique, métabolomique), des outils d'identification (RFID...) et d'enregistrements automatisés (capteurs, ...), crée de fait un besoin croissant d'accès à des paramètres divers à la fois sur les animaux et leur environnement (Hocquette *et al.*, 2011). Or, les données disponibles peuvent être de nature très hétérogène (échelles moléculaires, tissulaires, de l'animal ou d'une de ses fonctions, du troupeau), et issues de bases de données d'origines multiples. Cette diversité laisse aussi apparaître une variabilité importante dans la terminologie des termes et des procédures de mesures utilisées selon les pays, les laboratoires ou les entreprises. Cette variabilité est un frein à la création de réseaux de données partagées et à leur utilisation à large échelle dans le cadre de méta-analyses. C'est pourquoi il s'avère nécessaire de disposer d'un langage commun qui définisse précisément et de manière univoque les caractéristiques des animaux et de leurs environnements d'élevage. Ce langage commun doit permette le partage d'informations par l'ensemble de la communauté scientifique et technique concernée par les productions animales et qui soit rendu aussi compréhensible à la fois par les ordinateurs et par des personnes non familières de l'ingénierie informatique du traitement de l'information. Ce besoin de normalisation et de définition peut être satisfait avec la construction d'une ontologie, qui est une représentation formelle d'un ensemble de termes et de concepts, et des relations entre ces concepts, dans une discipline ou un domaine spécifique (Grüber, 1993). Des ontologies ont été développées dans de nombreux domaines, en particulier en biologie. Certaines de ces ontologies renseignent plus ou moins directement sur les caractères phénotypiques en traitant de la typologie, l'anatomie, la biochimie, la santé ou des fonctions biologiques (NCBO Bioportal, Gene Ontology, http://www.bioontology.org), mais celles s'adressant plus directement au phénotypage sont peu nombreuses et concernent plus généralement l'homme ou les modèles animaux utilisés pour étudier les maladies humaines (Human trait ontology, Mammalian Phenotype Ontology (Monget et Le Bail, 2009).

C'est pourquoi un projet a été monté en 2009, à l'initiative du département PHASE de l'INRA, pour développer des ontologies ciblées sur les productions animales et leurs finalités. Ce projet a été conduit en étroite collaboration avec l'Université de l'Iowa (USA) qui avait initié une première approche au sein du programme «Animal Genome Research Program» de l'USDA (Hughes *et al.*, 2008). Le programme INRA-PHASE comporte deux ontologies distinctes : ATOL (Animal Trait Ontology for Livestock), un référentiel des caractéristiques phénotypiques des animaux de rente, et EOL (Environment Ontology for Livestock)pour définir les paramètres environnementaux des pratiques et des systèmes d'élevage dans lesquels vivent les animaux.

L'objectif de cette publication est de préciser les principes des ontologies, leurs caractéristiques et leurs domaines d'application pour les productions animales, en l'illustrant dans le cas de la production porcine.

1. MATERIEL ET METHODES

1.1. Principes d'élaboration des ontologies ATOL/EOL

L'ontologie doit décrire le domaine d'intérêt à l'aide de concepts définis de façon univoque et de relations, clairement définies, organisés de manière structurée, l'ensemble étant lisible par des machines, en vue d'un traitement informatique de ces données. On peut dire que « l'ontologie est aux données ce que la grammaire est au langage » (Wikipedia, 2013).

La difficulté première de la construction d'une ontologie est de normaliser ses concepts pour permettre les échanges de connaissances, tout en préservant la diversité des langages et des représentations du domaine d'intérêt. La construction doit également bien cerner le champ de ses utilisations et de ses objectifs, déterminants dans le choix des concepts clefs et de leur organisation. Une ontologie trop fournie en concepts marginaux et mal structurés, est difficile à construire et rebute les utilisateurs potentiels. Il peut être préférable au contraire d'établir un référentiel restreint et consensuel, et ensuite de régulièrement l'incrémenter, comme l'a montré le succès de la base *Gene Ontology*.

Les objectifs assignés au développement d'ATOL et EOL, étaient 1/ de constituer des ontologies qui fassent référence au niveau international pour le phénotypage des animaux d'élevage et qui soient partagées par la communauté des utilisateurs (scientifiques, enseignants, techniciens, éleveurs), 2/ de disposer d'un langage formel compréhensible par les programmes informatiques pour différentes applications, 3/ de retenir les descripteurs phénotypiques et environnementaux les plus génériques possibles entre les espèces de vertébrés ciblées, et incluant le porc 4/ de rendre l'ontologie des caractères phénotypiques (ATOL) la plus opérationnelle et proche des techniques de mesure, et structurée à des fins de productions.

Dans un premier temps, et concernant ATOL, la démarche a été de mobiliser un collectif d'une cinquantaine de chercheurs et ingénieurs experts, fédéré par un animateur et de six curateurs chargés de la collecte et de la validation des concepts (ici les caractères phénotypiques) avant leur mise en ligne sur un site internet ouvert au public. Ces curateurs assurent cette fonction autour de sept finalités englobant les filières de productions animales et les fonctions/productions associées : Bien-être et adaptation au milieu d'élevage, Alimentation et nutrition, Qualité de la chair et croissance, Production laitière et mamelle, Fertilité et reproduction, Qualité de l'œuf et qualité du Foie gras. La construction initiale s'est appuyée sur la base partagée de l'ontologie VT (Vertebrate Trait) du consortium USDA (Park *et al.*, 2013). L'ontologie EOL a été élaborée en parallèle pour décrire les conditions d'élevage associées aux caractères phénotypiques (ATOL). Ce second chantier a notamment été initié dans le

cadre du projet Européen AQUAEXCEL (Aquaculture Infrastructures for Excellence in European Fish Research, http://www.aquaexcel.eu/) qui visait à un partage de données sur les infrastructures et les pratiques d'élevage aquacole, entre structures de recherches et secteur industriel. L'organisation fonctionnelle construite pour EOL a été ciblée initialement sur les poissons, puis élargie aux espèces terrestres.

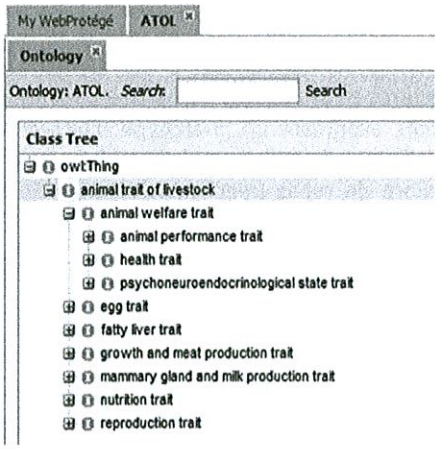
2. RESULTATS

2.1. Structure des ontologies

Ontologie ATOL

La structure hiérarchique d'ATOL est constituée de sept sous-arbres de caractères associés aux domaines d'intérêt ou aux fonctions biologiques définis précédemment. Chaque sous-arbre décline les caractères d'intérêt selon une structure hiérarchique, du concept général jusqu'au caractère mesurable qui en constituent les "feuilles" (Figure 1A).

A



B

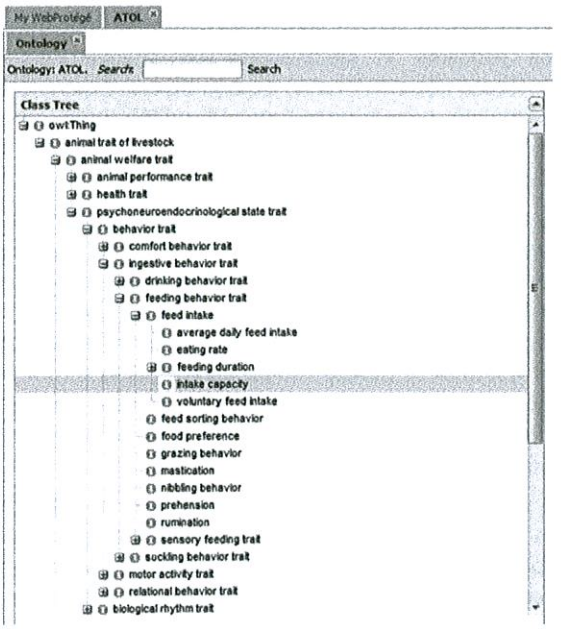


Figure 1 - Structure hiérarchique de l'ontologie ATOL, avec les sept finalités d'intérêt à la racine (A), et l'arborescence de la finalité «Bien-Etre» (*animal welfare trait*) aboutissant par exemple au caractère unitaire mesurable «capacité d'ingestion» (*intake capacity*) (B).

Par exemple, dans l'arborescence de la finalité Bien-être *(welfare)*, trois dimensions caractérisent l'évaluation du bien-être : les performances zootechniques (*animal performance trait*), la santé (*health trait*) et les réponses psychophysiologiques des animaux (*psychoneuroendocrinological trait*). Chaque dimension est à son tour décrite par un sous-arbre. L'exemple est illustré sur la figure 1B par le cas de la dimension «réponse psychophysiologique» (*psycho*-neuroendocrinological *trait*) et du concept «comportement» (*behavior trait*). Le comportement se décline en différents comportements, dont le comportement d'ingestion (*ingestive behavior*), qui se spécialise pour l'ingestion d'éléments solides (*feeding behavior*) en différents caractères mesurables tels que la capacité d'ingestion (*intake capacity*), pouvant caractériser le phénotype d'un animal à forte ou faible capacité. Un caractère est défini dans l'ontologie de manière unique, par un identifiant et une définition, quelle que soit l'espèce considérée. Mais, le même caractère peut appartenir à différents sous-arbres de l'ontologie, comme dans le cas du caractère« capacité d'ingestion » (*intake capacity*), associé à la fois à la finalité «Bien-être» (*welfare*) et à «Nutrition» (*nutrition*). Actuellement, la base ATOL contient 2 048 caractères normalisés.

Ontologie EOL

La structure hiérarchique d'EOL comprend quatre sous-arbres décrivant les caractéristiques 1/ des pratiques alimentaires et de l'aliment (*diet modality*), 2/ de l'environnement biotique et physicochimique (*livestock farming environment*), 3/ de l'environnement physique (*livestock farming structure*), 4/ des systèmes d'élevage (*livestock farming system*). Comme pour ATOL, chaque axe est décliné selon une arborescence de plus en plus spécifique, aboutissant à la mesure d'un paramètre unitaire (Figure 2). Par exemple, aux feuilles de l'arborescence des pratiques alimentaires (*diet modality*), on trouve la durée de la distribution alimentaire (*feed delivery duration).* Actuellement la version publique EOL contient 630 paramètres pour l'ensemble des productions animales.

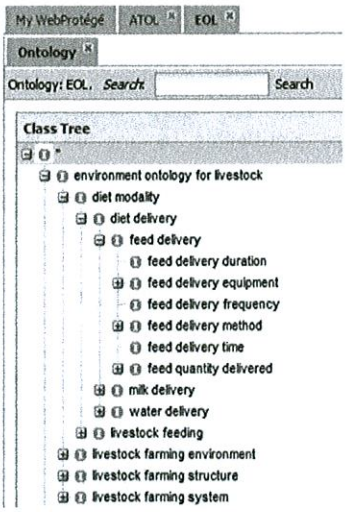


Figure 2 - Structure hiérarchique de l'ontologie EOL.

Dans les deux ontologies, chaque caractère phénotypique (ATOL) ou paramètres de l'environnement (EOL) est décrit par un ensemble d'informations destinées à définir le concept, identifier son origine et faciliter son utilisation. Ce sont : 1/ un identifiant ATOL, avec la référence à l'identifiant de la base initiale VT s'il y a lieu (comportement alimentaire ATOL:0000363 VT:0001431); de même dans EOL, il y a des identifiants spécifiques (durée de distribution EOL:0001750),

et à chaque identifiant est associé la source du concept (groupe de travail INRA:PHASE ou une autre ontologie telle que « Mouse Genome Informatics Curator », 2/ un nom qui correspond à l'usage le plus fréquent et le(s) synonyme(s) éventuels qui peut(vent) être exact(s) ou proche(s) selon le degré de similitude fonctionnelle ou sémantique, 3/ une définition dont la forme suit un cadre standardisé (ex : *any measurable or observable characteristic related to, any measure related to any subjective or objective measure of*), 4/ une validation par espèce de l'utilisation du caractère ATOL, 5/ les liens à des sites apportant des informations sur l'item (publications, gènes candidats, ARN, bases de données ...), 6/ les phénotypes connus associés au caractère ATOL, 7/ les méthodes de mesure de ce caractère avec des liens vers des bases de données sur les procédures de mesure des caractères phénotypiques et des paramètres environnementaux.

La démarche générique appliquée à la définition des caractères ATOL permet, dans un grand nombre de cas, d'assigner le même nom et la même définition à différentes espèces animales de rente. La pertinence du caractère est indiquée pour chacune d'elles. Un terme "vedette" est choisi pour nommer le concept, mais les termes spécifiques sont inclus dans les synonymes; par exemple le caractère «niveau de glucocorticoïdes» (*glucocorticoids level* » ATOL:0000363) fait référence à des hormones corticoïdes différentes selon l'espèce mais ses différentes acceptions apparaissent comme des synonymes proches : cortisol pour le porc, corticostérone pour les oiseaux. Les ontologies sont représentées dans le langage OWL (*Ontology Web Language*, standard RDF et syntaxe XML). Nous avons utilisé l'éditeur d'ontologie libre «Protégé» de l'Université de Stanford (http://protege.stanford.edu) et l'environnement Web Protégé collaboratif. Ces outils sont des références parmi les plus connues et utilisées dans le domaine des ontologies. Des outils (AlvisIR, BioYaTeA (URL), TyDI) d'analyse sémantique (Golik *et al.*, 2012) ont été utilisés afin d'enrichir les ontologies avec de nouveaux concepts et synonymes, et de vérifier l'usage des termes et synonymes en contexte. Cette démarche s'est appuyée sur une extraction des termes des publications du Journal scientifique « Animal » qui permet de couvrir l'ensemble des finalités ciblées et à partir des sites généralistes de recherche bibliographique comme Google Scholar (Golik *et al.*, op. cit.). L'utilisation internationale de ces deux ontologies a motivé leur construction en langue anglaise, avec la perspective d'une traduction ultérieure en français pour un meilleur accès des différents acteurs des productions animales.

2.2. Applications des ontologies en production porcine

2.2.1. *Démarche expérimentale*

L'indexation des caractères des animaux et des paramètres de l'environnement, par les ontologies ATOL et EOL, peut contribuer à la standardisation des protocoles d'expérience soumis à la nouvelle réglementation européenne sur l'expérimentation (2010/63/UE *protection of animals used for scientific purposes*). Les ontologies peuvent aussi enrichir les protocoles, par l'ajout de caractères nouveaux en relation avec le caractère étudié. Par exemple, le concept de prise alimentaire (*feed intake* ATOL:0000772) peut être appréhendé non seulement par la quantité moyenne ingérée par jour (*daily feed intake*ATOL:0000773), mais aussi par la répartition des prises alimentaires en séquences distinctes (*meal number* ATOL:0000777).

L'apport des ontologies répond aussi au changement de paradigme observé dans les travaux de recherche privilégiant de manière croissante les approches intégrées et systémiques.

Le développement de méta-analyses ou de modèles de prédiction nécessite la création de bases de données partagées pour laquelle la standardisation des termes et une connaissance fine des conditions de mesures des paramètres utilisés (méthodes de mesure et environnement du caractère mesuré) sont nécessaires.

2.2.2. *Programme de phénotypage*

Les ontologies ATOL et EOL peuvent améliorer les conditions de mise en œuvre du phénotypage à haut débit des animaux d'élevage, défini comme une méthode de détermination de phénotypes mesurables de façon reproductible, automatisable et rapide de sorte que le processus de mesure génère un grand nombre de données (Hocquette *et al.*, 2011, 2012).

La généricité excessive de certains caractères, tels que le comportement alimentaire, peut les rendre difficile à appréhender dans leur globalité. L'explicitation de ces caractères généraux en plusieurs caractères spécifiques telle que dans ATOL est alors très utile. Dans l'exemple de l'ingestion, ces spécialisations sont en autre la quantité ingérée mais aussi la distribution des prises alimentaires. Le groupe de caractères peut dès lors permettre d'identifier des animaux candidats exprimant un phénotype d'intérêt sur un caractère quantifiable du comportement alimentaire, par exemple le nombre de repas (*meal number* ATOL:0000777 ; élevé : grignoteurs ou faible : mangeurs de gros repas ; Labroue *et al.*, 1996), ou la consommation alimentaire résiduelle (*residual feedintake*ATOL:0002160 ; Gilbert *et al.*, 2006).

2.2.3. *Elevage de précision*

L'élevage de précision se caractérise par une intégration de toutes les composantes des agrosystèmes. Dans la composante animale, il vise à contrôler la variation entre les individus afin de piloter son élevage plus précisément et améliorer ainsi l'exploitation des ressources avec des animaux plus robustes et adaptables aux changements (climat, ressources alimentaires, ...) ou à la diversité des systèmes de productions. La gestion maîtrisée des différentes composantes des systèmes inclut aussi l'obtention de produits animaux conjuguant qualité et traçabilité (IFIP, 2013).

Les nouvelles technologies de l'information, de moindres coûts et miniaturisées, avec des outils d'identification individuelle, et des systèmes d'enregistrements automatisés et informatisés sur les animaux et les dispositifs d'élevage, génèrent là aussi une masse d'informations potentiellement exploitables par des systèmes de décision en temps réel. Elles seront en retour susceptibles de modifier le fonctionnement des dispositifs utilisés (dispositifs automatique d'alimentation, tri des animaux).

Les ontologies ATOL et EOL permettent par la standardisation des concepts et leur hiérarchisation, une spécification des informations caractérisant l'animal, l'élevage et leurs interactions, dans une démarche d'élevage de précision. La multiplicité des signaux enregistrés (ou enregistrables dans le futur) par de multiples capteurs va aussi générer de nouvelles données, à des échelles de temps et de nature multiples, qu'il importera de définir et auxquelles il conviendra de donner du sens. Une ontologie apporte un cadre conceptuel de nature à faciliter cette opération.

2.2.4. *Analyse sémantique*

Les documents scientifiques et techniques dans le domaine de la production porcine s'adressent à de nombreux utilisateurs, de la recherche, l'enseignement ou la filière. Ils constituent une abondante source de connaissances, sous-exploitée parce que sous forme textuelle. Les technologies avancées d'analyse sémantique relient automatiquement les concepts des ontologies aux termes du texte. Ainsi, tous les articles de la revue scientifique « Animal » ont été indexés. Grâce à la structure hiérarchique de l'ontologie, le moteur de recherche permet de rechercher des informations très fines à partir d'une requête générale. Cette première expérience ouvre la voie dans le projet *TriPhase* du département PHASE à l'indexation à grande échelle des bases de données bibliographiques du domaine des productions animales avec les ontologies ATOL et EOL. Notre ambition est de créer un outil pour réaliser des bilans des connaissances en croisant systématiquement les données normalisées, qu'elles proviennent des bases de données structurées comme de la bibliographie. Il deviendra ainsi possible de faire un bilan des connaissances sur un thème précis dans le domaine de la production porcine et des finalités ciblées.

CONCLUSION

La mobilisation du collectif qui porte le programme ATOL/EOL s'inscrit dans une démarche de standardisation qui doit être constante et itérative pour enrichir et faire évoluer ces ontologies, en fonction des nouveaux besoins et de l'évolution des technologies utilisées pour phénotyper les animaux. L'accès en ligne des ontologies (http://www.atol-ontology.com) contribue à leur dissémination mais également à leur amélioration grâce au recueil de commentaires et propositions de la part des utilisateurs.

En parallèle à ce travail sur les ontologies ATOL et EOL, un programme est engagé sur la constitution d'un référentiel des procédures de mesures, visant à cerner l'ensemble des éléments qui valident un phénotype donné (caractère phénotypique, condition d'élevage, procédure de mesure), l'accès se faisant de manière informatique.

Les soutiens à ces outils des institutions publiques et des partenaires privés acteurs de la filière porcine devraient permettre leur appropriation, leur développement et leur utilisation par les chercheurs et les ingénieurs des productions animales.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Faverdin F., 2012. New perspectives and risks of precision livestock farming systems. In Proceeding 63th EAAP Meeting, 27-31 Bratislava, Slovakia, p298.
- Gilbert H., Bidanel J.P., Gruand J., Caritez J.C., Billon Y., Guillouet P., Noblet J., Sellier P., 2006. Sélection divergente pour la consommation alimentaire résiduellechez le porc en croissance : paramètres génétiques et réponses à la sélection 2006. Journées Rech. Porcine, 38, 111-118.
- Golik W., Dameron O., Bugeon J., Fatet A., Hue I., Hurtaud C., Reichstadt M., Meunier-Salaün M.C., Vernet J., Joret L., Papazian F., Nédellec C., Le Bail P.-Y., 2012. ATOL: the multi-species livestock trait ontology. Proc. 6th Conference on Metadata and Semantic Research (MTSR'12), Cadiz, Spain, pp 28-30.
- Grüber T.R., 1993. A translation approach to portable ontology specification. Knowledge acquisition, 5, 199-220.
- Hocquette J.F., Capel C., David V., Guéméné D., Bidanel J., Barbezant M., Gastinel P.L., Le Bail P.Y., Monget P., Mormède P., Peyraud J.L., Ponsart C., Guillou F., 2011. Les objectifs et les applications d'un réseau organisé de phénotypage pour les animaux d'élevage. Rencontres Recherches Ruminants, 15, 439-442.
- Hocquette J.F., Capel C., David V., Guéméné D., Bidanel J., Ponsart C., Gastinel P.L., Le Bail P.Y., Monget P., Mormède P., Barbezant M., Guillou F., Peyraud J.L., 2012. Objectives and applications of phenotyping network setup for livestock. J. Anim. Sci., 83, 517–528.
- Hughes L.M, Bao J., Hu Z.L., Honavar V., Reecy J.M., 2008 Animal tait ontology: the importance and usefulness of a unified trait vocabulary for animal species. J. Anim. Sci., 86, 1485-1491.
- IFIP, 2013. Nouvelles technologies : vers des élevages porcins « de précision ». Porc Magazine, 472, p19.
- Labroue F, Sellier P, Guéblez R, Meunier-Salaün MC, 1996. Estimations des paramètres génétiques pour les critères de comportement alimentaire dans les races Large White et Landrace Français. Journées Rech. Porcine, 28, 23-30.
- Monget P., Le Bail P.-Y., 2009. Le phénotypage des animaux : le nouveau défi ? Animal phenotyping: the new challenge? RencontresRecherches Ruminants, Paris 16, 407-409.
- Park C.A., Bello S.M. Smith C.L., Hu Z.-L., Munzenmaier D.H., Nigam R., Smith J.R., Shimoyama M., Eppig J.T., Reecy J.M., 2013. The Vertebrate Trait Ontology: a controlled vocabulary for the annotation of trait data across species. J.Biomed.Semantics, 4,13.
- Wikipedia, 2013. http://fr.wikipedia.org/wiki/Ontologie_%28informatique%29.