

Conseil Scientifique de l'institut des sciences de l'ingénierie et des systèmes (INSIS)

Recommandations

Concernant l'interdisciplinarité et son évaluation

Contexte

Le Centre National de la Recherche Scientifique est un organisme de recherche national qui opère sur un champ très vaste de connaissances. Son organisation interne repose sur des blocs disciplinaires qui s'agrègent au sein des différents instituts qui le composent. Chacun d'entre eux est donc par nature multidisciplinaire. L'Institut des Sciences de l'Ingénierie et des Systèmes (INSIS) en est une illustration. La recherche entre les disciplines, qu'elle se conjugue au niveau d'une trajectoire de recherche individuelle, au sein de projets collaboratifs ou au sein des unités est désormais une pratique extrêmement présente voire dominante au sein de INSIS. Comment définir ces pratiques, les évaluer, les favoriser, comment aider les acteurs des laboratoires à se situer suivant les différents degrés de l'interdisciplinarité et à valoriser leur parcours scientifique ? Ces questions demeurent complexes. Les recommandations que nous formulons ici partent de différents constats et de l'analyse de différentes études de cas relatifs à des actions de recherche au sein de INSIS. Nous proposons différentes pistes de réflexion pour l'institut d'ingénierie et au-delà pour l'ensemble de l'organisme. Notre souci a été de s'interroger avant tout sur la justesse de la démarche interdisciplinaire, c'est à dire sur sa valeur ajoutée par rapport à une démarche disciplinaire. Ces pistes sont le fruit d'un travail collectif, échelonné sur près de 3 années d'échanges et d'auditions de différents acteurs de l'interdisciplinarité.

Note : Les termes « chercheur » ou « ingénieur » sont à comprendre comme « chercheur et chercheuse », « ingénier ou ingénieure ». Afin de ne pas alourdir le texte, l'écriture inclusive n'a été spécifiquement utilisée que pour la rédaction des recommandations en tant que telles.

1. D'un concept passe-partout à une démarche bien construite

a. Disciplines et interdisciplinarité

Même si cela peut ressembler à un truisme, s'intéresser à l'interdisciplinarité suppose de se pencher au préalable sur la notion de discipline. L'article de L. Endrizzi [1] apparaît à ce titre très intéressant, en ce sens qu'une discipline ne se définit pas que par sa dimension épistémologique, première acceptation intuitive qui est loin d'en embrasser tous les aspects. D'autres considérations la fondent tout autant et les chercheurs vivent cette réalité au quotidien sans en avoir réellement conscience.

Nous avons ainsi retenu deux citations de cet article qui éclairent cet aspect :

- « Pour Besnier et Perriault (2013), chaque discipline possède « un langage propre, des méthodes, des programmes, une organisation, mais aussi une base sociale et institutionnelle, des moyens d'assurer une continuité et de préserver ou d'étendre une influence, et enfin une capacité à se donner une image et une légitimité en écrivant sa propre histoire » ».

- « Les disciplines présentent ainsi une unité à la fois épistémologique (lois et principes, ontologies...), cognitive (méthodologies, pratiques, critères d'évaluation...) et sociologique (dynamique du système de publications, groupes au sein desquels les chercheurs se connaissent, se reconnaissent, se cooptent, ouverture sur la société civile...) (Kleinpeter, 2013). »

Un des corollaires de ce constat est que la définition et les contours d'une discipline ne revêtent de ce fait pas un caractère universel mais peuvent connaître des variantes importantes, y compris géographiques. Le terme « electrical engineering » en est un exemple. Au sens de la société savante IEEE, il recouvre l'électronique, l'électrotechnique, l'électronique de puissance, l'automatique, une partie des sciences de la communication. Sa traduction littérale en français de « génie électrique » recouvre une définition beaucoup plus réduite autour de la génération et de la conversion de l'énergie électrique à des niveaux de puissance au-delà de la centaine de watts.

b. Définitions

La définition de discipline est donc multiple et complexe. La définition de l'interdisciplinarité l'est tout autant. Il nous est apparu important de proposer trois termes : multidisciplinarité (polydisciplinarité ou pluridisciplinarité considérés comme synonymes), interdisciplinarité et transdisciplinarité. Ces trois termes, correspondant à des activités de recherche qui convoquent plusieurs disciplines et le plus souvent plusieurs acteurs de ces disciplines, sont gradés en fonction des niveaux d'interactions et d'intégration qu'ils engendrent :

Multi, Pluri ou Poly Disciplinarité ($D1 + D2$) : les disciplines sont juxtaposées. L'effort multidisciplinaire se résume principalement à rendre intelligible aux partenaires, les concepts et le vocabulaire de sa propre discipline, permettant ainsi de bien définir les attendus de chaque discipline.

Inter Disciplinarité ($D1 \cap D2$) : les disciplines s'interpénètrent. Au moins un des acteurs se propose, au démarrage du projet, de faire avancer par les actions communes, les savoirs, les techniques ou les théories propres à la discipline de son partenaire. A la fin du projet, les acteurs ont réussi à faire progresser leur propre discipline ainsi que celles des partenaires. Ce type d'activités génère de nouvelles questions fondamentales, instrumentales ou applicatives qu'il n'était pas possible d'imaginer avant le démarrage du projet.

Trans Disciplinarité ($D1UD2$) : l'activité interdisciplinaire a été capable de générer une masse critique de problématiques qui dépassent les frontières des disciplines, considérées séparément. Chaque acteur a amené de nouveaux questionnements au sein de sa propre discipline mais qui sont le fruit de la convergence avec l'autre discipline, on peut parler alors de réciprocité de l'inter-disciplinarité. Les succès obtenus entraînent d'autres acteurs sur la même voie. Un nouveau vocabulaire émerge, une communauté se crée, de nouvelles techniques, de nouveaux modèles ainsi que des nouveaux outils de simulation sont développés. De nouveaux lieux de recherche dédiés sont créés. L'activité est alors transdisciplinaire et pourra éventuellement donner naissance à une nouvelle discipline.

La figure 1 tente d'illustrer de manière très imparfaite la progression entre ces trois concepts. Lorsque le sens n'en est pas ambigu, on utilise dans ce rapport le terme d'« interdisciplinarité » pour qualifier de manière générale ce type de démarche, sans faire nécessairement référence au deuxième degré de l'échelle que nous venons de fixer (comme dans le titre de ce paragraphe par exemple).

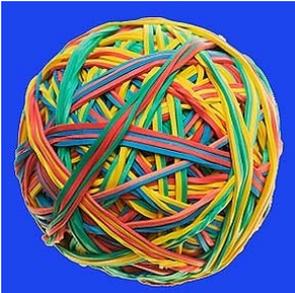
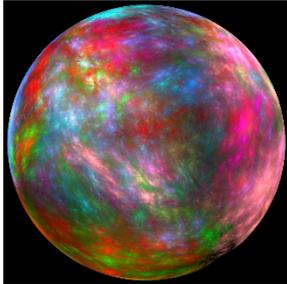
Multidisciplinarité	Interdisciplinarité	Transdisciplinarité
		

Figure 1 : Illustration des concepts de multi-, inter- et trans- disciplinarité

c. Des concepts non partagés

La démarche de définition de ces concepts n'est pas seulement satisfaisante du point de vue intellectuel. Elle est également nécessaire pour fixer, dès le début d'une collaboration, les ambitions que l'on se donne. En effet, une démarche de type interdisciplinaire implique un effort supplémentaire pour partager des concepts, des outils, des méthodologies, des usages de publication et de dissémination de la connaissance différents. Il convient donc de mesurer en quelque sorte le rapport entre le coût de ces efforts et le bénéfice qu'il y a à en tirer.

Ainsi, il est paradoxal de constater que ces concepts ne sont pas utilisés de manière claire et rigoureuse dans les appels à projets que nous avons analysés. Cette situation est d'autant plus paradoxale que l'interdisciplinarité y est souvent mise particulièrement en avant. Ainsi, les appels à projet H2020 FET (Future Emerging Technologies) identifient l'interdisciplinarité comme l'un des six critères d'évaluation de l'excellence d'un projet, en le spécifiant explicitement [8] et en pointant sa différence avec la multi-disciplinarité. Le terme « Interdisciplinary » reprend le concept d'interdisciplinarité, voire de transdisciplinarité tel que présenté au 1-b de ce document. En revanche, le Plan d'Action 2017 de l'ANR [7], sur lequel se basaient les appels à projet ANR, utilise le concept d'interdisciplinarité de manière très inhomogène (que ce soit dans la terminologie ou dans la description du concept). De plus, il ne fait pas partie des critères d'évaluation ; on peut regretter ce dernier point pour certains appels, traitant notamment de systèmes complexes (Défi 1 par exemple) pour lesquels étaient explicitement attendus des projets interdisciplinaires.

Nous avons cherché à savoir si des définitions claires étaient partagées au CNRS. Il semble que ce ne soit pas le cas. En effet, le rapport de phase 1 de l'Etude sur l'Interdisciplinarité dans la gestion des personnels chercheurs [2] indique que, pas plus au CNRS qu'ailleurs, la définition de l'interdisciplinarité ne fait consensus parmi les Directeurs Adjointes Scientifiques (DAS) et les Directeurs d'Unités (DU) consultés. La Mission pour l'Interdisciplinarité a proposé au Conseil Scientifique le 7 mars 2011 la définition suivante : « L'interdisciplinarité est un ensemble d'approches scientifiques et simultanées d'un objet de recherche, croisant les points de vue de plusieurs disciplines. La marque essentielle d'une approche interdisciplinaire est la formulation d'un questionnement et d'une synthèse tous deux concertés, croisés et d'intérêt conjoint ». Celle-ci nous semble relever plus de ce que nous avons défini comme multidisciplinaire et ne définit pas avec suffisamment de précision les interactions attendues et les résultats escomptés qui nous semblent pourtant des éléments importants pour définir un projet. Un autre exemple de cette situation est l'appel à projet MOMENTUM, lancé par le CNRS en 2017, qui définissait 13 domaines dans lesquels étaient attendus des propositions de projets qualifiés d'émergents et transdisciplinaires, sans aucune précisions [5].

Ce flou relatif dans les définitions est d'autant plus surprenant que l'interdisciplinarité est considérée au CNRS comme une préoccupation importante depuis plusieurs décennies. Les premiers programmes de recherche interdisciplinaires (PRI) datent de 1975. En 1989, à l'occasion des 50 ans du CNRS, elle a été considérée comme l'un des 5 défis majeurs pour 2039. En 2010, la cour des comptes questionnait le CNRS sur la façon de concrétiser sa vocation interdisciplinaire et multidisciplinaire affichée dans son contrat d'objectifs.

Les outils du CNRS qui nous sont apparus les plus visibles sont la Mission pour l'Interdisciplinarité (MI) créée en janvier 2011 et les Commissions Interdisciplinaires (CID). Nous relevons que sur les 5 CID actuelles, aucune n'est pilotée par l'INSIS.

La double structuration du CNRS en sections et en instituts, pour opérationnelle qu'elle soit du point de vue organisationnel, est certainement un frein à la promotion de l'interdisciplinarité. L'organisation en sections forme des ensembles à spectre disciplinaire plus ou moins large caractérisé par un nombre restreint de mots clés (quelques unités). Ces frontières disciplinaires sont robustes mais n'en présentent pas moins une certaine plasticité. Si les mots clés principaux sont ainsi relativement pérennes, des sujets aux frontières apparaissent, les intitulés des sections s'élargissent et s'enrichissent en particulier de mots clés secondaires pour les appréhender. Cette inflation de mots clés secondaires, que l'on retrouve également dans la cartographie thématique élaborée par l'INSIS avec une granularité pas toujours homogène, a interpellé les membres de notre CSI. La promotion de l'interdisciplinarité peut donc également passer par une réflexion sur les périmètres disciplinaires des sections et les CID.

L'appel à proposition de la Mission pour l'Interdisciplinarité du CNRS de 2017/2018 [9] marque une certaine évolution. Jusque-là, les appels à propositions de la MI plaçaient l'interdisciplinarité au niveau de projets collaboratifs avec, comme nous l'avons vu, une dimension plus pluri-disciplinaire qu'interdisciplinaire. L'appel 2018, quant à lui, marque une nouveauté en se positionnant au niveau de la trajectoire individuelle d'un chercheur. Ainsi l'appel « Osez l'interdisciplinarité » s'adresse à des chercheurs au CNRS depuis au moins 8 ans souhaitant orienter leur trajectoire scientifique vers une nouvelle thématique interdisciplinaire, le soutien budgétaire de la MI devant leur permettre de passer à l'action. Les critères d'évaluation de cet appel à projets sont l'interdisciplinarité, la prise de risque et le caractère de rupture du projet personnel, autant d'éléments « anxigènes » qui dessinent la mise en pratique de l'interdisciplinarité comme un véritable parcours du combattant. De manière intéressante, la mobilité géographique semble être également un critère valorisant pour le candidat. Cet appel à proposition devrait permettre un soutien conséquent à quelques chercheurs pour effectivement prendre un risque interdisciplinaire. Le soutien résolu du CNRS à des chercheurs seniors (8 ans d'ancienneté au moins), l'association explicite de l'interdisciplinarité à la prise de risque, à la mobilité géographique et à une entreprise individuelle, sont des éléments à interroger pour le futur, à la lumière des résultats de cet appel et de son effet sur le long terme sur la carrière des chercheurs sélectionnés. Parmi les 20 lauréats du premier appel, 3 d'entre eux s'inscrivent au sein de l'Institut INSIS et il est intéressant de noter que les 3 projets concernent le champ interdisciplinaire du vivant (implant auditif, thérapie osseuse à base d'Ultra-Sons, nano-optogénétique). A plus court terme, l'évaluation de ces projets, la constitution du comité chargé de cette évaluation, les critères d'appréciation de l'interdisciplinarité et de la rupture, sont des éléments qui doivent être réfléchis rapidement par le CNRS. Nous espérons que la présente contribution du CSI de l'INSIS pourra aider à cette réflexion.

L'interdisciplinarité et ses déclinaisons méritent donc d'être définies de manière précise au sein de l'INSIS et plus largement du CNRS, afin de clarifier la démarche scientifique à adopter : quels sont les efforts que les parties prenantes sont prêtes à consentir, quelles interactions sont à mettre en place, quelles modalités d'échange seront adoptées, quels sont les objectifs du projet et les résultats escomptés. Sans ce préalable, la démarche interdisciplinaire risque fort d'en rester au stade d'une

intention incantatoire ou de provoquer un investissement dissymétrique faisant d'une des disciplines la boîte à outils de l'autre. Définir les concepts permet également de se poser la question qui nous est apparue cruciale de l'évaluation *a priori* et *a posteriori* de l'interdisciplinarité au sein du projet.

2. Evaluation *a priori* et *a posteriori*

Sur les cas d'appel à projets que nous avons étudiés, le bénéfice de l'interdisciplinarité est posé comme un paradigme de démarche scientifique de qualité. Il nous est apparu qu'il était important de s'interroger sur cette question. En effet, ainsi que le souligne N. Kroichvili dans son rapport d'HdR [10], «... il semble important d'évaluer le potentiel de l'interdisciplinarité afin de mesurer si la connaissance sur l'objet ou l'analyse du problème peut réellement progresser davantage dans l'interdisciplinarité que dans la recherche disciplinaire.». Une analyse coût/bénéfices doit pouvoir être menée en amont, et de manière rétrospective en aval, d'un projet par la ou les équipes qui l'initient.

De même, si l'interdisciplinarité est identifiée comme un des critères d'évaluation des réponses à un appel à projet, il apparaît nécessaire que les indicateurs de cette interdisciplinarité puissent être explicités.

a. Analyse coût/bénéfice de l'interdisciplinarité

Comme nous l'avons déjà évoqué, travailler dans un contexte de multidisciplinarité, *a fortiori* d'interdisciplinarité, voire de transdisciplinarité, représente un coût en termes d'investissement en temps et en moyens. En effet, dans une équipe projet multidisciplinaire, il convient pour chacun de s'approprier à minima le vocabulaire des autres disciplines et de définir les attendus de chacune des autres disciplines. L'ambition peut aller jusqu'à développer de nouvelles méthodes, un nouveau corpus, un nouveau champ sémantique si on vise la transdisciplinarité. La problématique est encore plus aigüe quand on n'envisage pas une équipe mais un chercheur travaillant sur un sujet réputé interdisciplinaire. C'est une situation à laquelle peut être confronté, par exemple, un candidat à une ERC Grant, appel totalement centré sur l'investigateur principal. Aussi, une évaluation *a priori* de la valeur ajoutée d'une démarche interdisciplinaire (au sens large) pour résoudre une problématique est nécessaire. La question mérite d'être posée sans considérer d'emblée qu'elle s'impose comme une évidence ou un critère de qualité. Lorsqu'il s'agit de rédiger un appel à projet, le même questionnement est de mise et devrait être sérieusement soupesé.

Le corollaire de ces réflexions est de poser le problème de l'évaluation de l'interdisciplinarité sous au moins deux aspects :

- Quels sont les indicateurs pour évaluer le degré d'interdisciplinarité, c'est à dire son intensité ?
- Quels sont les indicateurs pour évaluer la valeur ajoutée de l'interdisciplinarité dans le projet proposé, c'est à dire sa justesse ?

De même, à l'issue du projet, les questionnements duals sont :

- Quel a été le niveau de multi/inter/trans disciplinarité ?
- Quel a été le ratio bénéfice/effort de la démarche interdisciplinaire adoptée ?
- Quels résultats sont imputables à ce choix ?

Les réponses à ces questions ne sont en rien triviales dans la plupart des cas.

b. Les indicateurs et les comités d'évaluation

La constitution des comités pour l'expertise des réponses à appel à projets interdisciplinaires a été particulièrement discutée au sein du CSI et cette question reste ouverte. Si on s'en réfère aux appels à projets évoqués précédemment, on constate des pratiques diverses pour ce qu'on peut en savoir :

- la Mission pour l'Interdisciplinarité du CNRS ne communique pas sur la constitution des comités, elle s'appuie sur l'expertise des Directeurs Adjointes Scientifiques,
- l'ANR fonctionne par défi au contour plus ou moins large. La seule référence est la possibilité offerte aux comités d'évaluation scientifique de faire appel, à titre exceptionnel, à un expert d'un autre comité ou à un expert externe, pour évaluer des projets pluridisciplinaires,
- pour les FET (Future and Emerging Technologies) de H2020, l'interdisciplinarité est un des 4 critères de la note « excellence » qui compte pour 60% de la note finale. Les champs des différents évaluateurs sont réputés couvrir tous les mots-clés du projet. Il en est de même du panel du comité de classement.

La présence de spécialistes de chacune des disciplines concernées est donc la solution communément retenue pour les comités d'expertises. Elle ne lève pas le risque que chacun des spécialistes juge les retombées du projet trop faibles à l'aune de sa propre discipline, sans embrasser les enjeux plus globaux. La présence d'un membre pratiquant lui-même ce type de démarche pourrait tempérer cet aspect.

L'absence d'indicateurs pour la mesure du degré d'interdisciplinarité et de son efficacité pousse les équipes de recherche à un isomorphisme institutionnel en réponse à une injonction institutionnelle aux contours flous, dans lequel le questionnement sur la pertinence d'une démarche interdisciplinaire et de sa mise en œuvre n'est jamais posé.

3. Le chercheur interdisciplinaire

a. Le chercheur interdisciplinaire existe-il ?

Comme il a déjà été souligné, l'interdisciplinarité peut s'entendre à l'échelle d'un projet, rassemblant plusieurs chercheurs. Le sujet est déjà complexe. Mais elle peut être recherchée également à l'échelle d'un seul chercheur. Une question peut légitimement être posée : « le chercheur interdisciplinaire existe-il ? ». Si la réponse est positive, comment peut-on l'identifier et caractériser son activité ?

La direction des ressources humaines du CNRS a fait paraître un rapport sur cette question [2]. L'étude concernait exclusivement les chercheurs. Cependant, les considérations suivantes peuvent se généraliser aux ingénieurs dans les fonctions de soutien à la recherche. Les auteurs de l'étude proposent des critères pour identifier les chercheurs dits « interdisciplinaires » de manière systématique, à partir des bases de données disponibles. Ces critères sont :

- un chercheur dont la section d'évaluation ne correspond à aucune section de rattachement de l'unité d'affectation,
- un chercheur dont la section d'évaluation est différente de la section principale de l'unité d'affectation mais qui figure dans les sections secondaires de rattachement,
- un chercheur ayant fait des candidatures multi-instituts lors du concours de recrutement,
- un chercheur ayant fait une mobilité inter-institut.

Les principaux défauts identifiés par les auteurs de l'étude sont l'absence dans les bases de données de la granularité « équipe » et de mots clés sur la thématique de recherche.

Si l'identification systématique issue de bases de données de ressources humaines pourrait s'avérer pratique, elle ne nous semble pas pouvoir aboutir à un résultat pertinent. Un chercheur peut fort bien mener une recherche interdisciplinaire dans un laboratoire de sa section d'origine, sans avoir fait de candidatures multiples et sans mobilité inter-instituts, ni même de mobilité du tout. De même, un chercheur dont la section d'évaluation est différente de la section principale de rattachement peut fort bien mener une recherche pleinement mono-disciplinaire.

En revanche, ce travail pourrait être mené de manière plus efficace par les sections du comité national qui peuvent évaluer la thématique de recherche au cas par cas, si elles disposent d'une définition partagée de l'interdisciplinarité.

b. Quel est le portrait-robot du chercheur interdisciplinaire ?

Un autre volet de l'étude [2] concerne la définition du profil du chercheur interdisciplinaire. D'après le rapport, deux profils radicalement différents peuvent décrire le chercheur interdisciplinaire :

- un senior expert de son domaine qui peut prendre plus facilement des risques,
- un junior qui a une formation initiale dans une discipline et qui fait sa thèse dans une autre.

Les risques identifiés pour le chercheur interdisciplinaire sont :

- l'isolement disciplinaire (pas d'espaces d'échanges et de coopération, manque de ressources cognitives nécessaires à l'activité),
- la technicisation : le chercheur qui est l'unique spécialiste de sa discipline est considéré comme un prestataire de services par le reste de l'équipe.

L'indicateur utilisé actuellement pour identifier une situation difficile est la baisse du rythme de publication ou l'absence de publications, ce qui n'est pas pertinent car un chercheur en situation de technicisation peut tout à fait être associé aux publications de l'équipe. Là encore, il nous semble que les sections sont les plus à même d'identifier ces situations à risques, à condition d'y avoir été invitées.

Enfin, le dernier risque identifié dans l'étude [2] est une plus difficile reconnaissance de l'activité d'un chercheur interdisciplinaire. Ainsi, il peut enregistrer un retard de carrière lié au temps nécessaire à l'amorçage de l'activité. De plus, malgré les injonctions à la prise de risques, il n'y a pas de critères supplémentaires valorisant la prise de risques pour elle-même : c'est quitte ou double. En cas de succès, le statut de pionnier sera valorisé en tant que tel. En cas d'échec, en revanche, les années consacrées à cette recherche compteront pour rien et risquent de lui être imputées à titre personnel (manque d'investissement, manque de dynamisme...) mais pas à sa prise de risques.

Enfin, une des conditions du succès étant la réciprocité du bénéfice pour toutes les parties concernées, la bonne image de l'interdisciplinarité au sein d'une discipline et plus largement d'un institut doit être partagée au sein de l'autre discipline ou de l'autre institut. Dans le cas contraire, c'est la double peine, non seulement les résultats tardent à venir mais ils sont considérés comme de moindre de valeur, trop superficiels, ne constituant pas une progression de l'état de l'art disciplinaire.

L'étude [2] est une phase 1 et s'appuie sur les entretiens avec des Directeurs Adjointes Scientifiques et des Directeurs d'Unité. La phase 2, annoncée dans le rapport, devait s'appuyer sur des entretiens avec des chercheurs. Il est dommage qu'à notre connaissance, les résultats de cette phase 2 n'aient pas été publiés.

Dans son ambition à soutenir et développer l'interdisciplinarité, l'INSIS, et plus largement le CNRS, doit-il privilégier des recrutements interdisciplinaires ou au contraire favoriser l'ouverture interdisciplinaire de chercheurs déjà confirmés et reconnus dans leur discipline ? Il nous semble pour notre part que dans le premier cas, il faut que préexiste dans les unités un terreau d'accueil interdisciplinaire sous la forme d'équipes déjà lancées sur ces thématiques et que le second est un élément permettant d'initier l'émergence de ces futures équipes interdisciplinaires. Un paramètre dont il faut également tenir compte est que le développement d'une direction de recherche qui se retrouve en dehors de l'activité "mainstream" du laboratoire requiert dans la majorité des cas des moyens spécifiques, notamment en équipements. Le besoin d'un important investissement de départ représente de ce fait une barrière supplémentaire à franchir pour développer une activité interdisciplinaire.

Néanmoins il nous semble qu'il existe au CNRS et au sein de l'INSIS des exemples de constructions interdisciplinaires réussies, sereines, échappant aux radars de détection précédemment évoqués (paragraphe 3.a) et sur lesquelles l'institut et l'organisme doivent s'appuyer afin d'éviter qu'interdisciplinarité soit toujours conjuguée avec risques et problèmes.

4. Etudes de cas

Même si quelques exemples ne valent pas démonstration, nous nous sommes livrés à l'exercice d'études de cas, choisis de manière arbitraire dans le domaine d'expertise de membres du CSI. Ces études concernent :

- la création d'une équipe de bio-électronique,
- un projet concernant les biscuits actifs,
- la création d'une activité sur les systèmes pile à combustible.

La description in extenso de ces expériences figurent en Annexe. De ces trois expériences, on peut dégager quelques éléments communs, qui ne font néanmoins pas force de loi :

- la conjonction d'opportunités à saisir qui émergent d'acteurs extérieurs (collectivités locales, besoins industriels, regroupements de laboratoires) et de la volonté de chercheurs de s'emparer d'un sujet,
- une prise de risque à la genèse d'un projet, avec des situations néanmoins contrastées : nécessité de démontrer la légitimité d'une nouvelle discipline qui s'empare d'un sujet historiquement dominé par une autre discipline (cas des systèmes pile à combustible) ou bien des équipes bien reconnues sur le sujet qui se retrouvent au sein de la même structure (cas de la bio-électronique),
- un temps de démarrage conséquent du projet, pour soit trouver un langage commun, soit légitimer la démarche,
- un sujet d'étude dans « l'air du temps », qui trouve des financements d'amorçage sur la base de son impact socio-économique potentiel (biscuits actifs et piles à combustible) ou de sa bonne image (bioélectronique).

On constate également que dans les deux cas où il y a pérennisation de l'activité, il y a une étape de structuration forte :

- création d'une équipe stable dans le laboratoire (bioélectronique),
- création d'une fédération de recherche CNRS (systèmes pile à combustible).

Cette structuration n'a cependant pas eu lieu dans le cas des biscuits actifs et il reste difficile de démêler si l'étape de structuration est la conséquence d'un apport réel de l'interdisciplinarité ou si elle en est un déclencheur déterminant. Néanmoins, dans les deux cas où elle a eu lieu, il y a un constat de progression disciplinaire liée à la démarche interdisciplinaire.

Conclusion

L'organisation de l'INSIS sur un mode disciplinaire est la conséquence d'un fonctionnement global de la recherche française, issue de diverses origines, historiques, institutionnelles... Elle ne lui est bien entendu pas particulière. De plus, ces disciplines présentent une certaine robustesse car elles sont bâties non seulement sur un corpus scientifique mais également sur des pratiques communes de publications, de reconnaissance... Il nous semble donc légitime et souhaitable de préserver ce mode de fonctionnement.

L'interdisciplinarité (au sens global et dans ses déclinaisons multi/inter/trans) est un mode de fonctionnement qui peut être très intéressant et fructueux. Il convient donc de le soutenir résolument. Cette position n'est pas antinomique de la revendication disciplinaire dans la mesure où,

comme indiqué en conclusion de [10], « l'interdisciplinarité naît des disciplines et peut les nourrir en retour. L'interdisciplinarité exige donc du chercheur qu'il soit crédible dans sa discipline, tout en étant prêt à sortir du cadre pour se prêter au jeu de l'interdisciplinarité ».

Il nous semble donc qu'il revient à l'INSIS de mettre en œuvre les outils les plus pertinents pour faire émerger et soutenir les sujets interdisciplinaires et les chercheurs qui s'en saisissent, non pas en s'en remettant totalement à des structures externes, mais en mobilisant ses sections disciplinaires, les moyens de structuration tels que les GdR, les fédérations de recherche, la cellule Energie.

Bibliographie et webographie

- [1] Laure Endrizzi, « L'avenir de l'université est-il interdisciplinaire », Dossier de veille de l'IFE, n°120, Novembre 2017
- [2] Florence Bouyer, Stéphanie Cousin, Béatrice Simpson, Vanessa Tocut, « Etude sur l'interdisciplinarité dans la gestion des personnels chercheurs », Rapport de phase 1, 2014, https://www.dgdr.cnrs.fr/drh/omes/documents/pdf/Rapport-Phase1_EtudeInterdisciplinarite_COS19062014.pdf
- [3] « L'interdisciplinarité au CNRS Illustration et témoignage », rapport de la Mission pour l'Interdisciplinarité du CNRS, 2015, http://www.cnrs.fr/mi/IMG/pdf/interdisciplinarite.illustrations_et_temoignages_web.pdf
- [4] Mission pour l'Interdisciplinarité du CNRS, « Rapport d'activité 2013 », <http://www.cnrs.fr/mi/spip.php?article171>
- [5] Appel à projet Momentum du CNRS, 2017, <http://www.cnrs.fr/fr/une/actus/2017/momentum.html>
- [6] Appel à projet générique 2017, ANR, <http://www.agence-nationale-recherche.fr/AAPG2017>
- [7] Plan d'action 2017, ANR, <http://www.agence-nationale-recherche.fr/fileadmin/aap/2017/ANR-plan-action-2017.pdf>
- [8] Horizon H2020- Work Programme 2016-2017, Future and Emerging Technologies, http://ec.europa.eu/research/participants/data/ref/h2020/wp/2016_2017/main/h2020-wp1617-fet_en.pdf
- [9] Appel à proposition de la Mission pour l'Interdisciplinarité, « Osez l'interdisciplinarité », 2018, http://www.cnrs.fr/mi/IMG/pdf/osez2018_texte_aap.pdf
- [10] Nathalie Rodet-Kroichvili, « Mutations des activités productives et mutations de la relation d'emploi : des processus en interaction », Rapport d'HdR, Université Paris-Diderot, 2017

3 Recommandations du CSI INSIS

1. Interdisciplinarité : définition et évaluation

L'interdisciplinarité est une préoccupation importante pour le CNRS depuis plusieurs décennies. Cependant, à l'INSIS comme au CNRS, malgré son importance stratégique et sa mise en avant récurrente, l'interdisciplinarité n'est pas définie précisément et les concepts de multi, inter et transdisciplinarité sont employés de manière indifférenciée. Considérée de facto comme une condition de qualité de la proposition, sa valeur ajoutée et son efficacité au sein de programmes de financements sur projets ne sont ainsi jamais discutées ou évaluées, parce que allant de soi.

Dans la suite de ce texte, le terme d'interdisciplinarité sera utilisé pour qualifier tout type de démarche de recherche entre les disciplines et, lorsque cela sera nécessaire, la gradation multi, inter et trans disciplinarité est précisée.

Il nous semble que ces types de recherches doivent être soutenus et encouragés au sein de l'Institut INSIS peu importe qu'ils soient de nature Multi, Inter ou Trans disciplinaires. Nous proposons donc une grille de lecture à destination de l'institut qui permette de :

- clarifier la position de l'institut sur le sujet des recherches interdisciplinaires,
- mieux repérer les démarches multi, inter ou transdisciplinaires,
- évaluer la justesse de la démarche, c'est-à-dire pour un projet donné ou pour une problématique scientifique donnée, d'apprécier quelle est la valeur ajoutée d'une démarche de type soit Multidisciplinaire, soit Interdisciplinaire, soit Transdisciplinaire, versus une démarche purement disciplinaire : on évalue en quelque sorte ici le degré de l'interdisciplinarité proposée. Ce degré doit être évalué en tant qu'indicateur d'efficacité du projet par rapport à son objectif, et non pas sur une échelle numérique présupposant que plus ce degré est fort et meilleur est le projet,

et qui offre aussi la possibilité :

- à un.e chercheur.se ou un porteur.euse de projet, de faire cette analyse *a priori* (avant de soumettre le projet) et de mesurer ainsi le coût de la démarche versus les bénéfices escomptés,
- à un comité d'évaluation, de convoquer les experts les plus pertinents en fonction de la typologie interdisciplinaire choisie par le porteur,
- à un comité d'appel à projets, d'analyser *a posteriori* les résultats du projet au regard de la démarche mise en œuvre,
- à l'institut INSIS, de suivre l'évolution des trajectoires des personnels qui développent ce type d'activités.

Cette nouvelle posture vis-à-vis des recherches interdisciplinaires nous semble adaptée à l'institut INSIS mais peut également se généraliser aux activités entre les instituts du CNRS. Elle peut être mise en œuvre aussi bien pour des démarches scientifiques personnelles (chercheur.se.s ou ingénieur.e.s) que pour des projets collaboratifs.

En conclusion, nous recommandons à l'Institut INSIS de :

- **définir systématiquement dans tous ses appels à projets les différentes typologies de recherche interdisciplinaires (multi, inter, trans) en s'inspirant des définitions élaborées en CSI,**
- **encourager ce type de recherche, qu'elles aient un caractère multi, inter ou transdisciplinaire,**
- **évaluer ces démarches scientifiques ou ces projets au seul critère de leur pertinence, sans présupposer que leur qualité est nécessairement liée à un fort degré d'interdisciplinarité,**
- **encourager les scientifiques concernés à analyser la démarche interdisciplinaire qu'ils souhaitent mettre en œuvre, en mesurant son coût et ses bénéfices par rapport à une approche plus disciplinaire.**

2. Interdisciplinarité : reconnaître son existence

L'évaluation des activités de recherche par des sections du comité national - majoritairement de nature disciplinaire - peut poser des problèmes dans le cas où ces recherches peuvent être considérées de nature « interdisciplinaire » (dans les différentes acceptions proposées par le CSI INSIS). Il est donc particulièrement important de réfléchir à la qualité des outils dont dispose le CNRS pour apprécier ces activités et les mettre ainsi sur la (ou les) trajectoire(s) optimale(s) pour l'atteinte de leur(s) cible(s)

Le but de cette recommandation est de contribuer à la reconnaissance de l'existence d'une activité « interdisciplinaire » au sein de l'institut (et plus largement du CNRS) qui mérite un accompagnement lors de son émergence, puis un suivi et une évaluation appropriés via la mise en place d'outils spécifiques

Le CSI INSIS recommande de :

- **repenser le périmètre et la pérennité des commissions interdisciplinaires (CID)** afin de s'adapter à l'évolution des thématiques. Elles ont été créées pour répondre aux besoins de domaines d'activité concernant plusieurs sections ou instituts, ayant pour vocation de couvrir un champ de connaissances en émergence ou interdisciplinaire. Contrairement aux sections disciplinaires qui sont structurellement plus pérennes, les CID peuvent avoir un fonctionnement dynamique, en termes de création, de dissolution, d'évolution de périmètre. Ainsi, nous recommandons d'évaluer les actions des CID en place, à chaque mandature, sous le prisme de l'interdisciplinarité, ainsi que vis-à-vis de l'objectif poursuivi lors de leur création. Une attention particulière doit être portée sur les recrutements qui y ont été effectués : les conditions d'accueil et le parcours des chercheurs concerné.e.s, le contenu et l'évolution des projets de recherche qui ont été retenus. Cela permettra d'évaluer la pertinence de la reconduction de ces CID, de modifier leur périmètre, de les dissoudre ou d'en créer de nouvelles, à une fréquence adaptée aux évolutions de l'état de l'art dans les domaines concernés,

- **utiliser les différents outils à la disposition de l'institut pour accompagner et favoriser le développement et la pérennité des nouvelles thématiques identifiées.** Ainsi, pour des sujets interdisciplinaires impliquant plusieurs sections, un GdR peut aider à créer et structurer une communauté, ce qui est une des composantes sociales indispensables au-delà du contenu épistémologique. Les Fédérations de Recherche, structures pouvant disposer de plus de moyens et avoir un effet de guichet unique vis-à-vis des financeurs (typiquement ANR et Union Européenne), peuvent permettre d'accompagner la phase de pérennisation,

- **créer des cellules sur certaines thématiques interdisciplinaires stratégiques**, à l'image de ce qui a été fait pour l'énergie avec la cellule Energie actuellement hébergée par l'INSIS. Comme pour les CID, leur activité, leur impact et leur pérennité devront être examinés périodiquement. Ces cellules doivent être en capacité d'être un interlocuteur légitime et crédible, en position de porter la voix du CNRS en général et de l'INSIS en particulier, de revendiquer son leadership ou sa participation active sur les sujets à fort impact socio-économique relevant de son périmètre, dans les différentes alliances, auprès des ministères de tutelles concernés, vis-à-vis des autres grands organismes de recherche publique (CEA, INSERM, INRIA, INRA, CNES...), sur la large gamme de TRL que couvrent les activités de l'INSIS,

- **faire émerger ou détecter des projets ambitieux, originaux, interdisciplinaires lorsque cela est pertinent, lors de rendez-vous « institutionnels » avec les chercheur.se.s** (journées de rencontre avec les Chargé.e.s de Recherche à 3 ans et 7 ans par exemple) **via la mise en œuvre d'outils de créativité**. Au cours de ces rencontres, des ateliers pourraient être proposés, animés de préférence par des membres extérieurs et spécialistes de méthodes dédiées (par exemple méthode TRIZ¹) pour mieux libérer la créativité. Les propositions qui en émergeront, après un nécessaire criblage, pourraient être croisées avec les avis des directeurs d'unité, interrogés également lors des échanges avec les DAS par exemple, afin de confronter les approches bottom-up et top-down et alimenter la réflexion sur la stratégie scientifique de l'INSIS.

3. Interdisciplinarité : reconnaissance des chercheur.se.s

La direction des ressources humaines du CNRS a publié un rapport d'étude centré sur les « chercheur.es.s interdisciplinaires » [2]. Les membres du CSI en ont conclu que des indicateurs pertinents pour identifier ces chercheur.se.s, qualifier leur activité et identifier les difficultés qu'il.elle.s rencontrent éventuellement sont difficiles, pour ne pas dire impossibles, à calculer à partir d'éléments de carrière disponibles dans les bases de données RH. Aussi il apparaît que l'observatoire le plus pertinent et le plus fin reste les sections du comité national. Cependant, les sections étant elles-mêmes majoritairement disciplinaires, une sensibilisation particulière à ce sujet devrait être faite auprès de leurs membres.

Le but de cette recommandation est de contribuer à la reconnaissance des chercheur.se.s travaillant sur des sujets de recherche entre les disciplines (dits ici « interdisciplinaires ») et à la prévention des risques liés à ce type de recherche pour les chercheur.se.s. Elle a été rédigée à destination des sections du Comité National mais elles peuvent tout aussi bien s'appliquer aux commissions d'évaluation des personnels IT confrontés à des difficultés similaires.

Le CSI INSIS recommande que les membres des sections disciplinaires dépendant de l'INSIS (sections 8, 9, 10) soient sensibilisés aux spécificités des chercheur.se.s interdisciplinaires.

Cette sensibilisation devrait porter sur 3 points : l'identification, les critères d'évaluation, la prévention des risques liés à ces recherches.

1. **La détection** : dans de nombreux cas, seule la lecture approfondie du dossier, que ce soit lors d'une évaluation à mi-vague ou à vague, un concours ou une promotion, permet de détecter un.e chercheur.se interdisciplinaire. De plus, cette orientation peut être prise à tout moment de la carrière, dès le recrutement comme en tant que chercheur.se confirmé.e. Il

¹ Altshuller G.: Et soudain apparut l'inventeur: les idées de TRIZ, 2^e éd., 2006, EAN 978-2-9521-3941-0

conviendrait donc de relever le profil de tels chercheur.se.s et de le qualifier par des mots clés appropriés, y compris en dehors de ceux de sa section d'origine.

2. **Le recours à des experts externes** : le recours à des experts externes est possible par les jurys de concours. On pourrait envisager d'avoir recours à des experts externes également lors des promotions. En effet, le nombre de promotions étant très contraint, les sections sont amenées à comparer les chercheur.se.s entre eux. La valeur des travaux et des indicateurs ne peut être valablement jaugée qu'à l'aune des standards de la communauté concernée, ce qui peut s'avérer difficile pour des sujets interdisciplinaires ou aux interfaces. Si des chercheur.se.s menant des recherches interdisciplinaires ont été identifiés au préalable et font l'objet d'une évaluation, l'apport d'un expert externe ad hoc serait bénéfique.
3. Lorsque des chercheur.se.s ont été recrutés sur des profils colorés interdisciplinaires ou fléchés sur des laboratoires en marge de la section du/de la chercheur.se, **une vigilance spécifique** pourrait être demandée aux sections vis-à-vis des risques relevés dans les cas d'étude présentés en annexe : les situations d'**isolement** où un.e chercheur.se côtoie peu de personnes de sa discipline dans son entourage immédiat pour échanger, les situations de **technicisation**, où les compétences spécifiques d'un.e chercheur.se sont utilisées comme une « boîte à outils », sans lui permettre de faire évoluer ses recherches dans son propre domaine. Un.e chercheur.se dans une telle situation n'est pas toujours à même de s'en rendre compte, il.elle peut être parfaitement à l'aise dans les travaux menés mais se trouver bloqué.e dans l'évolution de sa carrière. Il est donc important d'identifier ces cas et de pouvoir y remédier.

Danièle ESCUDIE
Présidente du CSI INSIS

Recommandation adoptée le 10 juillet 2018

18 votants : 16 oui, 1 abstention, 1 non

Destinataires :

- M. Antoine Petit, Président Directeur Général du CNRS
- M. Alain Schuhl, Directeur Général Délégué à la Science
- M. Bruno Chaudret, Président du Conseil Scientifique
- M. Olivier Coutard, Président de la CPCN
- M. Jean-Yves Marzin, Directeur Scientifique de l'INSIS
- M. Stéphane Blanc, Directeur de la MITI
- Mmes & Mr. les Directeurs d'Instituts
- Mmes & Mr. les Présidents de CSI
- Mme Laurence Pruvost, Présidente de la section 4
- M. Pierre-Olivier Amblard, Président de la section 7
- M. Claude Amra, Président de la section 8
- Mme Brigitte Bacroix, Présidente de la section 9
- Mme Françoise Massines, Présidente de la section 10
- Mme Monique Bernard, Présidente de la section 28
- M. Florian Lesage, Président de la CID 54

ANNEXE

1. Cas des biscuits actifs (médicaments dans des biscuits)

- **L'enjeu du projet**

Développement et fabrication en conditions industrielles de compléments alimentaires céréaliers contenant des principes actifs à base de plantes, dans le but de répondre à des besoins sociétaux exprimés. Ces produits, alliant plaisir et santé, seront distribués dans les réseaux spécialisés des pharmacies et parapharmacies.

- **Des contraintes & des challenges**

- La cuisson des biscuits ne convient pas aux principes actifs qui perdent leurs caractères thérapeutiques, d'où la recherche d'un procédé innovant qui garantit la qualité organoleptique du produit et le meilleur support pour des principes actifs naturels d'origine végétale.
- Le marketing : la réponse produit et emballage doit-être la plus adaptée en terme de design, de fonctionnalité, et de positionnement.
- L'emballage : proposer un emballage 100% naturel biocompostable avec une durée de conservation 2 à 3 fois supérieure à celles des biscuits classiques (contrainte du circuit de distribution).
- Proposer le design d'un nouvel outil de production du nouveau produit.

- **Interdisciplinarité - interactions avec les partenaires**

Ce projet a nécessité une interaction entre des disciplines variées, à l'interface entre la Sciences des aliments, le Génie pharmaceutique, le Génie des Procédés, mais aussi la Sociologie, le Marketing et le Design produit.

Le pilotage du projet a consisté, en autres, à organiser des réunions régulières sur l'avancement des idées. Chaque partenaire, présentait sa vision des choses et la science qu'il allait mettre en place. Dès les premières réunions s'est posée la question de comprendre le langage des uns et des autres. Un échange s'est imposé en faisant un effort d'explication accessible à chacun. Tout niveau de questions était considéré avec respect et humilité. L'objectif principal était de comprendre l'intérêt des propositions de chacun pour le projet. L'établissement d'interfaces de langage d'échanges a pris du temps, mais au bout d'un an, chaque partenaire a intégré les différentes parties projets et leurs intérêts pour la réalisation du projet.

- **Origine scientifique des partenaires**

Trois entreprises spécialistes dans leurs domaines (pharmacie, biscuiterie, emballages biodégradables), et deux laboratoires ; l'un est un laboratoire INSIS et l'autre un laboratoire dont les chercheurs sont issus de divers champs des sciences humaines, des professionnels du monde de l'art, de l'industrie et du design.

- **Qualification des interactions : pluri/inter/ trans ?**

Pour ce qui concerne le laboratoire INSIS, il y avait un peu de chaque : des interactions pluri-disciplinaires, comme les problèmes posés par les circuits de distributions pour la conservation des produits (2 ans pour la pharmacie et 3 mois pour les biscuits) ; interdisciplinaire ou multidisciplinaire (matériau, procédé, design et conception de produit, juridique, sensoriel : « le goût, le plaisir, le bien-être »....).

- **Contributions du laboratoire INSIS**

Le laboratoire UMR CNRS a une culture scientifique plutôt multidisciplinaire (matériaux, procédés, pharmacie, mécanique (design et optimisation de forme), modélisation multi-échelle. Dans les « work-

packages » du projet, le laboratoire avait le rôle de ciment du groupe projet. Le projet a duré 2 ans et finalement, la culture des groupes autour du projet est devenue claire.

- **Facteurs du succès du projet**
 - Le management du projet (coordinateur).
 - La connaissance des métiers des partenaires industriels (pharmacie et agroalimentaire).
 - Le rôle important joué par chaque partenaire académique (1 CNRS et l'autre Université).
- **Genèse du projet**

Le projet est né de la vision de deux entreprises sur deux secteurs différents : pharmacie (santé) et biscuits (agroalimentaire). Le but est de développer un projet innovant associant le biscuit et le médicament pour des besoins sociétaux : « se soigner en se faisant plaisir ».

Ensuite, avec l'aide de la région Midi-Pyrénées, des laboratoires ont été recommandés pour être consultés et construire le contour du projet. Le projet a été soumis à la région (co-financement) qui a donné son soutien fort en considérant l'enjeu régional pour l'emploi et la compétitivité.

Au bout de deux ans, le projet est dans sa phase de production avec quelques postes d'emploi créés. C'est une bonne réussite industrielle.

Concernant le laboratoire, de nouvelles connaissances ont émergé avec une extension du champ disciplinaire pharmaceutique à celui de l'agroalimentaire et aux sciences sensorielles et de marketing. Cependant, cette aventure n'a pas conduit à la constitution d'équipe ou d'une nouvelle thématique compte tenu de la nature du projet qui visait un produit industriel.

2. Création d'une équipe de BioElectronique dans un laboratoire INSIS (IMS UMR5218)

1- Genèse du projet

Dans les années 1990-2000, la « BioElectronique » est associée à des activités diverses et variées. En général elle est liée à l'ingénierie pour le biomédical, majoritairement réalisée par l'industrie sur spécification des besoins exprimée par la médecine ou la biologie. Dans les domaines de l'INSIS, la BioElectronique est alors rarement considérée comme un domaine de recherche en soi, mais plutôt comme de l'ingénierie appliquée. A cette époque, les activités de recherche à l'IMS (UMR Bordeaux/INSIS) sont structurées de manière mono-disciplinaire.

Contexte et éléments déclenchants

Contexte général

- 1) Les technologies du numérique questionnent les interactions vivant-électronique (voir les travaux sur le BioElectromagnétisme pour évaluer l'effet des champs EM sur le vivant).
- 2) L'augmentation de la densité d'intégration des circuits et leurs propriétés basse consommation permettent de concevoir des dispositifs embarqués, autonomes et portables pour des applications thérapeutiques.
- 3) De nouvelles technologies de capteurs (silicium, organique, nanostructuration) et actionneurs permettent des interfaces de qualité/précision à l'échelle cellulaire.
- 4) Des laboratoires et équipes de recherche mêlant sciences du vivant et physique/électronique sont montées à l'étranger (USA, CH, etc.). Une communauté de chercheurs se crée.
- 5) Les programmes de recherche européens affichent la pluri-disciplinarité comme un critère fort de sélection dans les programmes FET des FP5, FP6, etc.

Contexte local

- 1) En 1990-2000, l'IMS est un laboratoire en forte expansion (nombreux recrutements) dont la direction accepte la mise en place d'activités de recherche « à risque ».
- 2) Ces activités (Ingénierie Neuromorphique) sont rapidement soutenues par plusieurs projets européens et des collaborations USA. Une équipe d'électroniciens bénéficie de 4 contrats européens en « Ingénierie Neuromorphique ».
- 3) La politique de regroupement imposée au laboratoire permet d'intégrer une équipe reconnue de BioElectromagnétisme, dont des biologistes et pharmacologistes.

2- Structuration du projet

Un projet collaboratif de BioElectronique est mis en place par les chercheurs souhaitant développer cette thématique (2009). L'équipe de recherche s'impose une thématique « fil rouge » et le partage d'encadrements d'étudiants.

A l'IMS, de nouveaux locaux sont construits (2012), une partie peut être dédiée à la BioElectronique avec des équipements spécifiques (conception Elec, labo bio, animalerie rongeurs). INSIS a soutenu cette démarche lors des évaluations du laboratoire et par l'attribution d'équipement pour l'animalerie et par un poste « IR Biologiste » ouvert en 2016.

En parallèle, les appels à projets nationaux (ANR) couvrent maintenant cette thématique (parfois sous une forme complexe, par exemple les appels ANR-DGOS).

3- Principaux résultats et faits marquants

Depuis 2009 (premières discussions entre disciplines), une partie de l'équipe revendique être passée de pluri- à inter-disciplinaire : les activités ont généré « de nouvelles questions fondamentales, instrumentales ou applicatives qu'il n'était pas possible d'imaginer avant le démarrage du projet ».

Liste à la Prévert des « résultats » (donc positifs)

Localement

- Des projets de recherche ont été montés (financements ANSES, Région Aquitaine, PEPS CNRS) sur des approches conjointes des 2 équipes d'origine et ont donné lieu à des publications et faits marquants CNRS.
- On observe clairement pour une partie des chercheurs un déplacement des compétences vers l'interdisciplinaire.
- Des (petits) modules de formation niveau M1 et M2 ont été montés (BioElectronique pour les Ingénieurs, TIC-Santé) et des TP/projets sont hébergés par le groupe de recherche. Une option de 3^{ème} année d'école d'ingénieur ouvrira en 2018 « BioMedical Engineering ». Les étudiants sont très intéressés par ces thématiques et les entreprises recherchent les ingénieurs avec ces compétences.
- Au moins 2 des docteurs formés dans les équipes ont été recrutés sur des postes MCU (hors Bordeaux) où des compétences pluri-disciplinaires étaient demandées.
- L'équipe est porteuse d'un des 4 « Grand Projet d'Unité » de l'IMS sur le thème « Systèmes Innovants de Santé » (collaborations avec d'autres équipes).
- L'équipe est identifiée comme partie prenante du pool recherche-industrie TIC-Santé, une des priorités de La Région Aquitaine.
- La « BioElectronique » est maintenant revendiquée par le labo comme un de ses points forts.

Plus largement

- Tous les projets de recherche/thèses de l'équipe incluent des équipes INSIS et de l'équipe Sciences du Vivant (nationales ou internationales).
- La communauté « BioElectronique » française travaille depuis 4 ans à se reconnaître et se structurer (les collaborations historiques étant plus internationales que nationales...).

- Un GIS est en cours de montage entre les labos principaux de cette communauté, pour permettre du partage de matériel et des formations doctorales croisées.
- Une école thématique sera organisée en 2018 et 2019 à destination des jeunes chercheurs.
- L'équipe est soutenue par des projets européens, mais aussi (nouveau depuis 2005) par des ANR.

Côtés négatifs, freins

- La « mode » de l'interdisciplinarité : difficile d'identifier les équipes avec une réelle culture interdisciplinaire dans la profusion de projets qui relèvent de la multi-disciplinarité « classique », voire du vœu pieux...
- Coût/effort important de la réelle interdisciplinarité pour les chercheurs et laboratoires.
- Le transfert de technologies en BioElectronique est très complexe car il met en jeu des partenaires très différents : industriels « engineering », hôpitaux, assurances.

Et surtout

- Difficultés d'évaluation/publications/promotions : pour les personnels, pour les projets, pour les publications ; alors que les concours/appels à projets sont ciblés ou évalués par des corps disciplinaires, comment peuvent-ils être compétents sur des thèmes interdisciplinaires ? De plus, dans un contexte de très forte sélection, les instances se replient souvent sur leur cœur de métier.

3. Création de la fédération de recherche FCLAB -FR CNRS 3539- sur les systèmes Pile à Combustible

1. Genèse du projet

Jusqu'aux années 2000, les recherches sur les piles à combustible en France sont menées par les chercheurs travaillant sur la catalyse, les matériaux d'électrodes et les électro-chimistes. Les aspects applicatifs sont peu considérés, les travaux portent sur des éléments de la cellule électrochimique, parfois jusqu'à une cellule complète, de dimension réduite, non représentative des niveaux de puissance requis pour les applications potentielles. A l'échelle nationale, un GdR existe sur les piles à combustible. Il porte essentiellement sur l'étude du convertisseur électrochimique et de ses composants (électrodes, couches catalytiques, électrolyte) à une petite échelle de puissance.

Dans le monde, cette technologie, pourtant investiguée depuis les années 50, reste une niche, notamment les générateurs auxiliaires pour les vols aérospatiaux habités. Dans les années 1990, la société canadienne Ballard, soutenue par Daimler, crée l'événement en dévoilant une série de démonstrateurs automobiles alimentés par des piles à combustible. L'engouement ne cesse de croître, les constructeurs automobiles se mobilisent.

Cette situation crée une forme d'euphorie et d'emballement, sur le continent Nord-Américain, en Asie, en Europe, y compris en France, à la fin des années 1990 et au début des années 2000. Des crédits importants sont débloqués, des annonces sont faites de mise sur le marché en 2004 ou 2005, avec des promesses de part de marché des nouveaux véhicules pour les voitures à pile à combustible de l'ordre de 10%.

En 2000, le Laboratoire d'Electricité, d'Electronique et Système (LE2S), équipe d'accueil de l'Université de Franche-Comté (UFC) décide d'arrêter les travaux sur la supraconductivité qui constituaient une des activités historiques du laboratoire, notamment en raison de l'arrêt de cette

activité par le partenaire industriel privilégié sur ce sujet, ALSTOM. A ce carrefour, une décision stratégique est prise, en concertation entre la région, l'UFC, l'UTBM (Université de Technologie de Belfort-Montbéliard), l'INRETS (actuel IFSTTAR) et le CEA pour lancer une activité sur les systèmes pile à combustible, ex-nihilo, au L2ES afin de ressourcer l'activité à Belfort. Pour soutenir cette décision, la construction d'une plateforme de test dédiée aux systèmes piles à combustible pour le transport et du recrutement d'un maître de conférences. Pour accompagner ces développements, un CNRT (Centre National de Recherche Technologique) INEVA, rassemblant les partenaires précités, est créé, sans structuration forte.

L'effet d'aubaine des financements sur les piles à combustible (réseau PaCo) fait que de nombreuses équipes se mettent à travailler sur ce sujet, principalement dans les disciplines de la thermique, de la mécanique des fluides, du génie électrique et de l'automatique.

2. Structuration du projet

Structures

Les structures ont évolué au cours du développement de la thématique et de son positionnement dans le paysage national et international.

. De 2000 à 2004, le CNRT INEVA est l'acteur visible de l'activité. Son rôle est plus politique que de terrain. La direction est confiée à un cadre du groupe PSA puis à un ingénieur CEA.

La définition des besoins des locaux de la future plateforme et le suivi des travaux, sont menés au sein du L2ES avec l'aide d'un ingénieur CEA, détaché pour cette mission pendant 2 ans.

En parallèle, l'expertise expérimentale sur les stacks et les systèmes pile à combustible, en tenant compte de l'environnement applicatif est créée et développée par les chercheurs du L2ES (3 permanents) et un ingénieur d'étude de l'INRETS, dans le cadre d'une équipe mixte UFC/UTBM/INRETS.

. De 2004 à 2008, le CNRT INEVA change de direction. L'implication du CEA se réduit à un seul ingénieur qui doit diriger la structure. Une convention est signée entre l'UFC, l'UTBM, le CNRS, le CEA, l'INRETS, deux établissements lorrains et un établissement alsacien pour développer une activité de recherche commune sur les systèmes pile à combustible. La synergie ne fonctionne pas avec les établissements lorrains et alsaciens, en particulier, les moyens expérimentaux ne sont pas partagés mais développés de manière concurrentielle. Cette convention permet de donner un nom à cette collaboration à structure molle : FCLAB.

Un partage théorique est fait entre les activités de transfert et tournées vers l'industrie dévolues au CNRT et celles de recherche dévolues aux équipes universitaires, regroupées sous le label FCLAB. Le directeur des deux entités est le même sous l'égide du CEA. Tous les contrats sont confiés à un seul établissement « mandataire » de FCLAB.

L'activité de recherche est soutenue financièrement principalement par l'ANR, avec des projets dans lesquels des industriels sont toujours impliqués. La reconnaissance de l'activité système pile à combustible s'installe dans le monde des piles à combustibles : le GdR invite des chercheurs issus du génie électrique, de la thermique et de la mécanique des fluides.

Le bâtiment dédié à la recherche sur les systèmes pile à combustible est sorti de terre et opérationnel à Belfort. La plateforme d'essai se développe, son expertise est reconnue au niveau national, certains équipements sont uniques en Europe.

. De 2008 à 2012 : le L2ES est dissout en 2008 et les chercheurs sur les systèmes pile à combustible rejoignent majoritairement l'UMR CNRS FEMTO-ST.

Le fonctionnement de FCLAB montre ses limites :

- les retombées financières des projets ne peuvent pas revenir à un seul établissement alors que tous les établissements signataires de la convention mettent à disposition des personnels et du matériel, génèrent de la PI,

- la frontière entre la recherche et l'innovation n'existe pas, elle est un continuum. De fait, la présence de deux structures, l'une affichée recherche FCLAB, l'autre affichée innovation INEVA brouille la lisibilité de l'activité sur Belfort et rentrent en concurrence sur les AAP,
- le pilotage par le CEA sans contribution ni soutien aux activités de chercheur n'est plus accepté par les chercheurs académiques et n'est pas compatible avec le statut d'UMR CNRS qui concerne les chercheurs de FEMTO-ST,
- les chercheurs souhaitent que les travaux de recherche menés dans le cadre de FCLAB puissent être évalués par une instance ad hoc, afin d'affermir la reconnaissance de leur qualité.

Les chercheurs de FEMTO-ST prennent donc l'initiative de demander au CNRS la création d'une fédération de recherche.

Le financement des travaux est mixte : projets ANR et Europe, dont le consortium inclut des industriels de manière systématique.

Au sein du GdR, les activités systèmes pile à combustible sont pleinement reconnues.

. En 2012, la fédération de recherche CNRS est créée, elle porte le même nom que la structure « molle » précédente : FCLAB. Les partenaires sont : UFC, UTBM, IFSTTAR (ancien INRETS), CNRS. Le CEA ne souhaite pas participer à la fédération. La fédération est ainsi constituée de chercheurs issus de FEMTO-ST, de l'IRTES (EA propre UTBM), deux laboratoires de l'IFSTTAR.

La majorité des chercheurs impliqués sont hébergés au sein du bâtiment de Belfort mais cela n'exclut pas le développement d'activités sur d'autres sites. Néanmoins, les moyens d'essais ne sont pas dupliqués.

. En 2016, l'IRTES est dissous et les chercheurs travaillant sur les piles à combustible rejoignent FEMTO-ST qui devient le laboratoire ultra majoritaire de la fédération. L'objectif initial de FCLAB qui était de fédérer les activités en Franche-Comté sur les systèmes pile à combustible est atteint. L'évaluation HCERES et les chercheurs conduisent à élargir son périmètre et sa vocation, à l'échelle nationale. Des équipes d'AMPERE (Lyon) et SATIE (Région parisienne) la rejoignent en 2017, les discussions s'engagent avec le LEMTA (Lorraine).

Les financements de l'ANR sont quasiment taris sur l'hydrogène-énergie. La principale source de financement provient de projets européens.

La reconnaissance et la visibilité de la fédération sont européennes et internationales (2 membre de la fédération sont experts pour le Department of Energy, USA par exemple).

Le GdR HYPSPAC (hydrogène et systèmes pile à combustible) n'a pas été redéposé en 2016 car les membres ont considéré que la communauté nationale était à présente structurée et en réseau. Une réflexion est en cours pour identifier une structure plus adaptée pour poursuivre la dynamique.

Financement pour le lancement du projet

En 18 ans, la source des financements a évolué d'un financement national à un financement européen. Deux raisons à cela :

- l'engouement pour l'hydrogène en France s'est tari à partir de 2008, suite à la crise qui a touché de plein fouet le secteur automobile, qui était jusque-là moteur sur la thématique et pilotait les programmes nationaux,
- la notoriété européenne de FCLAB s'est peu à peu établie. La visibilité des travaux a été facilitée par la création de la fédération de recherche.

Organisation des travaux, interactions mises en place

La pile à combustible est un objet qui est le siège de plusieurs types phénomènes fortement couplés : phénomènes électrochimiques, électriques, fluidiques, thermiques. Pendant plusieurs décennies, les

efforts ont portés sur l'amélioration du convertisseur électrochimique, avec peu d'interactions entre les équipes qui travaillent en catalyse, la mise en forme des matériaux et l'électrochimie.

Les potentialités applicatives mises en lumière par les prototypes lancés par Ballard et Daimler ainsi que la montée en puissance des énergies renouvelables ont bousculé ce schéma au début des années 2000. D'un objet d'étude de laboratoire, les piles à combustible sont devenues des sources électriques et/ou thermiques à intégrer à un environnement applicatif qui impose des contraintes de profil de mission, de température ambiante, vibratoire, ... Cette évolution les a fait entrer dans les radars de disciplines des sciences pour l'ingénieurs : génie électrique, génie thermique, mécanique des fluides, mécanique.

La nature très couplée des phénomènes ainsi que les différentes échelles spatiales (nm au millimètre) ont contraint les nouveaux acteurs à faire appel à l'expertise des équipes historiques sur le sujet.

Au niveau local (FCLAB), les sujets qui ont évolué du multidisciplinaire vers l'interdisciplinaire sont :

- pronostic de pile à combustible,
- stockage d'H₂ et gestion thermique des réservoirs,
- diagnostic de pile à combustible par calcul neuromorphique,
- business model soutenable de l'hydrogène-énergie.

Dans ces trois cas, des problématiques scientifiques spécifiques sont apparues au croisement applicatif : bases de données parcellaires, variabilité des performances, fonctionnement online sur charge variable, qui ne permettent pas d'appliquer les méthodologies éprouvées.

Principaux résultats et faits marquants

- Leadership européen sur le diagnostic et le pronostic de systèmes pile à combustible, par méthodes basées données et basées signal.
- 60% des publications nationales sur les systèmes pile à combustible issues de la fédération FCLAB (résultat de l'analyse du GdR).
- En moyenne 4 projets européens en cours depuis 2010.
- Création d'une start-up commercialisant des générateurs à hydrogène, une deuxième sur des outils de diagnostic.
- En Franche-Comté, en 17 ans, les personnes travaillant sur l'hydrogène sont passées de 2 à 120.

3- Suites données au projet initial

Le projet initial, lancé sur volonté politique et ne s'appuyant sur aucune compétence scientifique locale, s'est déployé sur la base d'infrastructures expérimentales ambitieuses et performantes. La pérennisation de ce projet est passée par :

- la création d'une fédération de recherche CNRS, fournissant la structure adéquate : souple dans son fonctionnement, un soutien de base dédié à l'initiation de nouveaux projets, une évaluation indépendante, une bannière visible à l'échelle européenne,
- un GdR à large spectre thématique mais focalisé sur un sujet d'étude unique,
- une chargée de projets partenariaux nationaux et européens.

4- Analyse *a posteriori*

Moteurs de l'émergence du sujet

- Volonté de politiques locaux d'initier une thématique phare
- Nécessité d'un ressourcement scientifique du laboratoire local
- Opportunité saisie par le laboratoire et prise de risque initiale
- Contexte de financement très favorable à la genèse du projet

- Contexte socio-économique international très favorable à la genèse du projet
- Arrivée de nouveaux acteurs scientifiques « contraints » d'échanger avec les acteurs historiques pour mener leurs travaux et légitimer leur activité dans le pré carré initial
- Mono-localisation d'une majorité d'acteurs autour des moyens d'essais
- Création d'une fédération de recherche CNRS impulsée par les chercheurs (processus bottom-up)

Freins au déploiement du sujet

- Effet boomerang de l'engouement initial pour les piles à combustible (effets d'annonce disproportionnés par rapport à la maturité technologique) qui ont rendu les financeurs méfiants
- Objectifs divergents selon les différentes disciplines en jeu
- Généralisation des résultats à différentes échelles : comment exploiter les connaissances des phénomènes à une échelle nanométrique ou micrométrique à une échelle macrométrique (centimétrique) ?
- Répartition de la gestion des projets entre les établissements
- Rivalités entre les établissements et les laboratoires
- Fonctionnement par parti tiers dans les projets européens pour impliquer des chercheurs de différents établissements (nombre de partenaire français limité dans un projet européen) → complexité administrative
- Répartition de la prise en charge financière des moyens d'essais et de l'hébergement entre les différents établissements (personnels techniques, budget de fonctionnement)
- Pas assez de soutien de la cellule Energie du CNRS, non pas tant en termes de financement qui affluaient par ailleurs, qu'en termes de reconnaissance et d'intérêt, en particulier face aux revendications relativement agressives sur cette thématique d'un autre grand organisme de recherche.

Moyens

- Création d'une fédération de recherche CNRS
- GdR permettant de structurer la communauté et d'avoir un espace de rencontre entre des équipes issues de communautés scientifiques très disjointes