

# Le ‘Discinnet process’, état d’avancement et perspectives

*Philippe Journeau<sup>1</sup>,*

Abstract: The paper « *Interdisciplinary Research, the measurement issue* » has been submitted to VSST09 and presented in Nancy on 2009, March 31<sup>st</sup>, about the ‘Discinnet process’, also submitted to patenting with the aim to bring to the global research a collaborative platform aiming at contributing to solve growing interdisciplinary issues. Six months later a v0.1 prototype was presented to CNRS, ministries and European partnering institutions in a joint call<sup>7</sup> and is still summarized on the home page of [www.dycinnet.org](http://www.dycinnet.org). An international scientific committee has begun to support it while gathering in Paris and some French and foreign researchers and institutions are beginning to participate to tests, with a joint Equipex project for instance submitted with LCFIO. Early tests with researchers have shown that the proposed process had to be significantly improved, made user-friendlier, rather less locked but above all more clearly parameterized and appropriated by each field of research even though it may seem, at first glance, not to favor the interdisciplinary interlinking final goal. The scientific committee has also raised issues of ownership and control, for which a solution is herein being elaborated and presented. Finally the theoretical and more precisely epistemological issues about the mere possibility of such a project and which were the core content of the 2009 VSST paper, are here further documented.

With a shortly coming v0.3 version we now plan to launch a new and wider experimental campaign throughout 2011, among a diversity of research institutions. The present paper also anticipates a white paper presenting potential impacts of such experimentation for research fields represented, through the Discinnet process, as ‘virtual clusters’ of which the evolutions and trends may then be then studied.

Therefore we conclude about the contribution expected from our project on new potentialities, for the discipline of epistemology, to be more involved and possibly even proactive, with its own technological consequences, on the advancement of sciences.

*French first version September 28<sup>th</sup> below, English and final versions to follow*

---

<sup>1</sup> *Directeur de Recherche, Discinnet Labs, Boulogne-Billancourt, France, +339 7216 7672, [phjourneau@dycinnet.org](mailto:phjourneau@dycinnet.org)*

## Introduction

Si la valeur heuristique d'un projet scientifique est particulièrement liée à sa capacité prédictive la vérification relève donc de la post-diction : l'échange ex-post de processus de recherche, de tests, de mesures et de leurs données expérimentales, discutés, comparés et validés entre pairs, c'est-à-dire à propos d'un même type d'objet, ponctue le processus habituel du progrès scientifique. De ce cycle découle une durée typique par domaine et plus précisément encore champ scientifique et par contre très variable d'une discipline à une autre et par exemple souvent beaucoup plus court en chimie qu'en physique. Et il ne semble pourtant pas possible de le réduire alors que les enjeux économiques pour de telles réductions sont considérables.

De fait l'histoire montre combien les durées de gestation individuelles peuvent et doivent légitimement parfois prendre du temps, mais par contre témoignent très souvent de pertes de temps et d'efficacité considérables liées aux temps morts de communication, transfert, appréciation, échange, contrôle, publication, retour, partage d'expériences et de résultats. Sans reprendre tous les exemples les plus notoires et caricaturaux, parmi les grandes découvertes des deux derniers siècles ayant dormi des années sinon décennies dans des tiroirs avant d'être repérés et diffusés, il faut déjà noter les nombreuses possibilités de mieux accompagner, faciliter, aider à structurer les processus allant du projet aux résultats via des carnets de laboratoires, de manips, notes, 'working papers', 'posters' et d'ailleurs les nombreuses améliorations, dans ce sens, des conférences et laboratoires thématiques.

Pour aller au-delà, proposer un saut par rapport à une gestion documentaire toujours en progrès, l'outil informatique et l'internet peuvent servir de support à des recherches et outils visant à une épistémologie générale appliquée pourtant a priori toujours en question du fait de la diversité rapidement croissante des objets de recherche. Les équipements de recherche sont ainsi de moins en moins matériels et localisés tout comme les objets de recherche sont de plus en plus virtuels ou logiciels et délocalisés ou distribués, formels avec cependant toujours quelque base commune. Les réseaux de télescopes en donnent en exemple simple. On peut alors parler l'instrumentation partagée, dont l'objet et la mesure sont fortement communautaires.

En remontant encore vers la gestation des projets de recherche on précède cette implémentation commune par la recherche de 'designs' ou procédés originaux soit pour mieux observer ou provoquer tel effet et le mesurer. Encore en amont ce sont les visées, les projets de recherche, les intentions elles-mêmes qui sont de plus en plus souvent mises en commun et en tous cas, sinon, assez tôt confrontées en laboratoire ou, dans un but interdisciplinaire, mais localement alors, en 'cluster' géographique.

Des intentions et intuitions tout en amont aux résultats les plus significatifs au bout du processus de recherche en passant par des étapes de modélisation puis aux mises en expérience et mesures y afférentes, voilà la partie du processus où des mises en commun se produisent de plus en plus. Ceci permet d'améliorer le partage et ainsi l'efficacité de la recherche, en équipes, mais les trajectoires d'équipes séparées restent indépendantes et généralement isolées jusqu'à publication et même jusqu'à présentations, diffusion, lecture et alors échanges et partages seulement bien a posteriori.

Pourtant la comparaison des intentions et projections de recherche ex-ante, puisque la prédiction est au cœur du processus scientifique, et non plus seulement les résultats et alors les prédictions ex-post, peut apporter des gains de temps considérable. Dans le cadre de l'évaluation par les pairs, c'est d'ailleurs un processus qui tend à se développer, ne serait-ce que typiquement en France par l'ANR, dans une démarche pragmatique. Cependant la question d'une analyse systématique de cette évolution de pratique, voire d'une théorisation en vue d'une généralisation, s'est posée. En effet elle se heurte à trois sortes de barrières :

- La délimitation des pairs de la communauté scientifique impliquée pour chaque champ disciplinaire, de facto mondiale et de plus en plus rapidement évolutive,
- Les contours disciplinaires i.e. de chaque champ, dans le cas de toute recherche interdisciplinaire, en tenant alors compte des divers types d'interdisciplinarité possibles,
- Les transitions des projections aux résultats expérimentaux semblent isoler chacune des phases du processus de recherche, même si les présentations a posteriori détaillent bien les différentes étapes, des questions au montage et composants de l'expérience jusqu'à l'interprétation des résultats.

En complément de l'évaluation ex-ante naturelle par les agences de financement de la recherche l'intérêt de systématiser et mieux organiser la comparabilité des progrès de la recherche a été bien compris dans toutes les disciplines depuis les congrès Solvay par exemple, et sont devenus incontournables. Bien que la rencontre physique périodique soit irremplaçable elle est cependant coûteuse et, dans la mesure où la recherche s'accélère et se numérise de façon croissante, insuffisante.

## Le processus Discinnet ou 'Discinnet process'

L'un des cas ayant ainsi particulièrement progressé dans une approche moderne avec le prototype d'équipement qu'elle a commencé à tester est la communauté d'étude de la réflectivité du rayonnement X de l'Institut d'Optique, partenaire du présent projet : les chercheurs du monde entier de ce champ disciplinaire aux contours assez précis – on verra que cet 'assez' correspond à l'un des problèmes de contours qui sont au cœur de l'approche Discinnet – se réunissent chaque année en une conférence. Cependant l'un des leaders de la communauté a proposé la mise en place d'un système de comparaison des résultats expérimentaux. Il s'agit d'un chercheur de Berkeley et la comparaison est visible notamment via <http://henke.lbl.gov>. Ce fichier Excel permet de comparer les principaux paramètres et résultats des progrès expérimentaux de la communauté mondiale impliquée. Pourtant le chercheur français a souligné les limites de l'épure et l'absence de prise en compte d'autres dimensions pourtant significatives au fur et à mesure que la recherche y progresse.

On pourrait considérer que l'apparition de nouvelles dimensions en mesure d'ailleurs la progression. Dans un récent papier sur les condensats de Bose-Einstein apparaissent de nouveaux indicateurs agrégés pour mesurer ces nouveaux objets. Certains chercheurs en informatique doutent de l'application de la mesure à ce secteur et pourtant de nouveaux champs de recherche s'y créent sans cesse avec des mesures nouvelles et par exemple voici un échantillon de mesures complémentaires introduites pour essayer de mesurer la complexité d'un logiciel, depuis deux à trois décennies :

○ $\mu 1$	≡	Program length	(Halstead)
○ $\mu 2$	≡	Cyclomatic complexity/nb. Predicates : $V(G) \equiv e - n + p$	(McCabe)
○ $\mu 3$	≡	Nesting complexity/nesting level of conditionals	(Harrison)
○ $\mu 4$	≡	Data flow complexity/number of inter-basic block variable ref.	(Oviedo)
○ $\mu 5$	≡	Fan-in/out complexity/nb. formal param. + nb. global data struct. Read	(Henry)
○ $\mu 6$	≡	Data structure Complexity(*)	(Munson)
○ $\mu 7$	≡	OO Metric (**), itself composite of several sub-metrics	(Chidamber)
○ $\mu 8$	≡	$V(G) = \text{Nb. Edges} - \text{Nb. Nodes} + 2$	(McCabe Cyc. Compl., cf. Myers <sup>2</sup> )

La linguistique est un domaine particulièrement intéressant, qui devient un enjeu industriel croissant avec le web comme le montre la valeur et l'influence atteintes par une entreprise comme Google, signifiante de la transition vers l'économie de l'information sinon même demain du sens. Or l'idée de mesure dans ce domaine semblait utopique avant Chomsky, quand bien même sa grammaire a connu des développements considérables pour les langages formels par rapport aux langages naturels.

A ce propos il importe déjà de positionner l'originalité du projet Discinnet pour le caractériser par rapport à des plateformes et bases de données de recherche considérablement plus sophistiquées. Celles-ci se répartissent en trois principaux types :

- Réseaux de sujets (les chercheurs) ou réseaux sociaux, interactions subjectives des porteurs de projets et de visions mais à buts scientifiques, i.e. devant être soumis à confirmation ou réfutation expérimentale ultérieure, ce qui pose quelques questions en sciences humaines, économiques, sociales et de gestion (limites de l'expérimentation sur une entreprise, considérée comme objet de gestion mais aussi ensemble humain)
- Bases de données sémantiques, le produit typique du chercheur étant du 'papier', du signe, et beaucoup de projets d'analyse des tendances de la recherche se focalisant donc sur l'exploitation de ce type de gisement,
- Bases de données de résultats expérimentaux, de dispositifs ou d'observations : compte tenu du rôle croissant des partages de moyens expérimentaux entre chercheurs (satellites, télescopes, réseaux de balises, etc.), ces bases de données quantitatives discrètes semblent être d'autres types de gisements, exploités et interprétés par les chercheurs dans les modèles sémantiques/mathématiques de leurs papiers de recherche. En fait ces résultats participent de cycles dans lesquels ils sont eux-mêmes produits selon des processus et équipements choisis, en vue de contribuer à confirmer ou bien réfuter des modèles précédents et en ce sens ne sont jamais totalement neutres et ne peuvent jamais l'être. Il est d'ailleurs intéressant de relier ce découpage au clivage raisonnement (infini) / calcul (discret) analysé par Dowek dans ses « *Métamorphoses du calcul* ».

---

<sup>2</sup> Myers: "McCabe shows that  $V(G) = 1 + \text{Nb. Decisions in the program}$ " (in McCabe's Cyclomatic complexity,  $p \equiv \text{nb. connected comp.}$ )

Par rapport à ces types d'objets/sujets, le processus Discinnet a introduit, comme représenté en figure 1 ci-dessous, la proposition d'un « *résultat caractéristique d'un projet de recherche* ». Évidemment il peut sembler réducteur de prétendre représenter une théorie par un point dans un espace mais c'est pourtant le principe, même si le point peut se définir classiquement par un ensemble de coordonnées selon un certain nombre de dimensions.

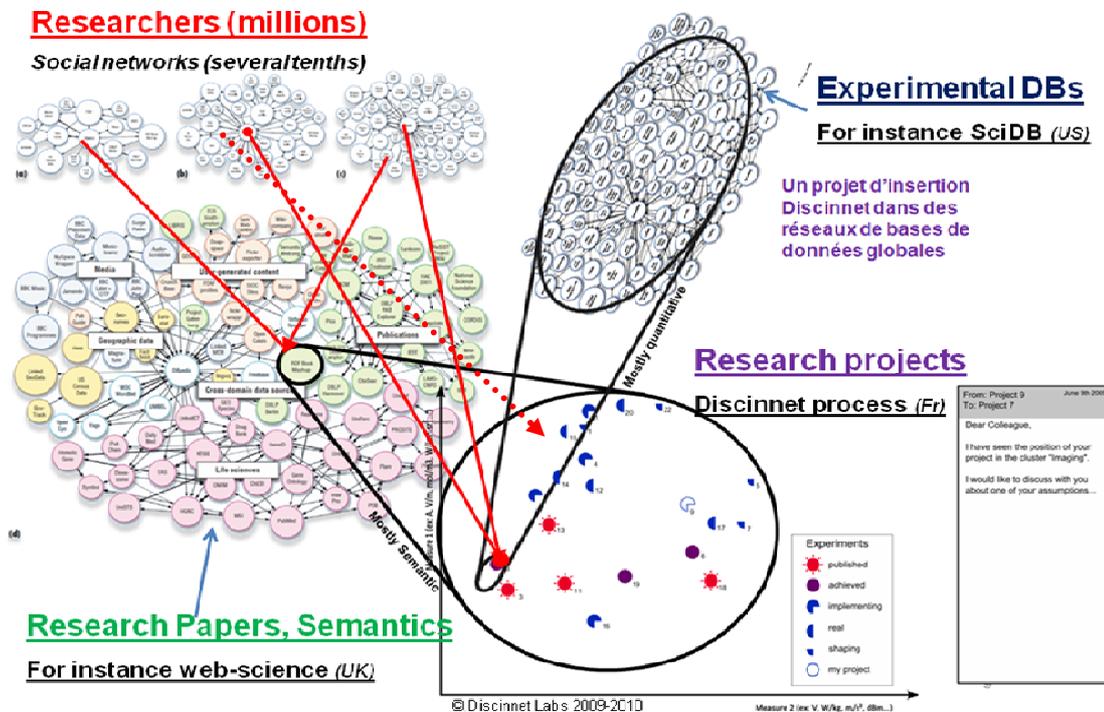


Figure 1 : trois types d'objets et le projet d'intégration et de mise en perspective par Discinnet : des intentions avec anticipation de résultat quantitatif partant des chercheurs voire exprimés dans leurs réseaux/forums, les résultats anticipés ou interprétés en papiers de recherche et les bases de résultats expérimentaux quantitatifs (mesures).

Sur la figure ci-dessus nous avons ainsi représenté de façon très synthétique les principaux types de sujets et objets d'un processus de recherche et un état de l'art de méthodes et outils d'analyse en cours pour des analyses et traitements interdisciplinaires. Les sujets, chercheurs, équipes et réseaux de chercheurs eux-mêmes, qu'ils soient dits réseaux sociaux ou institutionnels (français, européens, internationaux, disciplinaires en général), sont figurés en haut et à gauche.

En bas à gauche sont schématisés les projets à base d'analyse et de regroupement sémantiques ont été lancés depuis le début de la décennie et étaient notamment présentés lors de VSST09. Le projet « SciDaWeb » présélectionné par le PCRD7 avec des partenaires allemand (Leipzig, OpenResearch) et anglais notamment, apportait cette partie mais on peut citer la fondation et projet « web-science » lancée récemment au Royaume Uni et dirigée par T. Berners-Lee, dotée de 30 millions de £. Ces projets reposent sur l'analyse des documents, articles qui sont le produit standard de l'activité de recherche quand ce ne sont pas des brevets ou des documents à diffusion non publique. Il est à ce propos intéressant de noter que tous documents publiés peuvent être traités via le processus Discinnet ainsi que de nombreux projets de recherche dont les résultats définitifs ne seront peut-être jamais publiés mais dont la trace peut cependant être trouvée – ne fut-ce parfois que par défaut – dans les analyses dynamiques et interdisciplinaires produites par l'outil Discinnet.

En haut et à droite est représenté à l'opposé cet autre type de produit de la recherche qu'est la série de résultats expérimentaux, des mesures à leurs agrégations. Des moyens importants sont actuellement investis aux États-Unis vers des systèmes de gestion de bases de données expérimentales spécifiques à ces types de données et à leur représentation, cf. Sci-DB, mettant en commun des moyens des principales universités scientifiques américaines. Des projets européens ont été lancés dans cette direction (exemple PRACE).

Nous avons schématisé en bas et à droite la façon dont le processus Discinnet facilite une gestion de données souvent problématique au carrefour de grandes séries de résultats expérimentaux d'une part et de traitements sémantiques, séries de papiers de recherche sur ces mêmes objets, d'autre part. Au-delà des apports originaux du système de représentation Discinnet, cet enjeu particulier pourrait en effet devenir d'autant plus important que des quantités importantes de données, voire même d'expériences, sont parfois prises en compte par des

modèles parfois eux-mêmes dépendant des conclusions d'autres apports théoriques eux-mêmes encore en cours de validation. Ceci est particulièrement marquant en astrophysique et de cosmologie, intégrant de nombreux sous-modèles, ou par exemple dans les domaines environnemental et climatique.

L'innovation du processus Discinnet commence par la prise en compte de l'intentionnalité et la conception de phases déterminantes dans la gestation d'un processus de recherche. Au-delà, il affirme que les nuages d'intentions et d'étapes (statuts) de progression constitue des objets propres dont il permet d'étudier le réalisme et la dynamique, voire les trajectoires, avec notamment pour perspective de recherche en épistémologie générale l'étude des formes des champs de recherche et leur phénoménologie, c'est-à-dire leurs comportements indépendamment des stratégies d'acteurs particuliers de la recherche, en vue d'envisager la prédictibilité de leurs évolutions. De ce point de vue, tirant notamment quelques enseignements de « *la structure des révolutions scientifiques* » mais ici l'investissant dans une industrialisation, il introduit une forte complémentarité par rapport au système d'évaluation par les pairs auquel il apporte des moyens étendus et productifs d'assurer leur mission.

Les enjeux scientifiques mais aussi économiques sont donc potentiellement significatifs quand bien même un travail important doit encore être mené sur les prochaines années et déjà, à court terme – c'est-à-dire sur 2011-2012 – dans la mise à disposition et test de Discinnet à des équipes françaises et à travers elles européennes et internationales. Pour l'enjeu économique le cœur du processus est couvert par un demande de brevet international (brevet provisionnel États-Unis étendu à brevet complet PCT). La recherche sur ce type de processus vise par ailleurs à apporter d'autres modèles et modules progressivement aux équipes de recherche.

Dans une perspective étendue à l'interdisciplinarité la plus générale, d'un amont dans les disciplines scientifiques les plus classiques en allant vers sciences humaines et sociales en passant par l'ingénierie, les procédés, la systématique, l'économie industrielle et les sciences de gestion, deux schémas complémentaires sont présentés ci-dessous.

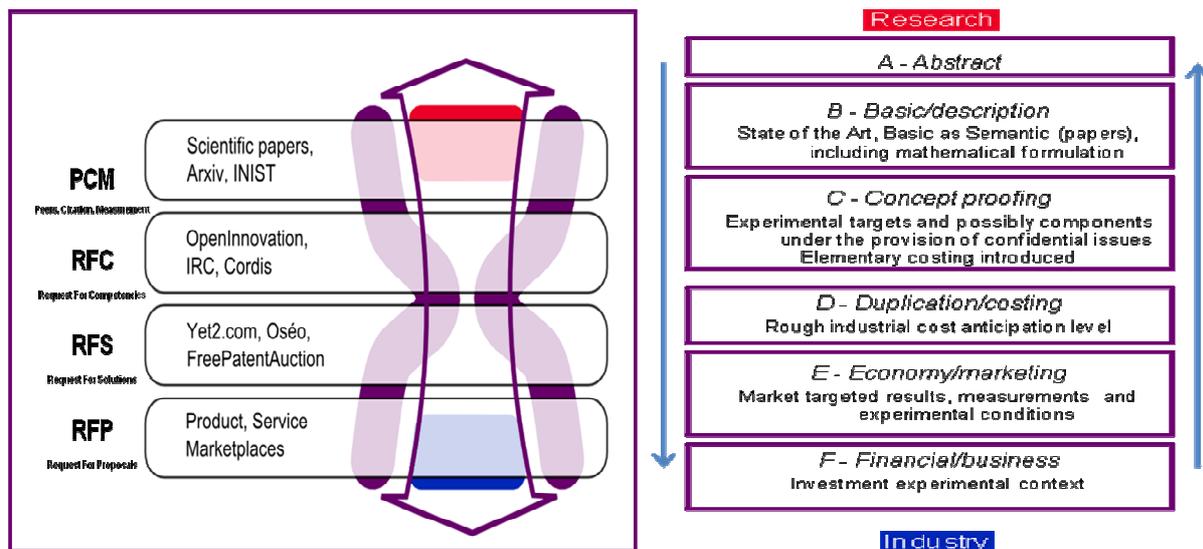


Figure 2 à gauche : principaux niveaux de bases d'information scientifiques puis innovation, brevets et technologies produites/composants industriels. Le processus Discinnet introduit des passages entre niveaux et interdisciplinaires.

Figure 3 à droite : découpage Discinnet correspondant en 6 grands niveaux

Le schéma ci-dessus à droite, figure 3, explicite les grandes étapes du processus chacune découpée en 5 sous-niveaux (cf. figures 4 et 5) dont le 5<sup>ème</sup> étant à chaque fois celui du papier publié, qui est à la fois état de l'art (étape 0) et étape de validation (étape 5) d'un cycle de recherche, comme précisé en section 2. De plus chaque sous-niveau ou 'statut' est à son tour découpé en 4 sous-statuts.

Le schéma de gauche donne quelques exemples de systèmes d'information scientifique et technologique en allant d'un niveau d'édition scientifique typique – tel qu'ArXiv en archives ouvertes, dont le modèle évolue un peu, cf. Physics Today, avril 2010, pour s'ouvrir à des partenaires – jusqu'à celui de places de marché de composants et technologies pour industriels.

L'un des aspects de l'originalité du processus Discinnet apparaît ainsi dans son aptitude à accompagner des transitions d'amont vers l'aval et réciproquement. La question de l'accompagnement d'amont vers l'aval était notamment une attente des industriels, qui ont souvent bien compris qu'il était possible à court terme de

questionner les laboratoires sur des technologies en cours d'achèvement de processus de validation mais par contre qu'il était nécessaire, pour des attentes à moyen et long terme, de pouvoir comprendre et apprécier, voire pour réagir dessus, les perspectives projetées par les chercheurs eux-mêmes.

Pour ce qui concerne les importantes questions de confidentialité le processus Discinnet, dans le cadre de ses tests préliminaires, semble devoir se heurter à moins de difficultés que prévu puisque les résultats anticipés ou visés peuvent être traités avec des intervalles de confiance ou échelles de degré suffisamment adapté, en réponse aux remarques des testeurs. Par ailleurs l'exposé d'une zone ou d'un ordre de grandeur de résultat visé n'emporte pas d'enjeu économique par lui-même, et cela d'autant moins qu'il n'est pas a priori un exposé d'industriel – encore que ceci soit tout à fait possible – mais une anticipation de chercheur.

Cette architecture s'est concentrée sur les étapes du processus de recherche au niveau 'C' sur la figure de la page suivante où les grandes étapes de recherche sont les niveaux ABC et les étapes industrie et marché DEF. Le 'C' correspond au 'Concept proofing', Confirmation expérimentale impliquant donc un prototype de recherche alors que le 'D' amorce les étapes de démarrage d'un projet industriel avec la Duplication qui, seule, permet de commencer l'élaboration d'un coût comme prix de revient dans une série, donc une organisation de production donc un début d'industrie, aussi limitée soit la série.

La contribution à faciliter les échanges entre partenaires publics et privés est donc claire, le système étant pensé pour être capable à terme de véhiculer des attentes entre grandes étapes, et à l'intérieur entre petites étapes et complémentarités interdisciplinaires au sens large, l'interdisciplinarité pouvant impliquer aussi bien, ainsi, des compétences de chercheurs que d'ingénieurs, techniciens, contremaîtres, ouvriers et des savoirs que des savoir-faires puisque la distinction apparemment radicale entre les deux y trouve des chemins de continuité.

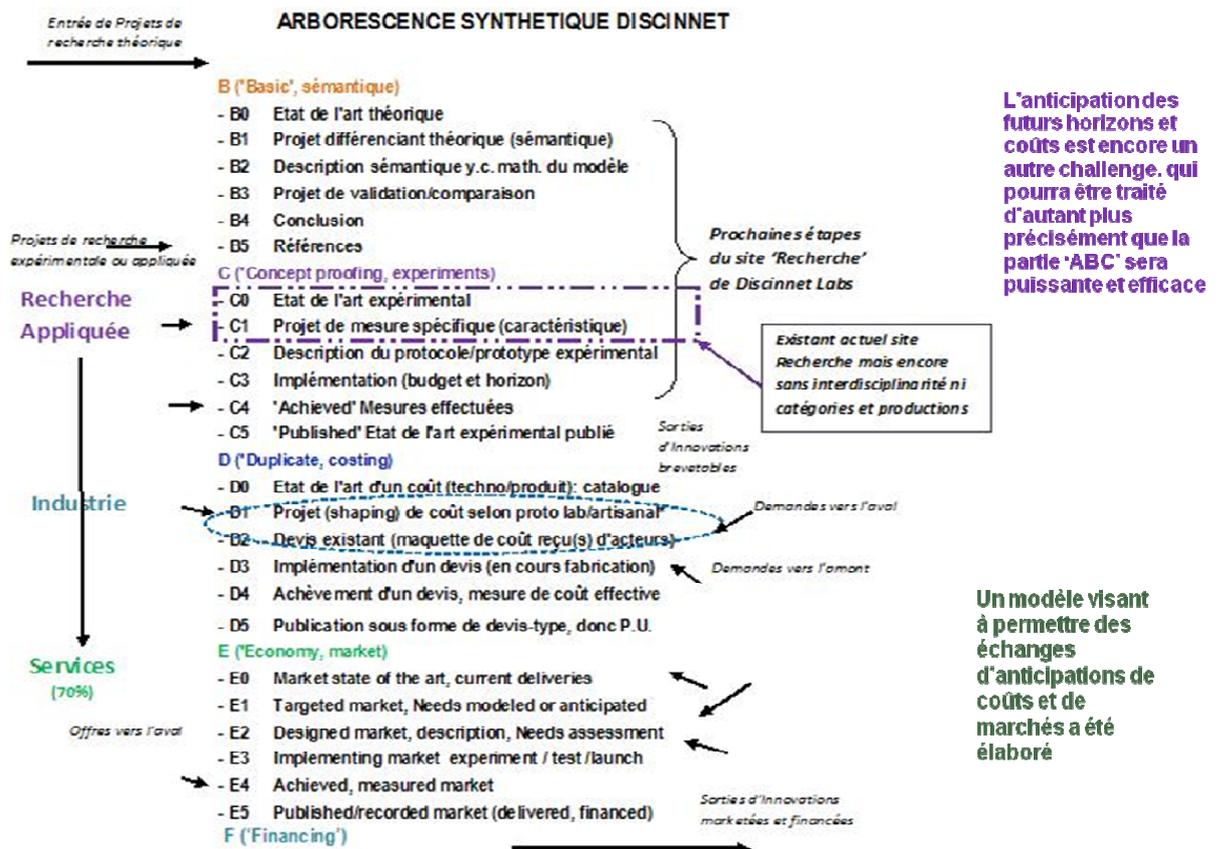


Figure 4 : découpage en sous-niveaux permettant d'approcher les phases d'expérimentation propres à chacun.

Le partenariat entre le laboratoire Charles Fabry et Discinnet Labs progresse avec le soutien renouvelé de ce laboratoire pionnier.

Les niveaux d'apport potentiels aux équipes de recherche sont multiples et vont des plus immédiats outils d'aide à la gestion, structuration et veille des documents et progrès de leur recherche avec la possibilité d'un positionnement comparatif à tout moment par rapport à l'état de l'art expérimental et trajectoires d'équipes ailleurs dans le monde dans le même champ et dans des champs voisins.

Le concept de voisinage est d'ailleurs introduit par l'outil par différents moyens, dont le premier est l'hypercube des dimensions de mesure appelables par l'expérience du chercheur/équipe concerné : à

partir d'un 'cluster' présupposant certains axes (au-moins deux, cf. exemple des lasers) on voit que des projets peuvent glisser selon d'autres axes mais aussi selon des catégories, technologies et composants de l'expérience. Ainsi, dans la figure du cas laser présenté plus bas apparaissent par exemple différents 'designs' possibles, lesquels se réfèrent à d'autres clusters, champs de recherche ou d'expertise ou de savoir-faire.

L'équipe PXRMS a ainsi des ouvriers à haut niveau de savoir-faire sont de haut niveau Discinnet s'ouvrira ici à des bases de données de composants, technologies ou champs par voisinage sémantique et/ou par voisinage selon un ou plusieurs des axes de mesure que l'équipe souhaite investiguer C'est en effet souvent selon un nouvel axe ou dans une échelle précédemment considérée comme marginale que de nouveaux phénomènes sont observés ou expliqués.

Positionnement parmi les outils et moyens collaboratifs du monde de la Recherche : Discinnet s'insère parmi des outils et systèmes plus complémentaires que concurrents, cf. fig. 1 à 3 :

- En aval des équipements/plateformes dites d' « Open Innovation », correspondant au deuxième niveau de la figure 2 et principalement orientés compétences auxquelles sont remontées des demandes/attentes des industriels, mais qui rencontrent parfois les limites de rémunérations principalement liées aux résultats alors que la recherche comporte des incertitudes et des durées de gestation potentiellement longues.
- Les projets d'analyse sémantique et apparentés cf. figure 1, tels que prévus dans le partenariat SciDaWeb soumis au call PCRD7 « *Virtual Research Communities* » ou par exemple dans le projet web-science (Royaume Uni) : des partenariats complémentaires (par exemple avec Quaero, Celsectis, ArXiv) sont souhaitables, car l'établissement de passages automatiques entre la quantité considérable de papiers de recherche publiés, sans parler des 'drafts', posters, communications, notes, 'working papers', forums, etc., contribuerait de façon importante au déploiement de Discinnet. Pour cela il faut isoler et extraire des résultats expérimentaux distinctifs ou caractéristiques visés ou obtenus.
- Les projets de stockage et représentation de grandes masses de données expérimentales (par exemple le projet Sci-DB aux États-Unis).

Le 'processus Discinnet' ne traite par lui-même pas de grandes quantités de données, ni expérimentales ni sémantiques. Il vise à intégrer et croiser différents types de données et même d'intentions, lesquelles s'expriment régulièrement en types de données ou contenus sémantiques ou observationnels, donc phénoménologiques, comme résumé sur les figures qui suivent.

### **Avantages économiques**

Pour les industriels en bonne part à l'origine de la demande c'est le constat que l' 'Open Innovation', lui-même innovateur et intéressant pour eux, mais reposant essentiellement sur leurs demandes exprimées, est une approche insuffisante. Dans un souci d'exhaustivité, notamment d'observation mondialisée, mais aussi et surtout pour découvrir les anticipations et projections dont les chercheurs eux-mêmes sont porteurs, et que l'ingénierie et les marchés ne peuvent pas toujours ou pas du tout exprimer, il est stratégique pour eux de pouvoir apprécier de façon assez simple les potentiels de performances technologiques, voire de ruptures, portés par des projets et réalisations expérimentales, des découvertes scientifiques en puissance.

Par ailleurs l'industrie, voire les marchés, font partie de l'interdisciplinarité au sens large (cf. par exemple Schummer 2004) ou de la pluridisciplinarité telle que déjà en développement dans les grands instituts de recherche avec leurs diversités de champs disciplinaires : ce sont des lieux d'autres types d'expériences et de croisement, et même d'autres disciplines telles que l'économie, l'ingénierie, les systèmes, la gestion, les comportements sociaux.

Enfin l'étude de l'émergence de champs disciplinaires, de la structuration des processus de découverte scientifique en ambiance collaborative et même interdisciplinaire et pratiquement d'éventuelles prédictions à ce sujet, via les tendances de clusters disciplinaires, peuvent être des avantages économiques pour les agences et organismes de recherche et de leur financement.

### **Un exemple concret**

L'exemple simplifié, selon seulement deux axes, de la figure 5 (3-1) ci-dessous, est issue d'un rapport quadri-annuel de l'Institut d'Optique auquel nous avons ajouté un exemple de capacité de chercheurs, bien exposée par Pierre Chavel, directeur du laboratoire, dès l'origine, d'exprimer une intention de niveau de résultats envisageable ou zone prédictive, éventuellement en interaction avec un axe ou vecteur représentant un

arbitrage, par exemple d'un demandeur industriel ou dans un échange entre expérimentaliste et théoricien. Ce rapport quadri-annuel de l'Institut d'Optique innovait déjà en 2004 en présentant une figure de mérite comparative des résultats des meilleures équipes dans le monde.

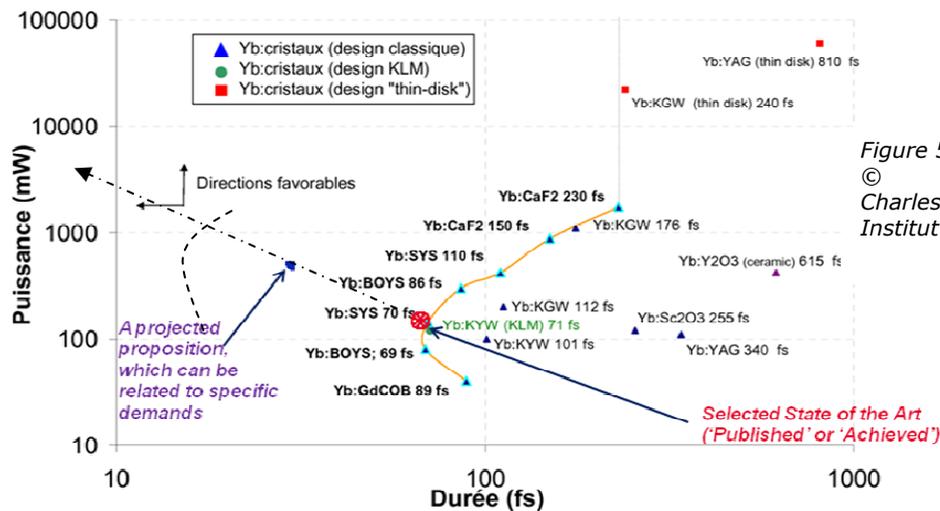


Figure 5  
© Laboratoire  
Charles Fabry,  
Institut d'Optique

Fig.3-1 : Figure de mérite (durée-puissance) représentant les différents résultats obtenus avec des oscillateurs à base de cristaux dopés à l'ytterbium. Le verrouillage des modes en phase de ces différents oscillateurs a été réalisé grâce à l'utilisation d'absorbants saturables à semiconducteur sauf pour un cas particulier utilisant le principe de verrouillage de mode par effet Kerr. Les triangles reliés représentent le positionnement de nos travaux.

Sur cette figure apparaît sous forme d'un quart de cercle bleu l'un des premiers éléments d'originalité du processus Discinnet : comme exposé dans les papiers décrivant les objectifs du système<sup>3</sup>, nous avons remarqué l'étonnante capacité des chercheurs à approcher voire exposer un résultat quantitatif visé ou anticipé d'un projet de recherche. En l'occurrence nous avons ajouté ou souligné, sur la figure ci-dessus, deux points caractéristiques de progrès obtenus (point rouge) et attendus (bleu) dans le domaine des impulsions lasers ultracourtes, où il s'agit par exemple d'obtenir un niveau de puissance avec l'impulsion la plus courte possible. Le vecteur indiqué en pointillé permet de passer d'un concept 'recherche' de mesure associée à des directions favorables, comme souligné par Yves Epelboin (Paris VI) à celui 'industriel' de performance : la relation d'ordre est manifeste entre le point rouge et le bleu.

Différents outils et méthodes de représentation graphiques pour la recherche existent cependant et jouent un rôle croissant. Ils aident le plus souvent à représenter l'objet de recherche lui-même selon des dimensions avant tout spatiales, voire spatio-temporelles, bientôt étendues par Discinnet.

### Évolution du concept de dimension

En effet le concept de type de dimension, notamment de types non spatiaux et non temporels, est récente<sup>4,5</sup> et discutée. Cependant l'idée de dimension formelle ou catégorielle est perceptible dans différentes disciplines, de la dimension interne en physique à celle des niveaux de complexité ou d'autres unités de mesure en théories de l'information, des graphes, de la complexité.

S'y ajoute l'idée de représenter les niveaux de changement eux mêmes, les processus, selon des dimensions appropriées. Et enfin celle de fournir des outils facilitant les représentations et des passages entre eux, ce qui est l'objectif pratique de la poursuite de la modélisation et du développement de Discinnet ici en jeu.

L'idée de résumer un objectif de recherche à un point de mesure peut étonner mais toute mesure est interprétée et c'est alors plus le niveau d'interprétation qui est en question. Par exemple sur la figure ci-dessus apparaît un nuage de points de mesure, mais en fait de mesures dont l'interprétation a déjà été entièrement déléguée à l'instrument lui-même, par rapport à l'interpolation par laquelle le chercheur proposera ensuite de remplacer ce nuage par le point correspondant à la ligne ou courbe amenant à un niveau d'abstraction supérieur.

Autrement dit tout dépend du type d'espace et de niveau sur lequel le chercheurs souhaite focaliser sont attention pour en partir ensuite vers de nouvelles directions, selon de nouvelles dimensions vers lesquelles Discinnet veut notamment apporter un élément de productivité personnelle indépendamment des importants aspects collaboratifs induits. Sur le cas d'espèce on peut citer la cristallographie, qui induirait tout un ensemble

<sup>3</sup> P. Journeau, L. Tron « Mesurer la recherche interdisciplinaire », VSST09, Nancy, 2009

<sup>4</sup> P. Journeau, « Evolution of the concept of dimension », proceedings FFP8, AIP #915, 2007

<sup>5</sup> P. Journeau, « Evolution of the concept of dimension and potential impacts », presentation FFP11, juillet 2010

de directions de recherche supplémentaires, donc interdisciplinaire, par rapport au cœur de celles qui sont traitées en optique (mais par exemple on voit aussi de nouvelles unités ou indicateurs apparaître dans des articles récents pour mesurer des condensats de Bose-Einstein).

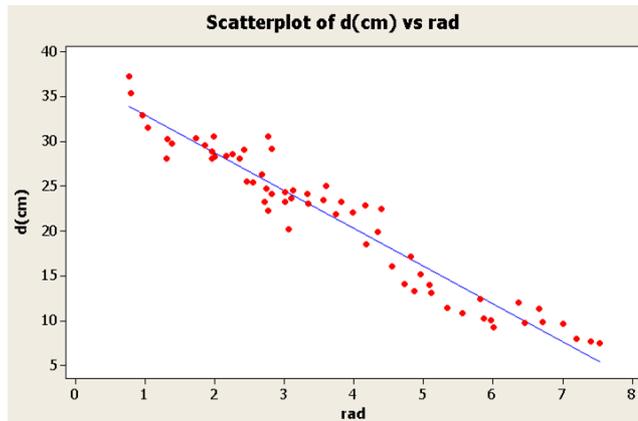


Figure 6 : points de mesure et axe d'interpolation ex-ante, prédit ou ex-post, interprété

A significant point may come from an aggregation of a set of measures towards a category or higher order point (such as a vector), hence through 'categorizing', an elementary example of 'implementing'

L'un des principaux critères de scientificité étant la prédictibilité et répliquabilité, par rapport à une loi, future probabiliste, cet axe bleu de la figure ci-dessus peut donc se traduire par un point bleu sur la figure précédente ou par une zone bleutée selon l'intervalle de confiance proposé voire ensuite justifié par le chercheur. Une figure de mérite typique indiquera d'ailleurs le plus souvent les mesures discrètes sous forme du croisement de ces intervalles selon les deux axes retenus pour la présentation plane.

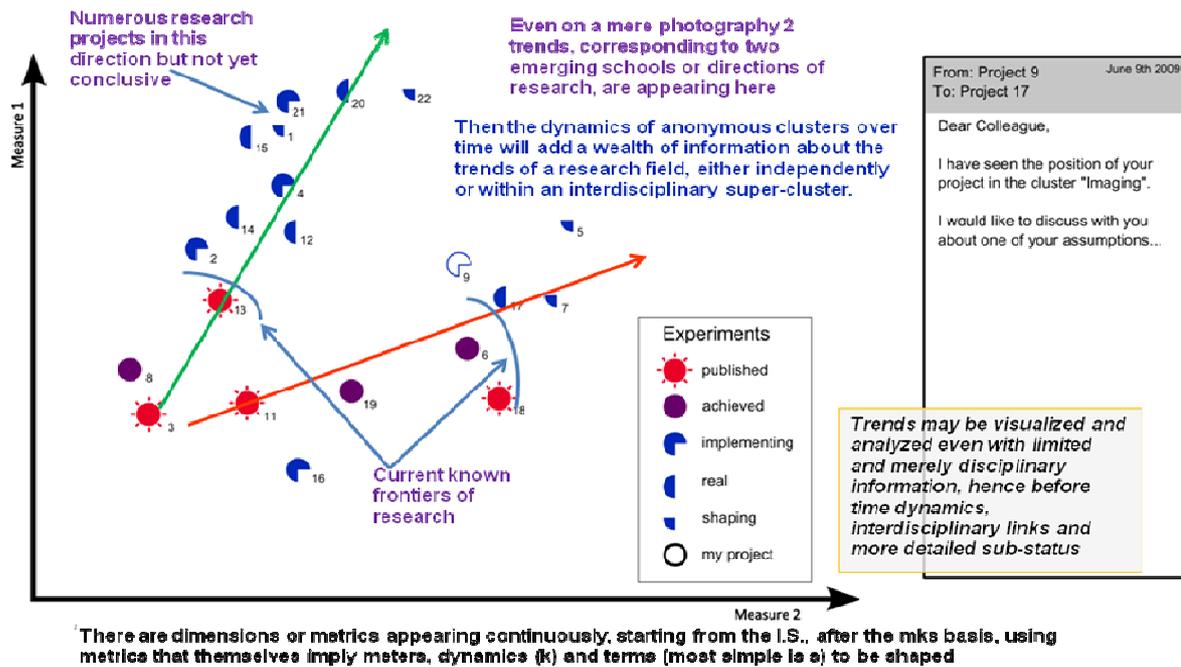
Dans un hypercube de dimensions de divers types (y compris catégorielles), tel que développé par exemple par l'outil « Scatterdice » conçu par l'équipe Aviz de l'INRIA (Orsay) et en cours d'intégration dans Discinnet, les sphères de résultats visés ou recherchés deviennent des hyper-sphères ou plutôt des ellipsoïdes. Ils s'étendent selon p axes par exemple communs entre deux chercheurs ayant sélectionnés les mêmes directions et paramètres pertinents, sachant que les paramètres des uns sont des objectifs de résultats pour d'autres, ce qui introduit l'une des directions d'assistance à l'interdisciplinarité potentielle.

En restant selon deux axes, la figure 7 ci-après montre une photographie typique obtenue via un premier passage à travers le processus Discinnet d'une série d'équipes/projets de recherche, chacun désigné par un numéro. Le numéro peut ensuite être décliné dans le temps selon un deuxième ou plusieurs indices supplémentaires. L'état de l'art expérimental correspond aux soleils rouges, de façon évidemment très simplifiée mais c'est déjà une approche jugée potentiellement intéressante pour un examen rapide et notamment un industriel, qui a d'autres contraintes. L'un d'entre eux signalait qu'un tel outil l'aurait aidé lors de sa première année de doctorat, où il est crucial d'éviter de rater une piste de recherche prometteuse mais déjà en cours d'avancement par une autre équipe ou chercheur ailleurs dans le monde, où alors d'en tenir compte. On voit d'ailleurs régulièrement des chercheurs signaler, quand ils le peuvent, qu'un papier a oublié de citer une référence à des travaux antérieurs, en fait quasiment toujours parce qu'il les ignorait.

Approche donc à la fois déjà vue comme intéressante par tels industriels, en charge de l'innovation et ayant déjà eu une carrière de chercheur, surtout si elle facilite les premiers échanges avec les chercheurs correspondant, la complète factualité du résultat facilitant un début de discussion dépassionné, concret, scientifiquement dû, par lui-même dépourvu d'intention ou suspect.

Les spots violets correspondent au statut intermédiaire des résultats mesurés mais non publiés, par exemple non encore interprétés et pouvant être directement issus des bases expérimentales mentionnées en figure 1. Dans le cas – qui n'est pas celui de la figure 5, où 'mesure 2' est en fs et 'mesure 1' en mW – où les directions favorables correspondent aux abscisses et ordonnées, il est assez logique de les trouver en position améliorée par rapport aux points rouges.

Un autre apport du processus se trouve ensuite dans les statuts de projet de recherche en cours, chaque statut faisant lui-même ou devant faire l'objet de sous-découpages et outils appropriés. Ainsi, dans le cas de quelques approches vers l'interdisciplinarité à partir du premier niveau, le quart de cercle correspondant à la phase 'shaping', la liste ébauchée en figure 9.



© Discinnet Labs 2008-2010

8

Figure 7 : représentation Discinnet de résultats quantitatifs caractéristiques visés, prédits, attendus ou mesurés par les équipes de recherche dans le monde, d'un même 'virtual cluster' ou 'virtual community'.

L'un des principaux objectifs scientifiques du projet est décrit par la figure 8, tandis qu'un objectif pratique consiste à relier des dimensions d'ingénierie et d'innovation technologique notamment par l'intermédiaire du niveau C2 de l'arborescence de la figure 4, introduisant par encore un sous-niveau la transition vers le niveau industriel D1, et avec l'intégration de bases de composants et de brevets, via des outils et méthodes de design et de CAO notamment.

Il y a en effet différents types de 'shaping' d'objectifs de recherche comme esquissé en figure 9 et le projet de modélisation dans cette direction devrait être approfondi avec notamment sa forte relation avec les travaux en sémantique de la recherche, tout comme le niveau 'real' va être développé vers des interactions avec les bases d'instruments de mesure et de composants industriels.

Dans la figure 7 les spots 'shaping', qui correspondent au premier niveau ou à l'approche d'un nouveau projet de recherche, seront sans doute souvent les plus éloignés des états de l'art, encore que ce ne soit pas généralisable : des projets démarrant une nouvelle approche expérimentale par exemple, peuvent viser un résultat a priori proche des précédents et destiné à les confirmer, mais en fait donner a posteriori voire rapidement des résultats très éloignés. C'est ce qui motive les différentes sortes de quarts de cercles de la figure 9 : la façon dont ils peuvent démarrer et ensuite se combiner entre eux véhiculera différentes sortes d'associations.

Le niveau 'real' correspond quant à lui aux projets disposant d'un dispositif expérimental, d'un 'design' répondant très précisément aux exigences d'un bureau de brevet, que ce dispositif soit destiné à être breveté ou non (souvent il ne l'est pas, visant avant tout un résultat de recherche théorique). Autrement dit être réalisable selon l'état de l'art, **lequel implique d'ailleurs l'existant industriel du moment** (par exemple dans la qualité du télescope, des lanceurs de satellites, etc.)

## A few examples of trends analysis

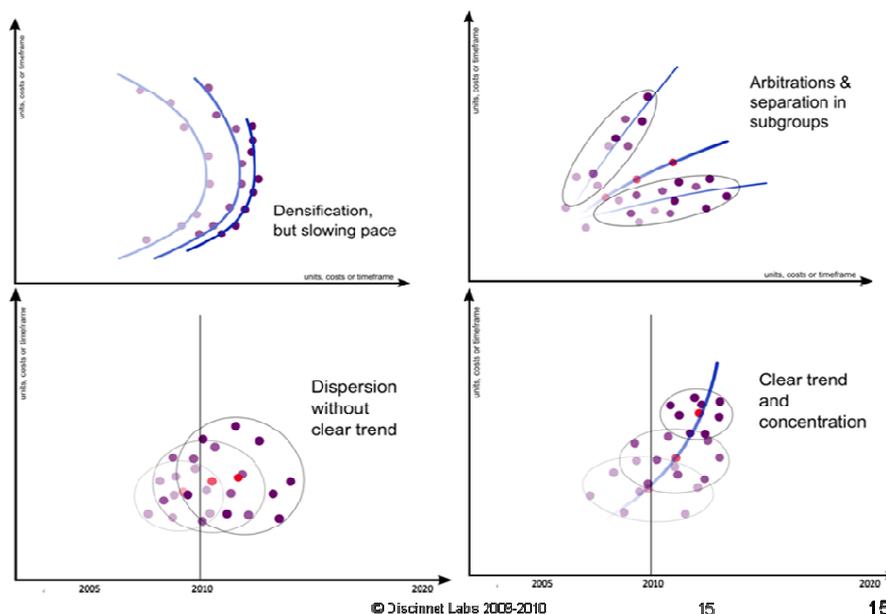


Figure 8 : exemples d'analyses prospectives in fine produites à partir de la base Discinnet une fois développée

Le travail de modélisation, critique théorique et expérimentale – i.e. retours de différentes sortes d'équipes de recherche, de domaines et de cultures – est bien sûr encore considérable, l'avantage étant cependant la possibilité d'avancer de façon pragmatique et avec des champs de recherche pouvant être déjà satisfaits isolément même si l'objectif est à terme un équipement d'aide aux relations interdisciplinaires, cf. figure 9. En effet en première approche les vues mono-disciplinaires, voire les films, sinon les tendances, déjà rétrocedées aux chercheurs eux-mêmes, correspondent à leur demande immédiate, qui n'est pas avant tout interdisciplinaire.

Cependant le projet interdisciplinaire Discinnet n'est pas une juxtaposition, comme un examen superficiel de la présentation [www.discinnet.org](http://www.discinnet.org) pourrait le laisser penser. Il s'agit bien de faciliter des interactions transdisciplinaires d'une part – des croisements théoriques ou déjà théoriques-expérimentaux entre domaines voisins, mais au concept de voisinage à étendre – et des intégrations pluridisciplinaires d'autre part, au sens par exemple des pluridisciplinarités amont-aval déjà bien mises en œuvre dans de larges domaines par les grands instituts de recherche français. Quelques-uns des modes d'assistance aux liaisons interdisciplinaires étant esquissées par la liste ci-dessous.

### 1) Vertical Interdisciplinary trends

B is Basic level (semantic) and B2 leads to C1 as C (Clusters Conceptproofing) also are 4+1 levels

C1 as Targeted results, are 'shaping' (symbolic) when theoretical, or (inter)subjective anticipation from scientific intuition, or an observational goal or a new type of measure.

B2 is 'real' at semantic level, C2 'real' at experimental, with existing components or others' C1

### 2) Cluster Intra-disciplinary complementarity

For instance beginning between each quarter-pie, or between them and more advanced shaped

■ observation ■ theory to exp. design ■ effect searched there ■ scientific intuition to theory

### 3) Diverse clustering/categorizing solutions

This is the typical spread of disciplines depending oracles' learning along past targets, with the interdisciplinary issue of the production of oracles of sufficient power.

### 4) Hypercube interdisciplinarity (as opposed to semantics)

Surfing throughout the hypercube by changing dimensions, resolutions, categories, etc..

### 5) General Interdisciplinary paths along fourfold status complementarity

The complementarity between Shaping, Real, Implementing, Achieved and Published is also transverse between levels, from underlying fields to components, instruments, protocols and integrated prototypes

Figure 9 : quelques voies d'assistance aux mises en relations interdisciplinaires via Discinnet

Chez le partenaire laboratoire Charles Fabry, l'outil a déjà fait l'objet de fructueux retours de la part de l'équipe lasers et surtout de l'équipe X-Ray / PXRMS par ses différents apports supplémentaires par rapport à l'outil spécifique déjà mis à disposition par Berkeley.

Il est important de souligner que Discinnet ne prétend nullement se substituer aux chercheurs, bien au contraire puisque l'intention et la redirection continuelle voire en temps réel de l'outil/réseau par tous les chercheurs qui s'y projette en est le fondement. C'est d'ailleurs ce qui a motivé une certaine préférence initiale vers cette approche plutôt que vers une analyse sémantique automatisée, mais d'ailleurs elle-même de plus en plus pour une certaine part manuelle.

Même un volume assez conséquent au départ est souhaitable à partir d'un certain nombre de données obtenues par un processus automatisé pour des états de l'art ou des mesures, en vue de l'ouverture de Discinnet à une certaine diversité de communautés pour une expérimentation étendue, la dynamique d'évolution repose ensuite sur une quasi-totale appropriation par les communautés de recherche elles-mêmes.

....

Par rapport à l'appel à projets Discinnet proposé entre dans la catégorie. Il s'agit d'un système d'information accessible via plateforme web 2.0 d'une part, intranets de partenaires publics ou privés d'autre part, donc pas particulièrement localisé. Mais si la localisation du système et notamment des données, pourrait avoir de l'importance on peut cependant préciser que le site d'exploitation est en France. Une structure juridique appropriée, de type fondation, est prévue pour l'y pérenniser.

Discinnet tel que décrit est complet, sous réserve d'accords pour l'intégration de modules partenaires (par exemple Aviz/Inria ou Quaero pour les recherches sémantiques) d'une part et évidemment des laboratoires partenaires actuels et prévus. Par contre il n'est pas complet au sens où des extensions sont prévues, dans le cadre des prochaines versions, ce qui ne pose aucun problème dans la mesure où sa mise à disposition aux chercheurs est gratuite, la participation financière étant à terme attendue des analyses de tendances poussées qui seront permises d'une part, et de son intérêt pour les industriels et fabricants de composants et technologies d'autre part.

Il ne s'agit donc pas d'une tranche et d'ailleurs Discinnet ne demande pas de moyens matériels particuliers et son coût de déploiement correspond principalement au coût du temps de tests par les chercheurs et concepteurs. En tant que plateforme web 2.0 plus moyens de stockage et analyses de données il ne pose pas de problème de maturité technologique, de standards ou d'équipements particuliers. Par contre il intègre et ouvrira par lui-même aux normes scientifiques (d'ores et déjà par exemple unités de mesure) et technologiques (normes et standards techniques européens au moins).

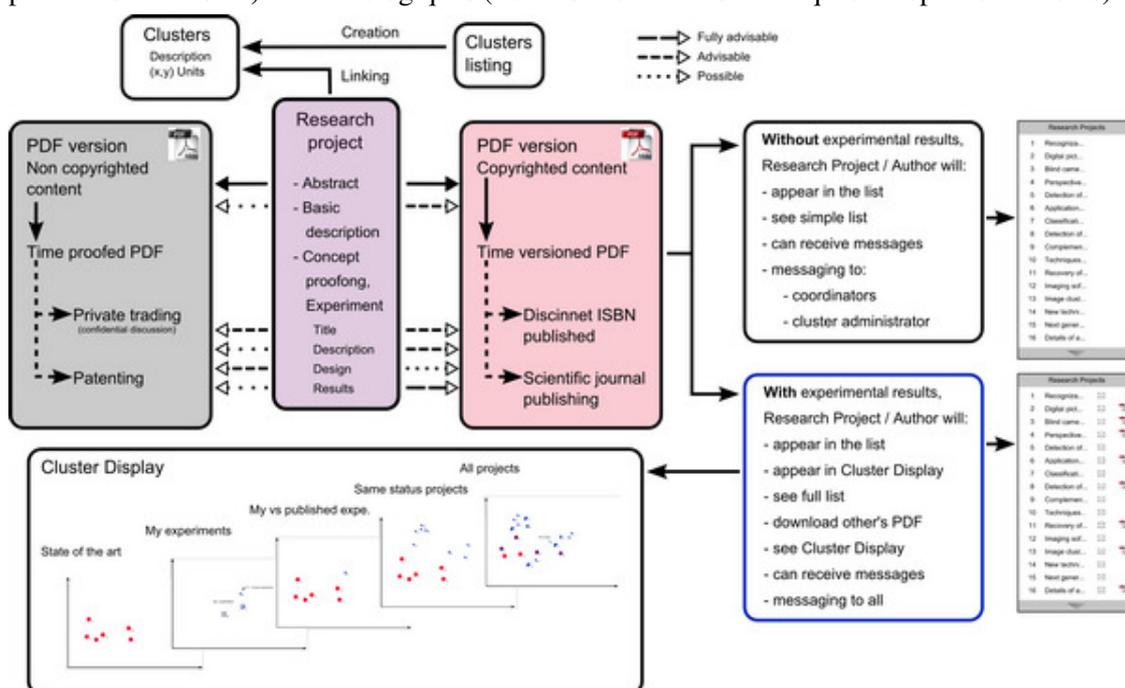


Figure 10 : synoptique des principaux groupes de traitements du processus Discinnet

Le cadre central montre de façon synthétique comment différentes tranches d'un ensemble de documents déposés par un chercheur peuvent être éclatés vers des zones de finalité opposées : vers la gauche, en zone grise, des données destinées à valorisation industrielle potentielle, brevet, à commencer par enveloppe Soleau, originalité française qui semble bien appréciée.

Ce volet (gris) n'a pas été approfondi dans la version actuelle du processus Discinnet. Il pourrait être développé avec des organismes partenaires concernés par ces questions. La portion 'Design', correspondant à des contenus qui seront associés au niveau C2, est ainsi censée devoir être protégée lorsque le module destiné à l'accueillir sera opérationnel. Il s'agira aussi bien de designs matériels que logiciels et ce module dépendra de progrès dans l'intégration des dimensions de mesure et des dimensions mesurantes, donc de différents types de dimensions.

Le volet rouge à droite est celui actuellement opérationnel, ayant fait l'objet de tests préliminaires avec des chercheurs conduisant aux nouvelles versions prévues. La distinction est forte entre des projets intégrant des résultats expérimentaux ne serait-ce que déjà prédits sur base théorique ou anticipés, avec intervalle de confiance éventuellement large – une zone d'observation et une zone ou typologie d'effets par exemple – d'une part, et projets de recherche sans perspective expérimentale encore visible d'autre part.

Les modes d'accès et les traitements dépendent alors de ce que chaque équipe/chercheur dans le monde met à disposition des autres, de façon à être alors d'autant plus visible et lisible, sur une base d'anonymat par défaut mais où les paramètres sont en fait essentiellement déterminés par chaque comité de pairs ou 'Cluster Peer Committee'.

Ainsi sur la figure 11 ci-dessous, seuls les états de l'art (donc publiés, ou publics) apparaissent en haut et à gauche : après la phase 2011 d'exploitation par lot d'une masse de papiers de recherche avec quelques partenaires, ils pourraient être mis à disposition assez ouvertement, selon ce qui paramètre de l'interaction entre le système lui-même et les différents 'Cluster Peer Committees'. Ceux-ci pouvant être aussi bien locaux (exclusivement français, voire internes à un établissement ou organismes, ou européens) que constituant une équipe, un projet ou un consortium de recherche.

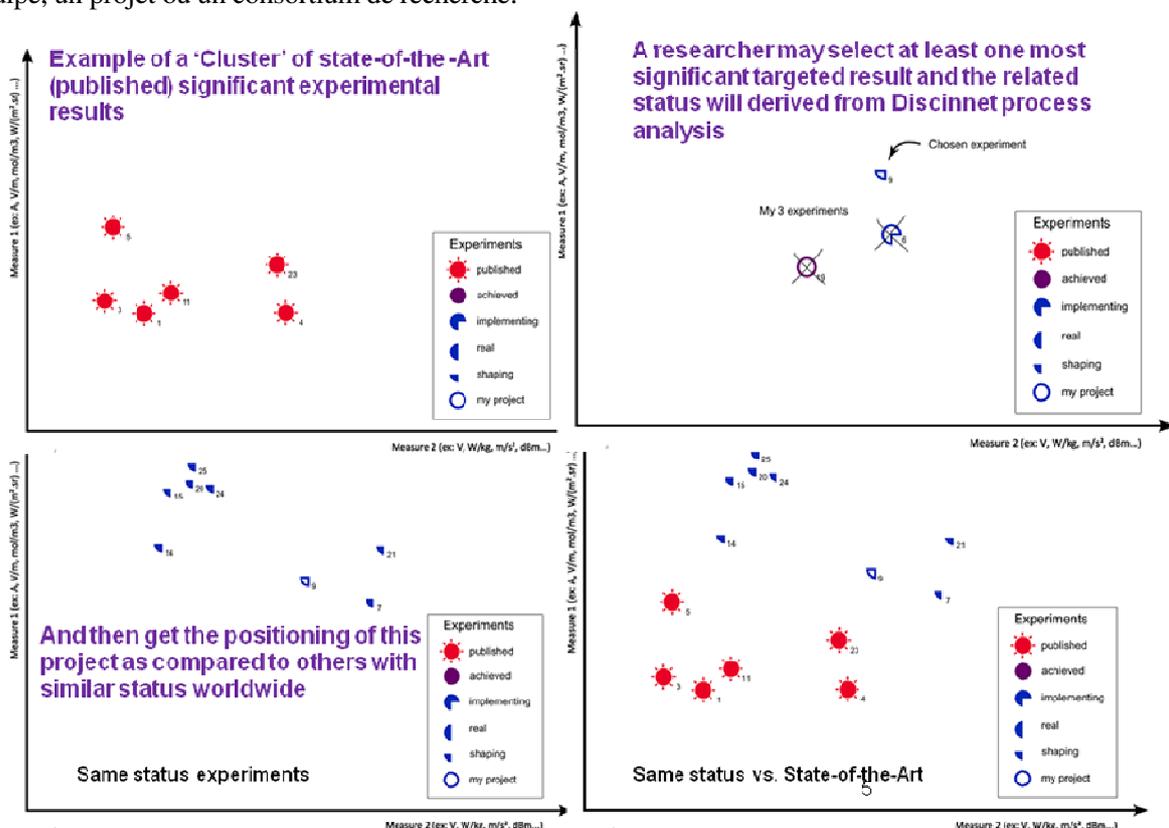


Figure 11 : quelques exemples d'écrans de résultats intermédiaires correspondant à des phases préparatoires

L'écran d'en haut à gauche de cette figure 11 montre un exemple d'aide au choix d'un résultat expérimental caractéristique et d'un statut par un chercheur. C'est aussi une des pistes de relations entre bases de données de résultats expérimentaux et intégration Discinnet. Mais le chercheur peut vouloir mettre en exergue différents statuts qui seront alors associés à différentes phases d'un projet dans le temps.

Chaque chercheur repère son projet dans une masse de projets comparables dans le monde puisque le sien apparaît en creux (figure 7 – projet 9 – et figure 11). Ceci, comme des jeux de couleurs et d'autres types de symboles, constitue une panoplie de moyens permettant aussi aux chercheurs, aux agences, aux industriels, de marquer des séries correspondant à différentes notions de territorialité.

## Vers l'industrie

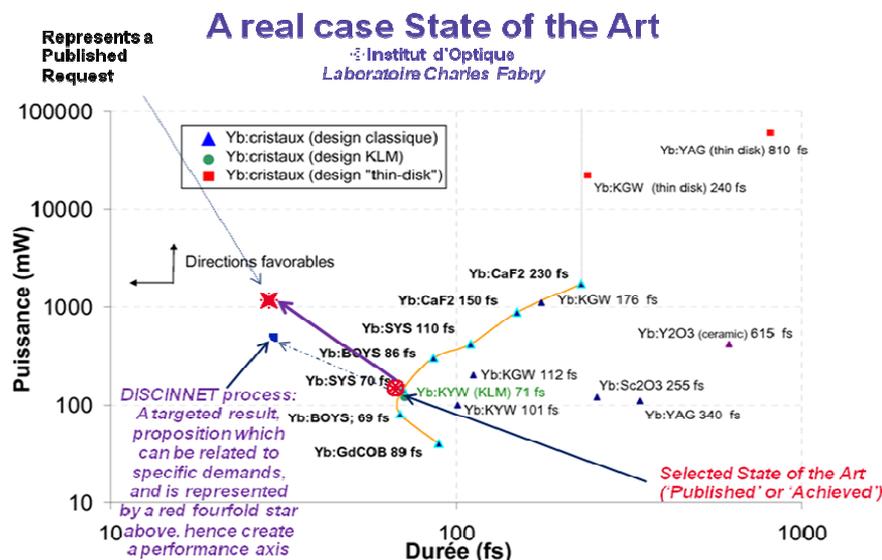


Fig.3-1 : Figure de mérite (durée-puissance) représentant les différents résultats obtenus avec des oscillateurs à base de cristaux dopés à l'ytterbium. Le verrouillage des modes en phase de ces différents oscillateurs a été réalisé grâce à l'utilisation d'absorbants saturables à semiconducteur sauf pour un cas particulier utilisant le principe de verrouillage de mode par effet Kerr. Les triangles reliés représentent le positionnement de nos travaux.

30/09/2010

©Discinnet Labs 2009-2010

5

Figure 12 : quelques exemples d'écrans de résultats intermédiaires correspondant à des phases préparatoires

Comme souligné par Yves Epelboin, le concept de performance est caractéristique du passage du stade 'recherche' au stade 'industriel' : le chercheur parlera éventuellement de 'directions' favorables, encore que les directions favorables pour une série d'applications puissent être l'inverse dans une autre série puisque par exemple les militaires, des chirurgiens de la cornée ou des découpeurs de tissus pourraient avoir des besoins diamétralement opposés, dans le cas d'impulsions lasers, quant à l'évolution souhaitable du rapport durée/puissance.

## Conclusion

Même appliquée, l'épistémologie allait du statut de philosophie des sciences à celui d'étude historique et méthodologique de certaines d'entre elles, ses objets propres. Mais de même que l'économie, la gestion ou l'informatique sinon même les mathématiques, elle a commencé à s'avancer d'un statut d'observateur vers celui d'acteur, de philosophie à science et maintenant de science à technologie pour reprendre et adapter le titre de Berry sur la gestion comme « technologie invisible ».

Le projet Discinnet s'est donné dès le départ comme objectif d'envisager la possibilité d'étudier l'ensemble des champs de recherche comme un domaine qui serait modélisable, où des lois et des prédictions seront envisagées et où des méthodes interdisciplinaires pourraient être systématiquement proposées. D'importances étapes sont encore à franchir : si Kuhn a pu proposer l'un des premiers processus généraux avec sa « structure des révolutions scientifiques », dont les technologies correspondantes ne font donc qu'apparaître, un long parcours d'expérimentation, de modifications et de confirmations-réfutations, étalés sur une assez grande diversité de champs de recherche, s'impose à nous avant de pouvoir prétendre avoir effectivement apporté une contribution utile, sinon décisive, à la progression et aux méthodes scientifiques dans le but interdisciplinaire qui est le nôtre.

## Références

- [1] SCHUMMER J., *Interdisciplinary issues in nanoscale research*, U. Heidelberg, 2004
- [2] RINIA E., *Measurement and evaluation of interdisciplinary research and knowledge transfer*, U. Leiden, 2007
- [3] ZIEGLER M, *Physically-Relativized Church-Turing Hypotheses*, arXiv : 0805.1292v1, 2008
- [4] BOZEMAN B. & ROGERS J., *A churn model of scientific knowledge value: Internet researchers as a knowledge value collective*, *Research Policy* 31 (2002) 769–794
- [5] BOZEMAN B., *Public Value Mapping of Science Outcomes: Theory and Method*, Center for Science, Policy, & Outcomes, Columbia University, Washington, DC 20005
- [6] EKBOIR J., *Why impact analysis should not be used for research evaluation and what the alternatives are*, *Agricultural Systems*, 78 (2), p.166-184, Nov. 2003
- [7] PASCHKE A., *Design Patterns for Complex Event Processing*, Biotec Ctr, Technical University Dresden, 2008
- [8] SMOLIN L. *Rien ne va plus en Physique*, Dunod, 2006
- [9] ROGERS J., *Theoretical Consideration of Collaboration in Scientific Research*, in J.S. Hauger - C. McEnaney Eds. *Strategies for Competitiveness in Academic Research*, 2000
- [10] BORNMANN L., WALLON G., LEDIN A., *Does the Committee Peer Review Select the Best Applicants for Funding? An Investigation of the Selection Process for the Two European Molecular Biology Organization Programmes*, *Plosone*, vol. 3, issue 10, 2008
- [11] BERRY M., *Une Technologie Invisible*, Centre de Recherches en Gestion de l'École Polytechnique, 1971
- [12] JOURNEAU P., *Interdisciplinarité pour une science de l'Innovation*, Projet de Recherche, 2007
- [13] BERRY M., *La Recherche saisie par la mesure*, École de Paris du management, 2004
- [14] FEYNMAN R., *La nature de la physique*, traduction française Robert Laffont de "The Character of Physical Law" et Conférence Nobel, Feynman 1955
- [15] SAKAJI A. & LICATA I., *Interdisciplinary Applications in Physics : Complexity in Social and Biological Systems*, *EJTP*, vol. 4, Number 16, 2007
- [16] MANKINS J., *Technology Readiness Levels, A White Paper*, Advanced Concepts Office, NASA, Office of Space and Technology, 1995
- [17] *L'AERES passée au crible, Y a t-il une révolution de l'évaluation?*, supplément au N°30, Octobre 2008, L'Officiel de la Recherche et du Supérieur
- [18] BOUTON C., *Au-delà de la représentation, Kant et le problème de l'idéalisme*, Philosophie n°81, Éditions de Minuit, 2004
- [19] JOURNEAU P., *Emergence of dimensions in cosmology*, *New Advances in Physics* vol. 4, 2010
- [20] JOURNEAU P., *Semantic vs. Formal and Random limitations*, ESPP09, Budapest 08/2009
- [21] JOURNEAU P. & L. TRON, *Mesurer la recherche interdisciplinaire*, VSST09, Nancy, 03/2009
- [22] JOURNEAU P., *Impact of automation on Hospital responsibility*, HCTM, Pise, 10/2007
- [23] JOURNEAU P., *Evolution of the concept of dimension*, conference FFP8, Madrid, 10/2006, AIP # 915, 2007
- [24] EPELBOIN Y., *Méthodes numériques pour la physique*, cours, UPMC, 2005
- [25] CHAITIN G., *On the intelligibility of the universe and the notions of simplicity, complexity and irreducibility*, German Philosophical Society, Bonn, 2002
- [26] CHAITIN G., *Randomness and Mathematical Proof*, *Scientific American* 232, n°5, 1975
- [27] CHAITIN G., *Information-Theoretic limitation of formal systems*, *Journal of the ACM* 21, 1974
- [28] AARONSON S., *NP-complete Problems and Physical Reality*, arXiv: quant-ph/0502072v2, 2005
- [29] POLANCO X. & SANJUAN E., *Hypergraph Modeling and Graph Clustering Process Applied to Co-word Analysis*, 11th International Conference of the International Society for Scientometrics and Informetrics, Madrid, Spain, June 25-27, 2007. *Proceedings*, vol. 2, p. 613-618
- [30] PEREZ A., *Recherche: la course à la performance*, *Les Echos*, 8 janvier 2009
- [31] BAUMARD P., *Learned Nations: Seeking National Competitive Advantages Through Knowledge Strategies*, Open Source Solutions, Falls Church, VA: OSS, 1993
- [32] *Rapport Quadriannuel*, Institut d'Optique, Laboratoire Charles Fabry, Palaiseau, 2004
- [33] HOPCROFT J. & ULLMAN J., *Formal Languages and their Relation to Automata*, Addison-Wesley series in Computer Sciences and Information Processing, 1969