

Le contexte du phénotypage animal, ses acteurs

Bernadette Urban¹, Stéphane Ingrand², Jean-Pierre Bidanel³, Philippe Pradel⁴, Mélanie Martignon⁵, Edmond Ricard⁶

Résumé. Développer et mettre en production des outils informatiques mutualisés de phénotypage animal relève certes d'un collectif d'informaticiens mais fait aussi appel à des collaborations multiples de nombreux acteurs de différents métiers de la recherche et requiert l'adhésion de différents maillons d'un dispositif complexe. Cet article vise à décrire les principaux intervenants du phénotypage animal mobilisés par les Départements de Recherche Génétique Animale (GA) et Physiologie Animale et Systèmes d'Élevage (Phase) : l'ensemble du dispositif expérimental concerné, la CNUe (Commission Nationale des Unités Expérimentales), le CTIG (Centre de Traitement de l'Information Génétique) qui héberge les bases de données et les applications, et le Cati (Centre Automatisé de Traitement de l'Information) Sicipa (Systèmes d'Informations et de Calcul pour le Phénotypage Animal) en charge de produire des outils informatiques mutualisés de phénotypage animal pour les deux Départements de Recherche.

Mots clés : phénotypage animal, expérimentation, élevage, outils informatiques, haut débit, précision, équipement, soutien, mutualisation, qualité, communauté de pratiques

Le dispositif expérimental GA et Phase concerné par le phénotypage animal : état des lieux, enjeux et perspectives

Une part importante des recherches conduites par les chercheurs des Départements Phase (Physiologie Animale et Systèmes d'élevage) et GA (Génétique Animale) est basée sur des expérimentations conduites dans les Unités Expérimentales (UE) des deux Départements. Pour répondre aux besoins de recherche, un important réseau d'UE a été mis en place entre les années 1960 et 1980. L'évolution des besoins de la recherche et la nécessité de rénover un certain nombre d'installations vieillissantes a conduit à une restructuration du dispositif expérimental animal à partir du début des années 2000 et à la parution du rapport de J.M. Elsen en 2005 (<https://intranet.inra.fr/phase/Departement/Les-unites/Infos/Rapport-Elsen>). Les Départements, notamment GA et Phase, ont restructuré leurs dispositifs de recherche en les combinant chaque fois que les enjeux scientifiques et organisationnels s'y prêtaient. Cette restructuration s'est aussi faite en lien avec d'autres Départements (Santé Animale, Environnement et Agronomie, Biologie et Amélioration des Plantes), mais dans une moindre mesure (**Tableau 1**). L'organisation actuelle de l'ensemble du dispositif, découle de mouvement de fond, qui s'est traduit par la rénovation de la plupart des UE et la fermeture d'un certain nombre de sites. Cette réorganisation se poursuit de façon à accompagner l'évolution des besoins (élevage de précision, phénotypage fin, systèmes alternatifs...), dans le cadre de la démarche en cours de labellisation des infrastructures scientifiques collectives, par le collège de Direction de l'Inra, qui valide ou non les propositions des Départements.

Actuellement, l'ensemble de nos dispositifs (GA et Phase) regroupe environ 380 personnes, en incluant les agents des Départements partenaires. Selon la clé typologique considérée, il est possible de distinguer plusieurs grands types de dispositifs :

- ✓ administrativement : les UE ont un/e directeur/trice et se distinguent des Installations Expérimentales (IE), qui sont rattachées directement à une Unité de Recherche (UR), sans direction spécifique. Ces dernières sont généralement de taille plus réduite que les UE (**Tableau 1**) et dévolues entièrement aux recherches conduites dans l'UR dont elles dépendent. Les UE sont plus autonomes, fonctionnent en s'appuyant sur un conseil scientifique d'utilisation (CSU) et sont ouvertes à l'ensemble de la communauté scientifique, à la R&D (recherche et développement), voire à des partenaires privés, y compris hors de France. En cas de cotutelle pour une UE (les agents relèvent de plusieurs Départements), un Département est désigné pour en être le « pilote », c'est-à-dire le correspondant privilégié pour la direction ;

1 UMR Physiologie, Environnement et Génétique pour l'Animal et les Systèmes d'Élevage, Inra, 35590 Saint-Gilles, France

2 UAR Département Physiologie Animale et Systèmes d'Élevage, Inra, 63122 Saint-Genès-Champanelle, France

3 UAR Département Génétique Animale, Inra, 78352 Jouy-en-Josas, France

4 UE Herbipôle, Inra, 15190 Marcenat, France

5 UAR Santé Animale, Inra, 37380 Nouzilly, France

6 UMR Génétique Physiologie et Systèmes d'Élevage, Inra, 31326 Castanet-Tolosan Cedex, France

sicipa-contact@inra.fr

- ✓ scientifiquement : certains dispositifs expérimentaux ont comme mission principale la fourniture d'animaux, de tissus et d'organes, avec des caractéristiques bien définies, pour des recherches en physiologie ou plus généralement à des niveaux d'organisation allant du gène à l'organe. D'autres sont dévolus à des essais de long terme, pluriannuels, relevant de recherches sur l'animal et les systèmes d'élevage. Ces derniers sont souvent sur des sites plus éloignés par rapport aux scientifiques utilisateurs ;
- ✓ selon les espèces animales présentes : la plupart des espèces élevées dans les fermes commerciales européennes sont présentes dans nos dispositifs : bovins, ovins et caprins (laitiers et allaitants), porcins, volailles (dont les lapins), poissons, équins. Certaines de ces espèces sont utilisées comme des modèles pour d'autres, voire pour l'Homme (dans le cadre de recherches ayant des applications biomédicales) ; d'autres espèces sont présentes uniquement avec ce statut d'animal modèle : rongeurs, mini-porcs, poissons zèbre, médaka...

L'ampleur des dispositifs expérimentaux gérés par les Départements GA et Phase découle du fait que la plupart des recherches reposent sur des protocoles impliquant des animaux, même si les techniques *in vitro*, la modélisation et les observations en fermes commerciales se développent, avec le fait que la règle des 3R est une priorité (réduire, remplacer, raffiner). Le suivi des publications, dont au moins un des co-auteurs relève de nos Départements, montre qu'environ deux tiers d'entre elles sont réalisées avec des données issues de nos dispositifs expérimentaux. Il est donc capital d'organiser la collecte, le stockage et la mise à disposition de ces données pour la communauté scientifique qui les utilise, sachant qu'en même temps, une partie de ces données est nécessaire pour les agents en charge du suivi des protocoles et de la conduite de l'élevage (prise de décisions, traçabilité des événements, démarche qualité). C'est dans ce cadre et avec ces objectifs que les Départements GA et Phase ont décidé de mettre en place le Cati Sicpa, en nommant Bernadette Urban (Phase) et Edmond Ricard (GA), animateurs de ce collectif, pour ce projet ambitieux qui a démarré en 2012 et regroupe actuellement 28 personnes (le plus souvent à temps partiel).

Les perspectives d'évolution du dispositif actuel sont de plusieurs natures, en relation avec le développement de l'élevage de précision. Souvent associé aux capteurs et au monitoring, il constitue de notre point de vue un objectif vertueux décrivant les pratiques de l'éleveur, pour lequel les capteurs et le monitoring ne sont qu'un moyen d'y parvenir (**Figure 1**) et pas uniquement dans le cadre des élevages intensifs :

- ✓ la montée en puissance du phénotypage à haut débit et de ce qu'il est convenu d'appeler le « big data » en général. Elle va contribuer à la compréhension des mécanismes, à l'identification de leviers permettant de piloter ces mécanismes, le plus précocement et le plus précisément possible (modélisation prédictive, biomarqueurs), mais aussi pour mieux adapter en conséquence l'environnement aux besoins des animaux d'élevage. Pour les dispositifs expérimentaux, cela se traduit par la mise en place d'équipements de phénotypage fin (capteurs, caméras, sondes...). Les conséquences sont entre autres des quantités croissantes de données à gérer, des compétences nouvelles à acquérir (analyse de signal, traitement de données...) et une démarche qualité renforcée en termes de fiabilité des données (étalonnages, vérifications...) ;
- ✓ l'adaptation de certains de nos dispositifs à des expérimentations de long terme, pour la conception et l'évaluation de systèmes d'élevage en rupture. Ces expérimentations sont souvent qualifiées d'expérimentations systèmes et nécessitent l'association de plusieurs compétences et disciplines, pour évaluer des critères de performances de nature technique, économique, mais aussi sociale et environnementale qui supposent l'acquisition de données permettant de les évaluer. Là encore, cela engendre une évolution forte des compétences et des métiers des agents impliqués dans ces démarches, mais aussi une exigence vis-à-vis des chercheurs qui est d'être lisible sur les objectifs et sur l'utilisation qui est faite des données acquises ;
- ✓ la mobilisation des principes de l'agro-écologie pour faire évoluer les systèmes d'élevage vers

des modèles que nous voulons promouvoir va nécessiter de faire évoluer au moins une partie de nos dispositifs en termes d'articulation (d'intégration) entre ateliers, à la fois animaux et végétaux ; en d'autres termes, il s'agit de mobiliser les principes de l'économie circulaire, dans l'esprit « tes déchets deviennent mes ressources ». Cela nécessitera sans doute plus de coordination entre les Départements « animaux » et « végétaux » ;

- ✓ l'ouverture plus importante de nos dispositifs est également un objectif important, qui doit permettre de les positionner comme des outils incontournables dans les domaines de compétence de l'Inra (agriculture, environnement, alimentation). Cette ouverture se traduira pour les UE animales, à la fois par un accès aux dispositifs pour expérimenter, par la fourniture de matériel biologique à des fins agronomiques et biomédicales et par la mise à disposition des données produites dans le cadre des politiques « Open Access » et « Open Data » de l'Inra. Elle doit être raisonnée et pilotée de façon à permettre à l'Inra et aux communautés scientifiques concernées d'en tirer le meilleur profit.

Les dispositifs expérimentaux concernés par le Cati Sicpa sont au cœur d'enjeux cruciaux qui concernent : i/ l'élevage et les modèles de systèmes d'élevage que l'Inra veut soutenir et promouvoir, en lien avec l'alimentation humaine et la sécurité de cette alimentation ; ii/ l'avancée des connaissances dans le domaine biomédical pour des applications en santé animale mais aussi humaine. Ils doivent contribuer individuellement à répondre à ces enjeux, mais aussi collectivement. Ainsi, la mise en commun des données qu'elles produisent et l'interopérabilité des bases de données qu'elles contribuent à renseigner est devenue nécessaire et indispensable. C'est l'objectif que les directions des Départements GA et Phase ont validé pour le Cati Sicpa depuis sa création. La 3e génération des Catis, prévue pour être lancée à l'Inra dans le courant de l'année 2018, doit constituer pour le Cati Sicpa une phase de continuité de déploiement des applications développées au cours des deux générations précédentes et une phase de prospection sur de nouvelles technologies pour mieux répondre aux besoins de tous les acteurs de Phase et GA concernés par le phénotype animal.

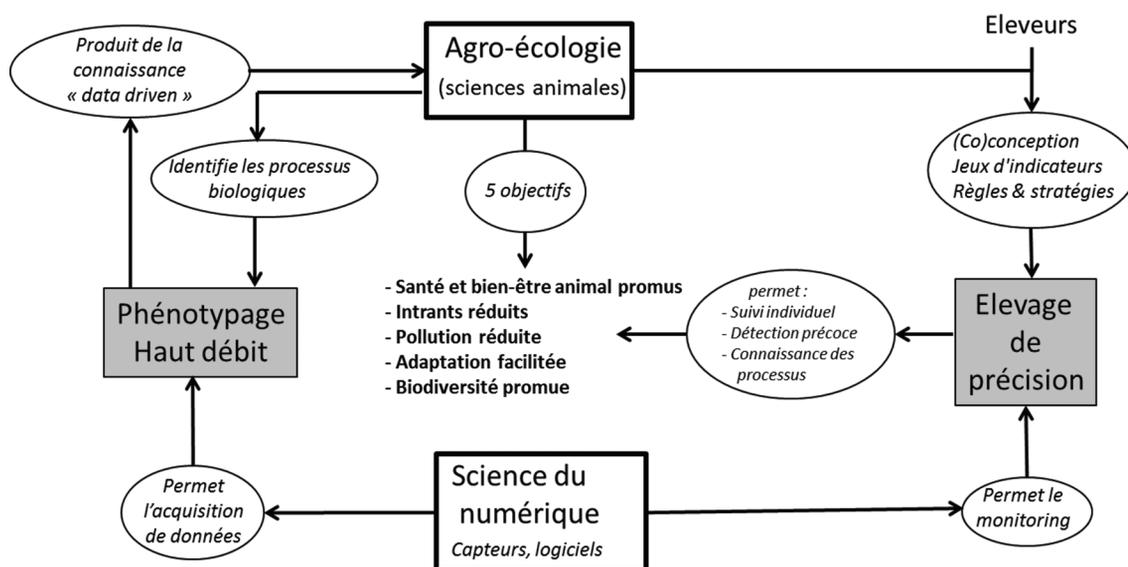


Figure 1. Les sciences du numérique et l'agro-écologie permettent à la fois la production de connaissances en sciences animales et la mise en place de l'élevage de précision, au service de systèmes d'élevage plus durables.



Tableau 1. Dispositifs expérimentaux des Départements GA et Phase
(en gras, le Département pilote quand une UE relève de plusieurs tutelles)

Statut	Acronyme	Nom	Centre Inra	Effectif Inra	Autres partenaires
UE	Bourges	Domaine de Bourges	Val de Loire	27 GA	
UE	EASM	Élevage Alternative et Santé des Monogastriques	Nouvelle Aquitaine Poitiers	17 Phase 7 SA	
UE	Ferlus	Fourrages, Environnement, Ruminants, Lusignan	Nouvelle Aquitaine Poitiers	13 Phase 18 Bap 5 EA	Geves (1)
UE	Genesi	Génétique, Environnement et Systèmes Innovants	Nouvelle Aquitaine Poitiers	20 GA 7 Phase	CHU (2)
UE	Herbipôle	Herbipôle	Auvergne Rhône Alpes	89 Phase	
UE	La Fage	La Fage	Occitanie Montpellier	18 GA	
UE	Le Pin	Le Pin	Bretagne Normandie	30 GA	Agrial (1)
UE	PAO	Physiologie Animale de l'Orfrasière	Val de Loire	43 Phase	
UE	PEAT	Pôle d'Expérimentation Avicole de Tours	Val de Loire	21 Phase 8 GA	
UE	Pectoul	Pôle Expérimental Cunicole de Toulouse	Occitanie Toulouse	11 GA 3 Phase	
UE	Peima	Pisciculture Expérimentale des Monts d'Arrée	Bretagne Normandie	9 Phase 2 GA	
UE	PFG	Palmpipèdes à Foie Gras	Nouvelle Aquitaine Bordeaux	13 Phase 1 GA	Itavi (4)
UE	PR	Porcs de Rennes	Bretagne Normandie	25 Phase 8 GA	FGPorc (2)
UE	PTEA	Pôle Tropical d'Expérimentation Animale	Antilles-Guyane	28 GA	
UE	UCEA	Unité Commune d'Expérimentation Animale	Jouy-en-Josas	12 Phase	
UMS	Amagen	Genetic Engineering for Aquatic Animal Models	Jouy-en-Josas	5 Phase	CNRS (2)
UAR	Aquapole	Unité Support Aquapôle	Nouvelle Aquitaine Bordeaux	8 Phase 1,5 Sdar	
IE	DMEM	Dynamique Musculaire et Métabolisme	Occitanie Montpellier	4 Phase	
IE	Gabi	Génétique Animale et Biologie Intégrative	Jouy-en-Josas	3 GA	
IE	Genphyse	Génétique, Physiologie et Systèmes d'Élevage	Occitanie Toulouse	5 GA	
IE	LPGP	Laboratoire de Physiologie et Génomique des Poissons	Bretagne Normandie	3 Phase	
IE	Mosar	Modélisation Systémique Appliquée aux Ruminants	Jouy-en-Josas	5 Phase	
IE	Numéa	Nutrition, Métabolisme, Aquaculture	Nouvelle Aquitaine Bordeaux	9 Phase	
IE	Pegase	Physiologie, Environnement et Génétique pour l'Animal et les Systèmes d'Élevage	Bretagne Normandie	18 Phase	

La Commission Nationale des Unités Expérimentales : accompagner le dispositif expérimental dans ses évolutions

La CNUE accompagne la mise en place du phénotypage haut débit dans les dispositifs expérimentaux de l'Institut. D'une part, elle peut apporter une aide au financement des outils nécessaires, d'autre part, elle soutient la démarche qualité dans les dispositifs expérimentaux, structuration indispensable à la gestion du grand nombre de données générées.

La CNUE est placée sous l'autorité du Directeur général délégué en charge des programmes, du dispositif et de l'évaluation scientifiques, via le Délégué aux Infrastructures Scientifiques Collectives (Disc). Elle est chargée du suivi de la mise en œuvre de la politique d'organisation du dispositif expérimental de l'Inra, dans l'objectif de sa meilleure adaptation aux besoins de la recherche permettant ainsi aux équipes de bénéficier d'une capacité expérimentale stratégique (Note de service n° 2009-03). La CNUE intervient sous différents aspects (missions, moyens, pilotage...), en lien avec les Départements de Recherche. Pour cela, une de ses missions centrales est d'avoir une connaissance approfondie et actualisée des différents composants du dispositif expérimental de l'Inra (patrimoine, installations et dispositifs expérimentaux, superficies, cheptels, ressources financières et humaines dédiées, etc.) et d'en vérifier l'opérationnalité. Le périmètre d'action de la CNUE concerne l'ensemble du dispositif expérimental de l'Institut : UE, IE, CRB (Centre de Ressources Biologiques), SOERE (Système d'Observation et d'Expérimentation pour la Recherche en Environnement) et plateformes technologiques.

Elle est constituée d'une équipe administrative, d'une quinzaine de membres répartis sur toute la France et d'un animateur. Ces référents CNUE, sont en charge des dossiers que porte la Commission en fonction de leurs domaines d'expertise.

Ces dernières années, le phénotypage haut débit a pris de l'importance notamment dans les UE et IE. Ce développement n'est pas sans conséquence sur le dispositif expérimental. La CNUE accompagne donc cette évolution sous différents angles.

La mission historique de la CNUE est de soutenir financièrement les outils expérimentaux de l'Institut pour les aider au renouvellement et à la modernisation des équipements. Elle gère un budget collectif d'investissements dédié aux UE et IE via le FCI (Fond commun d'investissement). À ce titre de nombreuses demandes d'aide au financement de dispositifs de phénotypage animal haut débit (dispositifs de mesure individuelle de l'ingestion, pesée automatique, dispositifs de mesure de production de méthane, capteurs d'activités...) ont été arbitrées favorablement lors des campagnes annuelles de soutien à l'investissement. D'autre part, le FCI a pour objectif de contribuer à une optimisation des moyens financiers de l'établissement dans le cadre des investissements réalisés par les UE et IE de l'Inra. Il gère ainsi les dépôts des Unités dans le cadre d'investissements pluriannuels programmés et peut accorder des avances de trésorerie pour l'anticipation d'investissements pour les UE et IE.

La CNUE assure la promotion de la démarche qualité dans les UE et IE et de la structuration de communautés de pratiques, soutient les actions de maîtrise des risques professionnels et encourage l'émergence de méthodes techniques génériques. Au travers de l'organisation d'écoles techniques thématiques, du soutien au fonctionnement en réseau, de la diffusion régulière d'un bulletin d'information (LUE, archivée sur le site <http://cnu.e.inra.fr>), la CNUE contribue aux échanges de pratiques.

Certains référents de la CNUE participent aux réflexions sur la mise en place de l'Open Data qui concerne entre autres les très nombreuses données générées par les dispositifs d'acquisition automatique utilisés pour le phénotypage haut débit.

La CNUE accompagne donc les dispositifs expérimentaux dans leur évolution vers le phénotypage haut débit afin que ces derniers répondent au plus près aux besoins des scientifiques partenaires.





Le CTIG, une infrastructure mise au service du phénotypage

Un des partenaires privilégiés du Cati Sicpa est le CTIG, à la fois Cati et Unité de service dont une des missions consiste à mettre à disposition du Département GA, et par extension du Cati Sicpa, les moyens informatiques nécessaires à leur activité : serveurs d'application, logiciels, bases de données, stockage, sauvegarde, administration système... Les Départements GA et Phase bénéficient ainsi pour les données de phénotypage issues de leurs UE et IE, d'un service d'hébergement fiable, sécurisé et pérenne.

Les autres missions du CTIG concernent la gestion de bases de données zootechniques nationales et l'évaluation génétique des reproducteurs, ainsi que la réalisation de prestations informatiques en relation avec les deux missions précédentes, pour des clients externes tels que des Instituts techniques (Idele Institut de l'élevage et Ifip Institut du porc), des laboratoires d'analyses génétiques et des organismes de sélection. À ce titre il est amené à définir des architectures techniques robustes capables de satisfaire aux exigences techniques des utilisateurs, à héberger des bases de données génétiques en traitant des volumes de données importants tout en assurant leur intégrité et leur exhaustivité : un gros volet de ses activités concerne les données de sélection bovines (en 2015, la base regroupait les données de 187 millions de bovins et recevait de l'ordre de 140 millions d'apports de données par an), mais le CTIG c'est aussi des ovins laitiers (6 millions), des ovins allaitants (19 millions), des caprins (5 millions), des porcs, des chevaux.

Le CTIG est engagé depuis de nombreuses années dans une démarche qualité pour garantir la qualité technique de ses prestations, améliorer de façon continue la communication avec ses clients, avoir la capacité d'offrir des solutions complètes de l'hébergement jusqu'à l'évaluation, viser une excellence technologique dans son activité « évaluation génétique ». Ses activités d'évaluations génétiques bovines, de la gestion des données jusqu'à la réalisation, bénéficient depuis 2006 d'un certificat ISO 9001 : 2000 qui reconnaît la qualité des processus de gestion mis en œuvre et lui permet d'améliorer son positionnement à l'international.

Le Cati Sicpa, une approche intégrée des données de phénotypage animal

Les Centres automatisés de traitement de l'information, condition réglementaire pour les personnels de Bap E (NS 2008-39 et NS 2012-36), sont une modalité d'organisation en collectif des personnels en charge de la production informatique.

Le Cati Sicpa a été créé en 2012 à la demande des Départements GA et Phase. Sa mission consiste à proposer et déployer des solutions matérielles et logicielles de gestion de données d'élevage et d'expérimentation pour répondre aux besoins scientifiques de l'ensemble des personnels (UR + UE et IE) des Départements GA et Phase en matière de phénotypage. Il rassemble 28 informaticiens répartis sur tout le territoire français, dont les compétences complémentaires leur permettent d'intervenir à tous les stades d'un projet, de la donnée brute à sa mise à disposition sous une forme plus ou moins élaborée aux scientifiques. Les informaticiens restent sous la responsabilité directe de leur DU respectif, mais pour le pilotage des projets informatiques communs, le Cati a sa propre gouvernance au travers d'un comité d'orientation composé des informaticiens animateurs du Cati et des représentants des Départements (Chefs de Départements et Chefs de Départements adjoints en charge des UE/IE).

Fédérer des Unités autour d'outils communs et créer une dynamique dans un groupe d'informaticiens issus de deux cultures et d'histoires différentes n'est pas toujours facile ; à l'origine on avait deux Départements et deux organisations différentes pour gérer les développements informatiques : une équipe de développement et des outils génériques pour l'ensemble des élevages d'une même espèce d'un Département avec une

exploitation déportée par les scientifiques / des informaticiens isolés mais proches des besoins spécifiques de leur UE/IE ou UR, ayant développé des outils sur mesure qui offraient des possibilités de sorties intégrées assez fines mais qu'il était nécessaire de rénover. Au final, on constate que les types de besoins dans les élevages tendent aujourd'hui à converger malgré des niveaux de moyens et d'approche différents.

Et là où au démarrage du Cati, on raisonnait souvent en cherchant un représentant GA et un représentant Phase, on raisonne désormais en terme de compétences et de disponibilités.

La fiabilisation, l'harmonisation et la mutualisation des outils, des méthodes de travail et des moyens humains mis à disposition du Cati Sicpa sont devenues progressivement des lignes conductrices fortes de notre collectif qui lui permettent de maintenir différents types d'outils et de SI (**Figure 2**) : équipes de développement par projet / centralisation des bases de données au CTIG / outils multi-espèces / tronc commun multi-application / webservices et interopérabilité des bases de données / définition par type d'application, de conventions d'interfaces utilisateurs communes / création d'un groupe technique multi-projet / harmonisation des méthodes et outils de gestion de projet et de développement pour les nouveaux SI.

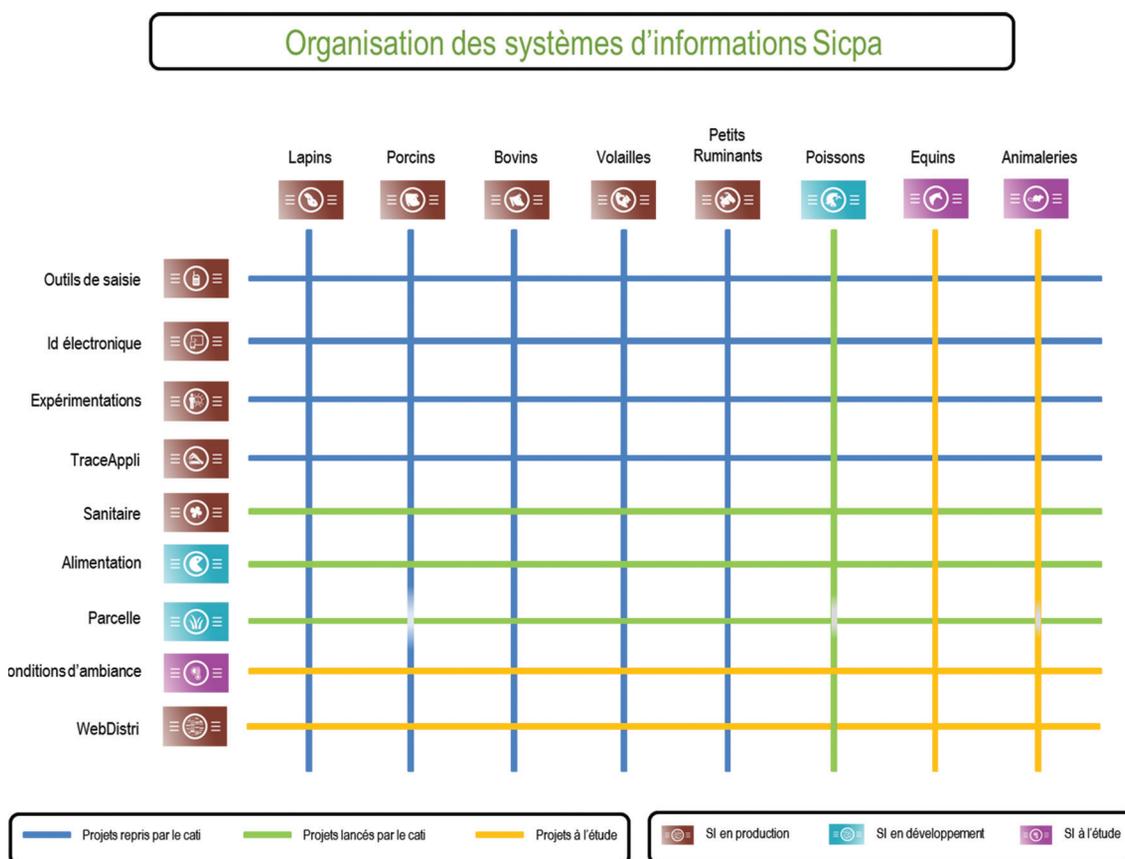


Figure 2. Les systèmes d'Informations maintenus par le Cati Sicpa.

Référence bibliographique

INRA (2009) Note de service n° 2009-03. Mise en place d'une nouvelle Commission Nationale des Unités Expérimentales (CNUE).

