INSTITUT DES SCIENCES DE L'HOMME
ISH (USR 3385 - CNRS) - 14 avenue Berthelot - 69007 Lyon - France



30 août 2013
Note de recherche 02-13

Essai d'analyse de l'interdisciplinarité dans la recherche scientifique

Djamel Abdelkader Zighed - Adrian Tanasescu - Pablo Jensen
abdelkader.zighed@ish-lyon.cnrs.fr - Adrian.tanasescu@ish-lyon.cnrs.fr -
pablo.jensen@ens-lyon.fr

Résumé

La pluridisciplinarité est à la mode et elle est souvent vue comme un moyen d'élargir l'univers des possibles pour générer de nouvelles occasions de découverte et d'innovation scientifiques. Etudier comment s'opère cette pluridisciplinarité permettrait, sans aucun doute, de comprendre ses mécanismes de construction et, peut être, de trouver les leviers qui la rendent plus systématique. Dans ce cadre, et au delà même de cette problématique générale, l'objet de cet essai est de proposer une approche méthodologique et un cadre mathématique permettant de modéliser l'interdisciplinarité et d'analyser les processus d'interactions entre les disciplines. Nous étudions à la fois l'interdisciplinarité dans les sciences de la vie et de la matière et dans les sciences humaines et sociales et cela à travers deux extraits de bases bibliographiques.

Mots clés - Interdisciplinarité ; modélisation ; prétopologie ; indicateurs ;

Remerciements

Ce travail a été rendu possible grâce aux contributions de :

- Madame Sonia Guerin-Hamdi, Ingénieure de Recherche au CNRS, responsable de l'appui à la recherche à l'ISH ;
- Madame Céline Faure, Ingénieure d'étude, statisticienne, en charge du pôle statistique à l'ISH ;
- Monsieur Sofiane Bouzid, statisticien Ingénieur d'étude, statisticien à l'ISH.

Qu'ils soient tous trés chaleureusement remerciés pour leurs précieuses contributions.

Table des matières

1 Introduction 2
2 Définition de la pluridisciplinarité 2
2.1 considérations générales 2
2.2 Opérationnalisation du découpage disciplinaire 3
2.3 Caractérisation de l'interaction interdisciplinaire 4
3 Modélisation prétopologique de l'interdisciplinarité 8
3.1 Présentation générale 8
3.2 Modélisation prétopologique 9
4 Interdisciplinarité en sciences 10
4.1 Présentation des données 10
4.2 Coefficient d'intégration 10
4.3 Filières d'échanges scientifiques 14
5 Interdisciplinarité en SHS 15
5.1 Présentation des données 15
5.2 Niveau d'intégration des disciplines SHS 16
5.3 Filières d'échanges interdisciplinaires 20

A Notions élémentaires de prétopologie **21**

1 Introduction

La pluridisciplinarité est considérée par tous les chercheurs comme la clé de réussite en matière de recherche et d'innovation. Elle permet d'élargir l'univers des possibles et de ce fait accroit les possibilités de découverte et d'innovation. Etudier comment s'opère cette pluridisciplinarité permet sans aucun doute de mieux comprendre les ressorts de son efficacité et peut être de trouver les leviers qui faciliteraient sa systématisation. Au delà de cette problématique générale, l'objet de cet essai est de proposer, d'une part une conceptualisation et d'autres part, un cadre mathématique permettant de modéliser et d'analyser les interaction inter-disciplines.

Dans ce travail, nous examinons, de manière séparée, d'un côté les disciplines scientifiques des sciences de la vie et de la matière et, de l'autre, les disciplines des sciences humaines et sociales.

Dans la section suivante, nous allons d'abord tenter de préciser ce qu'est une discipline et comment nous pouvons la décrire, l'observer et la modéliser dans la pratique. Nous définirons pour cela des indicateurs de mesure qui permettent de caractériser d'un côté chaque discipline et de l'autre, les interactions qu'elles entretiennent entre elles. Dans la troisième partie, nous montrons la mise en oeuvre de cette approche sur des données réelles extraites des bases de données bibliographiques ouvertes et moissonnables comme le *web of science* pour les disciplines scientifiques et le portail des compétences *SHS-DocNet* de l'ISH, pour les sciences humaines et sociales. Enfin, nous terminons par des conclusions et des perspectives. En annexe, nous rappelons les fondements de la prétopologie et les principaux concepts que nous utilisons pour cette modélisation.

2 Définition de la pluridisciplinarité

2.1 considérations générales

Historiquement, les sciences se sont organisées en disciplines, ce qui a permis une accumulation énorme de connaissances spécialisées [SW00, Abb01]. Les disciplines représentent un ensemble de méthodologies de recherche, de connaissances et de techniques spécialisées accumulées sur leur objet de recherche. Les disciplines possèdent une assise institutionnelle sous forme de structures de recherche et d'enseignement qui leur permettent d'être financées, de stabiliser leur corpus et de se pérenniser en formant des « disciples » qui forment des communautés de pensée. Cependant, les disciplines sont flexibles et leurs frontières bougent constamment, comme en témoignent par exemple les réorganisations des sections et instituts du CNRS. Du coup, la notion de « discipline » est déjà floue

et peut être définie à plusieurs échelles (Ex : physique, physique des particules ; Institut du CNRS ou section...).

La pluridisciplinarité représente une collaboration, une mise en cohérence de différentes disciplines, avec plusieurs degrés d'intrication : collaboration laissant disciplines non affectées (multi ou pluri-disciplinarité), ou modifiées (inter-disciplinarité) ou menant à nouvelle discipline (trans-disciplinarité). De façon conceptuelle, nous pouvons considérer les disciplines comme des objets distincts, reliés entre eux par des liens qui expriment des échanges, qu'on appelle des interactions. Ces liens/interactions peuvent être valués pour quantifier la force de la relation ou du lien.

2.2 Opérationnalisation du découpage disciplinaire

Pour ce qui est de la discipline, sans chercher à entrer dans un débat philosophique hors de notre propos du moment, on peut dire, de façon pragmatique, qu'elle est issue d'une nomenclature dans laquelle sont classifiées les travaux scientifiques. Dans les bases de données bibliographiques, les articles sont généralement rattachés à une discipline et parfois à plusieurs. Dans ce dernier cas, on suppose qu'il y a toujours des disciplines principales et des disciplines secondaires. Dans notre approche, nous considérons qu'il y un consensus sur ces nomenclatures. Bien évidement, notre démarche et notre propos restent valables quelque soit la nomenclature retenue. Par exemple, on peut parfaitement travailler sur une classification qui repose sur la nomenclature du Comité National des Universités (CNU). Dans ce cas, toutes ses sections peuvent être vues comme un découpage disciplinaire des activités scientifiques. Nous pouvons également considérer la nomenclature du CNRS et/ou celle de tout autre organisme. Cette nomenclature doit seulement être fournie ou établie a priori.

Dans ce travail, nous nous appuyons sur la classification fournie dans les bases de données bibliographiques. Par exemple, sur le *web of science* d'où est extrait notre échantillon des publications scientifiques, nous avons recensé plus de deux cents disciplines de rattachement. Pour simplifier la présentation, et sans nuire à la généralité du propos, admettons que le champs de la recherche scientifique se décompose en n champs disciplinaires. Dans chaque discipline $i, i = 1, \ldots, n$, nous avons m_i chercheurs qui ont produit A_i articles scientifiques. Ces chiffres sont accessibles facilement par comptage dans les bases de données bibliographiques. Chaque article est rattaché à une ou plusieurs disciplines. Dans le cas où plusieurs disciplines sont concernées, on pourrait en prendre plusieurs en fonction d'un seuil de présence. Les autres disciplines sont considérées comme secondaires.

Dans les travaux que nous présentons plus loin, pour les sciences dites dures, nous avons extrait du *web of science* une base de données qui comporte 178 disciplines. Pour les sciences humaines et sociales, le fichier, extrait par moissonnage

sur de nombreux sites de références bibliographiques français en comporte une trentaine.

2.3 Caractérisation de l'interaction interdisciplinaire

Mesure d'échange entre disciplines

Il s'agit de mesurer la liaison qui existe entre deux disciplines. Il y a pour cela différentes façons de le faire. Pour deux synthèses récentes, voir [WRB+11].

Nous allons évaluer l'interdisciplinarité via l'apport ou la contribution des *chercheurs* d'une discipline à la production scientifique d'une autre discipline.

Par production, nous entendons les articles scientifiques publiés. Ainsi, les chercheurs d'une discipline peuvent écrire et publier des articles dans une discipline qui n'est pas la leur. De façon duale, une discipline peut faire appel à des chercheurs d'autres disciplines pour sa production scientifique. Ces échanges entre disciplines ne sont pas nécessairement symétriques.

En effet, les bases de données bibliographiques, qui constituent nos matériaux de base, contiennent, pour chaque article, la liste des auteurs qui y ont travaillé. Ces auteurs peuvent relever de la discipline de l'article ou peuvent venir d'une autre discipline en tant que co-auteurs. Comment alors savoir si un auteur relève ou non d'une discipline donnée. C'est ici que nous allons faire une approximation en considérant qu'un auteur relève d'une seule discipline, celle dans laquelle il produit le plus d'articles scientifiques.

Il faut juste donner un sens précis à cette quantification. Outre le fait que nous ne considérons, arbitrairement, que chaque auteur devra avoir au moins u articles présents dans la base, on peut également proposer un seuil s et dire, par exemple, qu'un auteur k appartient à la discipline j si la proportion d'articles t_{kj} qu'il a publiés dans la discipline j dépasse celles des articles qu'il a publié dans les autres disciplines et que cette proportion dépasse le seuil s.

$$t_{kj} \geq s \ ; \ t_{kj} \geq t_{ki} \ \ \forall i, \ \ i = 1, \ldots, n; / \sum_{j=1}^{n} t_{kj} > u$$

De cette hypothèse, nous pouvons décliner une mesure facile à évaluer à partir des bases de données bibliographiques. En effet, dès lors que nous sommes capables de rattacher chaque publication et chacun de ses auteurs à un champs disciplinaire, nous pouvons comptabiliser ces chiffres. La règle mise en oeuvre dans ce travail porte seulement sur le seuil u fixé arbitrairement à 4 sans tenir compte du seuil s car notre base est relativement faible en taille.

La mesure qui émerge naturellement doit refléter les interactions mutuelles entre les disciplines i et j. En effet, il ne peut y avoir de pluridisciplinarité sans

cette influence mutuelle que l'on note x_{ij}. Nous pouvons la quantifier par le nombre d'articles que la discipline j a co-écrits avec des chercheurs de la discipline i. Il s'agit ainsi de mesurer l'effort apporté par les chercheurs de la discipline i à la rédaction des articles réputés comme relevant de la discipline j. C'est comme si c'était une force qui s'exercait d'une discipline sur l'autre ou d'une quantité d'un bien donné par la discipline i à la discipline j pour produire x_{ij} articles.

On appellera x_{ij} l'échange de i vers j.

Ainsi, les disciplines peuvent être vues comme les noeuds d'un graphe valué et les arcs qui les relient représentent les échanges réciproques comme le montre figure 1.

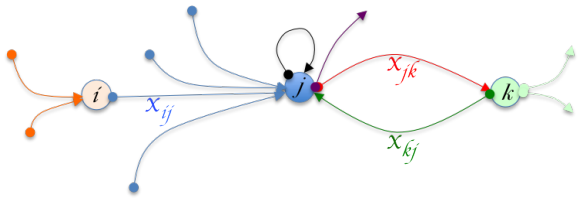


FIGURE 1 – Graphe des interactions interdisciplines

Avant d'aller plus loin, nous allons encore fixer quelques notations et définitions qui seront utilisées tout au long de ce papier. Nous allons pour cela nous référer au graphe de la figure 1.

On précise au passage que la relation d'échange n'est pas symétrique $x_{ij} \neq x_{ji}$, par exemple des mathématiciens peuvent co-rédiger des articles dans des revues de physique sans que la réciproque soit vraie. Pour faciliter l'exploitation informatique, nous pouvons également représenter l'information qui décrit la pluridisciplinarité par un tableau croisant les disciplines entre elles comme indiqué par le tableau 1. Ce Tableau traduit alors les Echanges Interdisciplinaires (TEI) et il s'apparente aux tableaux d'échanges industriels - dits aussi tableaux des entrées/sorties de Léontief - bien connus des économistes qui étudient la théorie générale de l'équilibre. D'ailleurs, nous ferons quelques autres emprunts à ces théories économiques quand il s'agira de travailler sur la notion de filières scientifiques par analogie avec les filières industrielles. Afin de prendre en compte la similarité sémantique entre les disciplines, il nous a paru judicieux de rectifier, quant cela est possible, la valeur x_{ij} par un coefficient de pondération $(1 - s_{ij})$ où s_{ij} est la similarité entre les deux disciplines. On trouvera dans [LRC13, LR12] [1] la définition précise de la matrice de similarité entre disciplines.

1. Nous tenons à remercier I. Rafols d'avoir bien voulu nous fournir directement la matrice des similarités qu'il a calculée lui même.

X	1	$\cdots$	i	$\cdots$	j	$\cdots$	n
1	x_{11}	$\cdots$	$\cdots$	$\cdots$	$\cdots$	$\cdots$	x_{1n}
$\vdots$	$\vdots$	$\ddots$					$\vdots$
i	$\vdots$		x_{ii}		x_{ij}		$\vdots$
$\vdots$	$\vdots$			$\ddots$			$\vdots$
j	$\vdots$		x_{ji}		x_{jj}		$\vdots$
$\vdots$	$\vdots$					$\ddots$	$\vdots$
n	$\vdots$	$\cdots$	$\cdots$	$\cdots$	$\cdots$	$\cdots$	x_{nn}

TABLE 1 – Tableau des échanges Interdisciplinaires - TEI

Entrée et Affluence d'une discipline

Pour une discipline j, on définit :

- l'Entrée E_j qui quantifie le nombre total d'articles qu'elle a publié. Certains d'entre eux peuvent avoir été écrits par des co-auteurs venant d'autres disciplines. Ainsi, $E_j = \sum_{i=1}^{n} x_{ij}$.
- l'Affluence A_j mesure le nombre d'articles publiés dans la discipline j avec au moins un co-auteur issu d'une autre discipline. Cela représente le pouvoir attractif de la discipline j sur les chercheurs des autres disciplines et traduit ainsi une sorte d'affluence vers la discipline. Ca sera l'Entrée E_j diminuée des articles produits exclusivement par les auteurs de la discipline j ce qui fournit : $A_j = E_j - x_{jj}$.
- l'indice d'affluence a_j d'une discipline est la proportion d'articles de la discipline j co-rédigés avec au moins un chercheur d'une autre discipline : $a_j = \frac{A_j}{E_j}$. C'est la part d'articles réalisés par la discipline j grâce à l'apport des autres disciplines. On a $a_j \in [0,1]$. Si ce coefficient tend vers 0 cela traduit une fermeture quasi-totale de la discipline autrement dit, la discipline j ne produit que par elle même sans aucun apport des autres. En revanche, une valeur proche de 1 signifie une ouverture quasi-totale, c'est-à-dire une dépendance quasi-totale vis-à-vis des autres disciplines puisqu'elle ne produit rien par elle même.
- La diversité en entrée α_j s'exprime par le demi-degré entrant de j qui est le nombre d'arcs qui arrivent sur j, c'est aussi le nombre de disciplines (ascendants) dont les chercheurs contribuent à la production de j. Dans l'exemple de la figure 1, $\alpha_j = 5$, $\alpha_i = 2$ et $\alpha_k = 1$.
- L'Indice d'attractivité $\overline{A_j}$ est le taux moyen d'affluence de j qui se calcule comme suit : $\overline{A_j} = \frac{A_j}{\alpha_j}$. Il mesure une sorte de capacité moyenne d'absorption de j.

Sortie et Influence d'une discipline

De façon analogue, pour une discipline j, on définit :

- La Sortie S_j qui exprime la quantité total d'articles co-produits par des auteurs de la discipline j en lien avec les autres disciplines, d'où $S_j = \sum_{k=1}^{n} x_{jk}$.
- l'Influence I_j est la part d'articles co-produit par j au profit de toutes les autres disciplines : $I_j = S_j - x_{jj}$. Cela montre à quel point j influe sur les autres disciplines.
- l'Indice d'influence est la proportion d'articles co-rédigés par des auteurs issus de j dans les autres disciplines : $s_j = \frac{I_j}{S_j}$. Il permet de mesurer la contribution de la discipline j dans la production de toutes les autres par rapport à elle même. Ainsi, une valeur proche de 1 signifierait que j ne travaille que pour les autres et une valeur nulle signifie qu'elle ne travaille que pour elle même et sa propre production.
- La diversité de sortie δ_j est le demi-degré descendant : le nombre d'arcs qui partent de j vers les autres disciplines auxquelles les chercheurs de j contribuent. Dans l'exemple de la figure 1, $\delta_i = 1$, $\delta_j = 3$ et $\delta_k = 2$.
- L'Indice d'influence $\overline{I_j}$ de j est $\overline{I_j} = \frac{I_j}{\delta_j}$. Il mesure une sorte de capacité moyenne d'impacter les autres disciplines.

Coefficient d'intégration des disciplines

Les deux coefficients, d'affluence a_j et d'influence s_j sont en faits duaux l'un de l'autre et on verra qu'ils sont même assez corrélés. Ils sont très parlant. Mais on peut être tenté par rechercher un indicateur qui soit la synthèse des critères qui mesurent en quoi une discipline contribue ou pas à l'interdisciplinarité à la fois par ses apports et par ses emprunts aux autres disciplines. On peut naturellement imaginer qu'une discipline qui participe à la production des autres discipline par - ses influences - et qui se nourrit elle même d'autres disciplines par - ses affluences - est d'avantage dans la pluridisciplinarité qu'une discipline qui ne produit qu'en interne avec ses propres forces seulement. Par emprunt à la sociométrie on parlera du niveau d'intégration d'une discipline. On peut ainsi proposer un indice d'intégration γ_j calculé comme suit :

$$\gamma_i = c_1 a_i + c_2 \alpha_i + c_3 \overline{A_i} + c_4 s_j + c_5 \delta_i + c_6 \overline{I_i}$$

Ce coefficient γ normalisé varie dans l'intervalle $[0,1]$. Une valeur nulle exprime une discipline vivant en totale autarcie et donc peu intégrée aux autres champs de la recherche pluridisciplinaire. Une telle discipline produit ses publications par ses propres forces, internes à elle même, sans aucun apport extérieur. Ces mêmes forces ne participent à aucune autre activité de publication dans d'autres

disciplines. Cet indice d'intégration permet de ranger les disciplines de la plus à la moins intégrée. Les autres indices permettant d'apprécier si cette intégration exerce une attractivité sur les autres (affluence) ou un rayonnement en direction des autres (influence). En économie on évoque les notions d'intégration d'un secteur industriel par les achats ou par les ventes qu'il réalise avec les autres secteurs. Ce que nous avons introduit de plus ici, ce sont les indicateurs de diversité qui rendent compte d'une information particulière non reflétée par les variables a_i et s_i. Les coefficients $c_i, i = 1,\ldots,6$ peuvent être obtenus par une technique de projection des moindres carrés. On cherchera alors les coefficients $c_i, i = 1,\ldots,6$ de la droite dans IR^6 qui conservera au mieux les distances entre disciplines. Par exemple, les $c_i, i = 1,\ldots,6$ pourraient être les coefficients du premier axe factoriel de l'Analyse en Composantes Principale (ACP) des disciplines plongées dans l'espace IR^6 formé des 6 variables $a, s, \alpha, \overline{A}, \delta, \overline{I}$.

Coefficient d'impact

Le coefficient d'impact de la discipline i sur la discipline j qu'on notera β_{ij} se calcule comme suit :

$$\beta_{ij} = \frac{x_{ij}}{E_j}$$

Ce coefficient permet d'apprécier l'apport relatif de i dans la production totale de j. Ce coefficient varie dans l'intervalle $[0,1]$. Une valeur proche de zéro signifie que la discipline i ne travaille jamais de façon directe avec la discipline j. Une valeur proche de 1 signifie que la discipline j est entièrement dépendante de i car elle ne produit rien par elle même $x_{jj} = 0$ et aucune autre ne lui apporte quelque chose $x_{kj} = 0; \forall k \neq i$. Dans ce cas ; le demi-degré entrant est égal à 1.

3 Modélisation prétopologique de l'interdisciplinarité

3.1 Présentation générale

On peut regarder les échanges interdisciplinaires comme un système dont les éléments sont les disciplines qui sont interalliées entre elles dans une dynamique d'échanges. Le système d'échange est représenté par un graphe ou de manière équivalente par une relation binaire qui nous autorise à faire appel aux concepts de la théorie des graphes pour l'étudier. Cependant, nous avons préféré faire appel à la prétopologie car elle propose un cadre mathématique bien plus riche et particulièrement adapté à la modélisation des systèmes dynamiques complexes comme celui de l'interdisciplinarité. Nous pouvons mieux étudier la propagation

des phénomènes de contagion, de propagation et de structuration. Cette théorie développée [BLM+11], fournit des outils qui permettent d'analyser finement les disciplines et la manière dont elles se structurent entre elles. Nous donnons en annexe un bref rappel des concepts de base de la prétopologie.

3.2 Modélisation prétopologique

Nous pouvons analyser les disciplines et leurs interactions en termes d'influence, de domination ou d'indépendance etc. par exemple, le coefficient d'impact introduit plus haut permet de mesurer à quel point une discipline j est influencée par une discipline i. Nous pouvons jouer sur un seuil pour déterminer s'il y a influence ou pas. Nous pouvons ainsi construire des clusters de disciplines. Dans notre travail, nous allons nous intéresser à un concept proche de ce que les économistes connaissent désignent par la dominance d'un secteur économique sur un autre.

On dira que la discipline i domine la discipline j si la contribution de i à j dépasse d'un seuil v la contribution inverse, c'est-à-dire : $x_{ij} \geq x_{ji} + v$. La dominance est alors une relation binaire réflexive et non symétrique :

$$x\mathscr{R}y \Leftrightarrow x_{ij} \geq x_{ji} + v$$

ou bien, pour un seuil v' donné,

$$x\mathscr{R}y \Leftrightarrow \frac{x_{ij}}{x_{ji}} \geq v'$$

Ainsi, si l'on désigne par E l'ensemble des disciplines, alors

$$\mathscr{R}(i) = \{j \in E, \frac{x_{ij}}{x_{ji}} \geq v'\}$$

désigne l'ensemble des disciplines dominées par i.

Soit E l'ensemble des disciplines concernées. Soit $\mathscr{R}$ la relation binaire réflexive et non symétrique sur ExE définie plus haut. l'adhérence d'une partie A, $A \subset \mathscr{P}(E)$ est définie comme suit :

$$\forall A \in \mathscr{P}(E), a(A) = \{x \in E, \mathscr{R}(x) \cap A \neq \emptyset\}$$

ou bien, de manière duale,

$$\forall A \in \mathscr{P}(E), a(A) = \{x \in E, \mathscr{R}^{-1}(x) \cap A \neq \emptyset\}$$

ou encore, pour un seuil $0 \leq v' \geq 1$

$$\forall A \in \mathscr{P}(E), a(A) = \{j \in E - A, \frac{x_{ij}}{x_{ji}} \geq v'\} \cup A$$

De là, nous pouvons calculer les fermés minimaux qui constituent les concepts clé dans la description de la structure des échanges interdisciplinaires. La définition des fermés minimaux est donnée en annexe et correspond en fait aux blocs disciplinaires qui ne sont influencés par aucune autre discipline. On s'intéressera également à un concept fondamental qui est appelé intérieur d'un ensemble dont le dual s'appelle l'adhérence.

4 Interdisciplinarité en sciences

4.1 Présentation des données

Pour les disciplines scientifiques, nous avons travaillé sur une base extraite du *web of sciences*. Il s'agit d'un corpus composée de 7584 références bibliographiques sur la prériode 1988-2011. Les publications concernent en fait des auteurs rattachés à l'Ecole Normale Supérieure (ENS) de Lyon. Cette base couvre 178 disciplines que nous avons réduit à 64 en éliminant les disciplines avec moins de 20 publications au total. Le nombre d'auteurs/co-auteurs concernés par ces publications est de 12398. Bien entendu les auteurs d'une même publication peuvent appartenir à plusieurs établissements français ou étrangers. Seulement au moins l'un des co-auteurs appartient ou appartenait à l'ENS Lyon.

4.2 Coefficient d'intégration

A partir de la base de données, nous avons calculé les six indices d'affluence et d'influence $a_i, \alpha_i, \overline{A_i}, s_j, \delta_i$ et $\overline{I_i}$ pour toutes les disciplines. Dans la figure 4.2 nous avons représenté les disciplines dans le plan formé des deux indices d'affluence a_i et d'influence s_i seulement. Ce graphique nous permet de positionner les disciplines des plus ouvertes aux plus fermés. Rappelons qu'il s'agit ici de la pratique de la recherche à l'ENS de Lyon et que ce modèle n'est pas nécessairement transposable à toutes les institutions, voire à l'ensemble de la communauté. Cependant, des phénomènes structurelles communs doivent quand même exister. Le cadran inférieur gauche contient les disciplines à faibles indices d'affluence et d'influence. Par exemple les disciplines "*Mathematics ; Geochemistry & Geophysics ; Astronomy & Astrophysics*" sont les moins ouvertes par rapport aux disciplines qui se trouvent à l'opposé dans le cadran supérieur droit. Parmi les disciplines les plus ouvertes sur les autres on trouve "*Zoology ; Crystalography ; Biophysics, Physics, applied*". On peut ainsi localiser les disciplines les unes par rapport aux autres selon ces deux critères simples à interpréter.



FIGURE 2 – Positionnement des disciplines selon leur degré d'ouverture

Indicateur	Axe 1	Axe 2
δ	0,92597	-0,2244
$\overline{I}$	0,91828	0,21718
$\overline{A}$	0,82821	0,01906
α	0,80775	-0,39174
a	-0,54325	-0,71607
s	0,09048	-0,88376
% d'inertie	56%	26%

TABLE 2 – Coordonnées des indicateurs sur les axes factoriels 1 et 2

Afin de tenir compte des autres facteurs qui permettent de nuancer ces proximités, nous avons réalisé une projection dans le plan factoriel de l'analyse en composantes principales. Sur le graphique de la figure 4.2 qui résume 81,1% de l'inertie on visualise plus finement les disciplines. Comme on peut l'observer sur le tableau 2, le premier axe est corrélé positivement avec les indicateurs $\alpha; \delta; \overline{A}$ et $\overline{I}$ et il est corrélé négativement avec l'indice d'influence s. Ainsi, sur cet axe, les disciplines qui se situent sur la partie négative seraient celles qui contribuent beaucoup à des publications mais seulement avec peu de disciplines et cela contrairement à celles qui sont à droite de l'axe qui auraient moins de publications que les autres mais qui sont en lien avec beaucoup de disciplines. L'axe 1 s'apparenterait à un axe de diversité ou d'ouverture.

L'axe 2 est, quant à lui, corrélé négativement aux indices d'affluence et d'influence. Ainsi, les disciplines en bas de l'axe 2 ont beaucoup de publications par rapport à celles qui sont à l'autre bout de l'axe. L'axe deux pourrait alors être baptisé axe de productivité puisqu'il est met en avant surtout la production même si elle est faite avec un nombre très restreint de laboratoires. Globalement, les disciplines les plus ouvertes, c'est-à-dire celles qui produisent beaucoup de publications et avec beaucoup de disciplines se localiseraient dans le cadran inférieur droit. On y trouve par exemple "*Mutidisciplinary science ; Biotechnology ; Physics applied...*". Celles qui co-publient moins et avec peu de disciplines sont celles qui se trouvent dans le cadran supérieur gauche. On y trouve *Mathematics, Interdiscipplinary Applications, Geology ; Geography, Physical ; Computer science, Hardware and architecture,....*

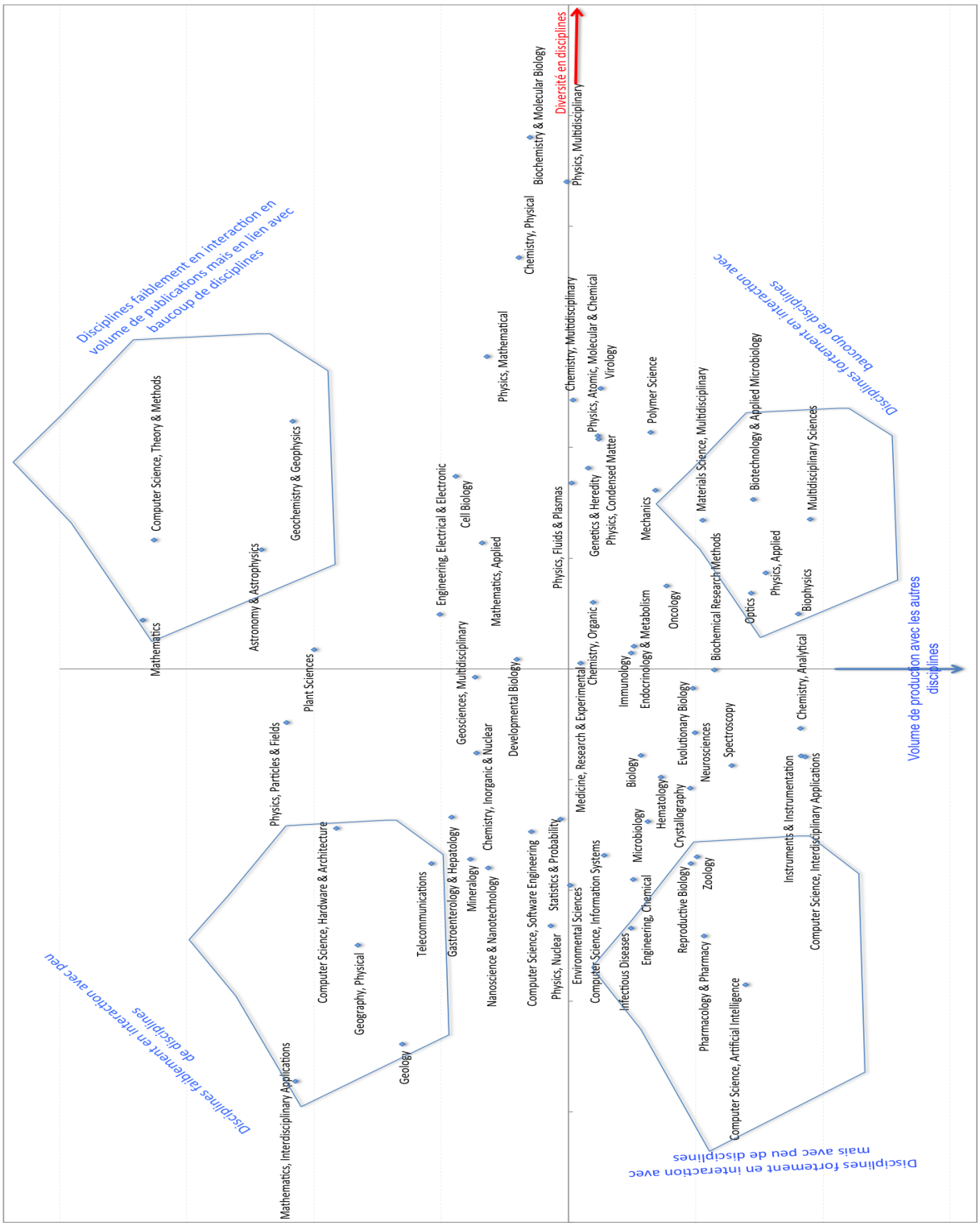


FIGURE 3 – Positionnement des disciplines dans le plan factoriel

Indicateur	Coef. Axe 1	Coef. Axe 2
δ	0,5064877	-0,1805667
$\overline{I}$	0,5022841	0,1747174
$\overline{A}$	0,4530149	0,0153355
α	0,4418281	-0,3151444
a	-0,2971481	-0,5760621
s	0,049491	-0,7109647

TABLE 3 – Coefficients des indicateurs sur les axes factoriels 1 et 2

Si l'on souhaite un coefficient d'interdisciplinarité unique, nous pourrions prendre les projections sur le premier axe factoriel de l'analyse en composantes principales. dont les coefficients sont données par le tableau 3

4.3 Filières d'échanges scientifiques

Nous allons ici faire appel à la notion de fermés minimaux introduits en prétopologie [Bel11, LB+08] [2]. Un ensemble de disciplines constitue un fermé minimale s'il ne reçoit aucune influence des autre disciplines. Il peut néanmoins influencer d'autres disciplines. Nous analysons la matrice d'échange entre disciplines pour détecter quelle discipline domine quelle autre. Nous avons retenu dans le présent exemple la définition suivante :

Définition 1 *Relation de dominance On dira que la discipline i domine la discipline j si le nombre d'article x_{ij}, contribution de i à j, dépasse l'inverse x_{ji} d'un seuil v.*

$$i \longmapsto j \Leftrightarrow x_{ij} - x_{ij} \geq v$$

Si on prend pour v une valeur égales à 20, on obtient le graphe de domination donné en figure 4

Sur ce graphique, nous mettons en évidence cinq fermés minimaux :

- Un groupe de trois disciplines { *Engineering, Electrical & Electronic ; Computer Science, Theory & Methods ; Mathematics Applied, Mathematics*} 4 cercles rouges représentent chacune des disciplines. Ce groupe est dominé par "*Computer Science, Theory & Methods*". Comme on le voit sur le graphique, toutes les trois autres disciplines prennent des ressources à cette discipline. On peut dès lors dire la discipline "*Computer Science, Theory & Methods*" influence les autres disciplines.
- De manière analogue à ce qui précède, la discipline "*Biotechnology & Applied Microbiology*" influence "*Gastroenterology & Hepatology*" ;

2. Nous tenons à remercier très vivement Vincent Levorato de nous avoir fourni sa librairie Pretopolib qui nous a permis de réaliser les représentation graphiques des fermés minimaux http ://pretopolib.complexica.net

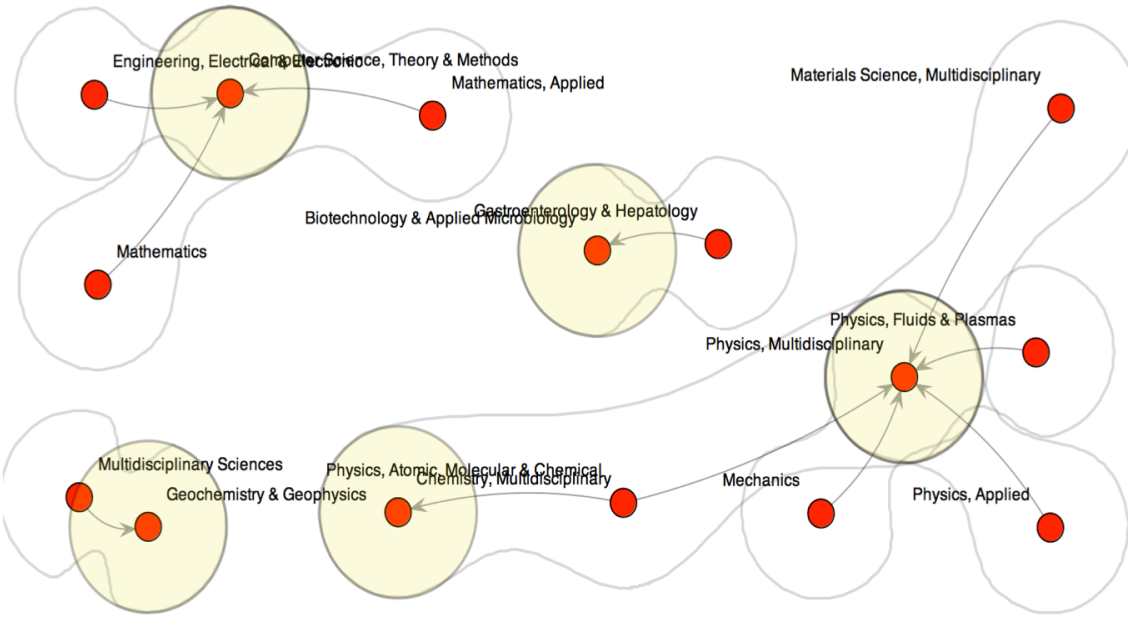


FIGURE 4 – Graphe de domination entre disciplines

- La discipline " *Geochemistry & Geophysics*" influence "*Multidisciplinary Sciences*"
- "*Chemistry, Multidisciplinary*" et "*Physics Multidisciplinary*" influencent "*Physics, Atomic Molecular &Chemical*"
- Outre "*Physics, Atomic Molecular &Chemical*", "*Physics Multidisciplinary*" influence quatre autres disciplines que sont {"*Mechanics ; Physics Applied, Physics, Fluids & Plasmaq ; Materials science, Mutidisciplinary*"}.

On isole ainsi les cinq disciplines scientifiques qui sont les plus structurantes car elles dominent d'autres disciplines, c'est-à-dire qu'elles contribuent aux autres disciplines sans avoir besoin des autres.

5 Interdisciplinarité en SHS

5.1 Présentation des données

Pour cette étude, nous avons pris en considération 4462 publications de chercheurs exerçant leur activité de recherche dans les universités du Pôle de Recherche et d'Enseignement Supérieur (PRES) de Lyon et Saint-Etienne. 26 disciplines relevant des Sciences Humaines et Sociales (SHS) ont été identifiées. Ces

publications sont issues de la plateforme DocNet [3] mise au point à l'ISH de Lyon.

5.2 Niveau d'intégration des disciplines SHS

Afin d'apprécier le niveau d'intégration des disciplines, nous avons calculé les mêmes coefficients que ceux utilisés plus haut pour les sciences et nous avons réalisé les mêmes analyses. Si l'on représente les disciplines dans le plan formé de l'indice d'affluence a_i et l'indice d'influence s_i, on obtient le graphique figure 5. On notera ainsi les disciplines des plus fermées, avec des valeurs faibles pour ces deux indicateurs et des disciplines plus ouvertes, c'est-à-dire s'appuyant sur d'autres discipline ou appuyant d'autres disciplines. Parmi les disciplines qui travaillent avec peu d'échange avec les autres disciplines, on peut trouver l'ensemble {"*Religion, Classical studies et Musicology*"}. A l'opposé, les disciplines qui fonctionnent avec une grande capillarité avec les autres disciplines, on y trouve {"*History, philosophy & sociology of sciences ; Environment studies ; Social anthropology & ethnology*"}. On peut également s'intéresser aux disciplines qui reçoivent des autres disciplines mais qui n'influencent pas ou peu d'autres. Par exemple la "*Demography*" semble être une discipline qui s'appuie sur d'autres disciplines plutôt qu'une discipline d'appui pour les autres. A l'inverse, les disciplinent {"*Art and art history ; Statistics and methods ; Cultural heritage and museology*"} semblent en prendre peu des autres en revanche elles leur apportent.

3. http ://docnet.ish-lyon.cnrs.fr

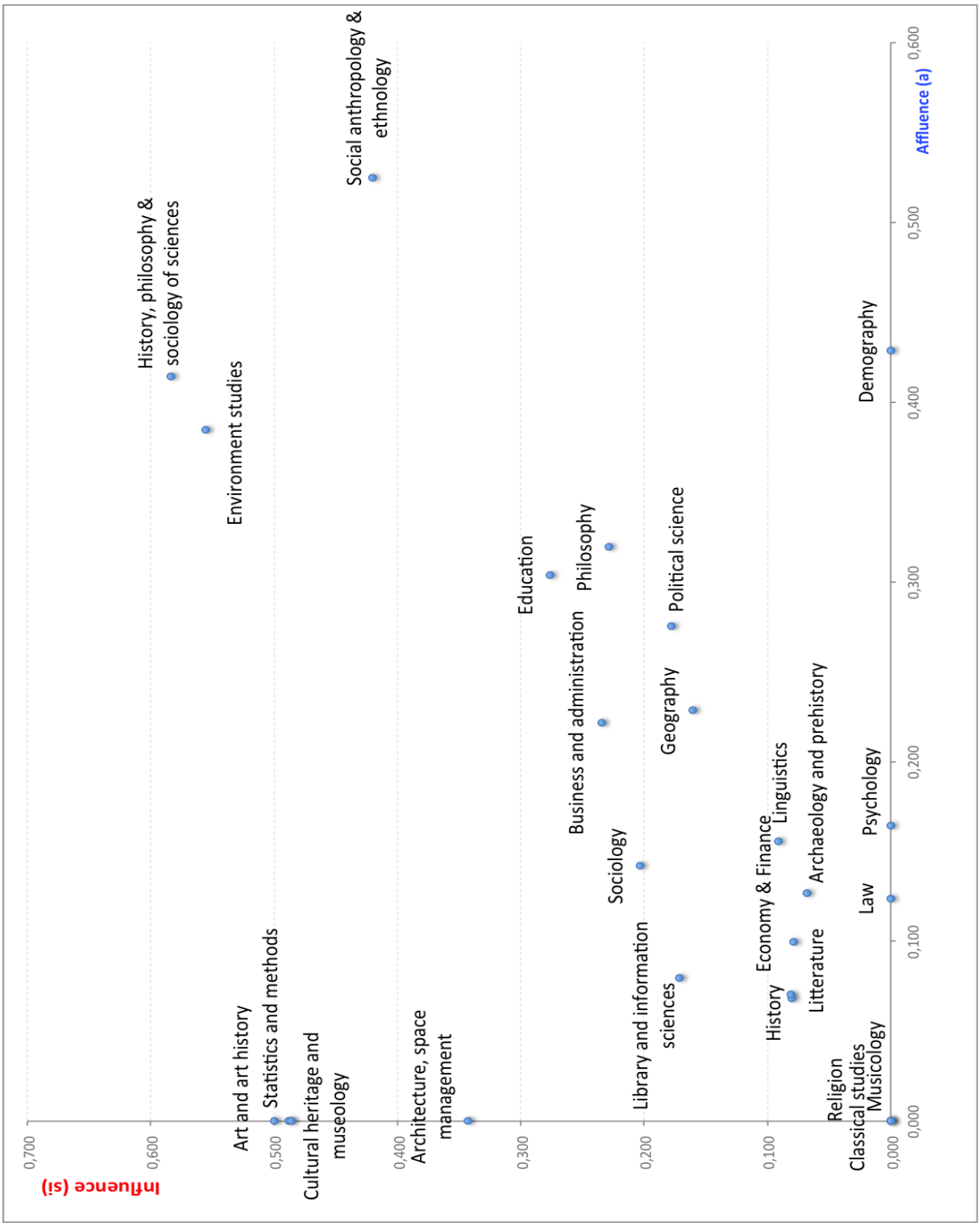


FIGURE 5 – Degré d'intégration des disciplines

Indicateur	Axe 1	Axe 2
α	0,93632	-0,20175
δ	0,86358	0,04795
$\bar{I}$	0,85398	0,13125
$\overline{(A)}$	0,82976	-0,3133
s	0,14953	0,97093
a	0,45886	0,3273
% d'inertie	55%	20%

TABLE 4 – Coordonnées des indicateurs sur les axes factoriels 1 et 2

Indicateur	Coef. Axe 1	Coef. Axe 2
α	0,5175346	-0,1835418
δ	0,4773295	0,0436274
a	0,2536291	0,2977681
s	0,0826516	0,8833134
$\bar{I}$	0,4586377	-0,2850325
$\overline{A}$	0,4720243	0,1194035

TABLE 5 – Coefficients des indicateurs sur les axes factoriels 1 et 2

Le calcul des quatre autres paramètres associés à la notion d'intégration $\alpha, \delta\bar{I}, \overline{A}$ permet de nuancer les proximités entre disciplines. Comme pour les sciences, nous avons réalisé une analyse en composantes principales sur les six paramètres. La figure 5 donne la projection des disciplines dans le premier plan factoriel. Le tableau 4 donne les éléments d'interprétation des deux premiers axes.

Comme pour les sciences, l'axe 1 traduit une notion de diversité alors que l'axe 2 traduit l'influence. L'affluence est peu représentée même si elle est, d'une certaine façon, prise en compte dans les premiers facteurs. La projection des individus dans le plan dont les coefficients directeurs de chaque droite sont donnés par le tableau 5

Sur la figure 6 nous avons représenté les disciplines et repéré les profils significatifs. Par exemples les 4 groupes de disciplines selon leur contributions aux autres disciplines.

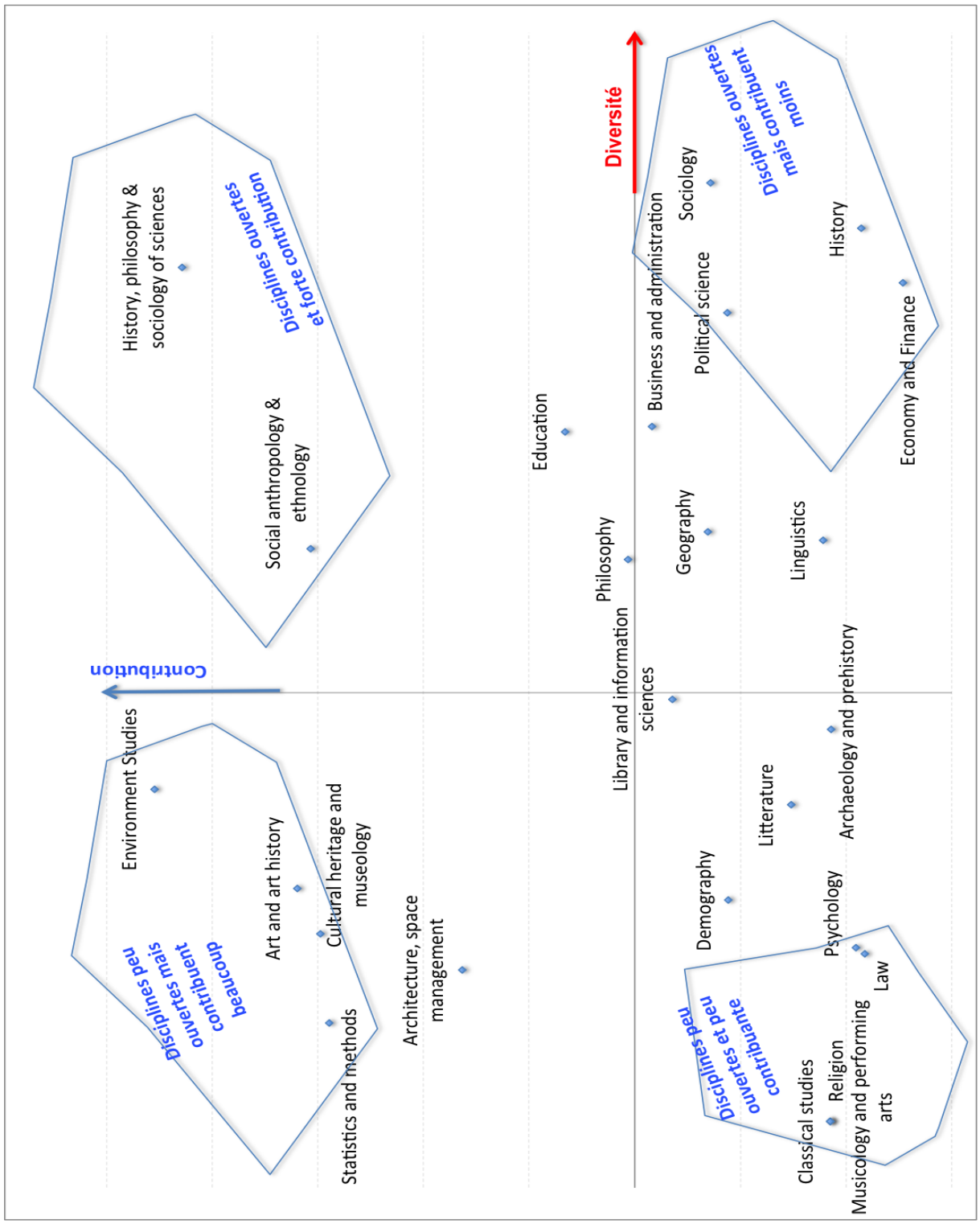


FIGURE 6 – Degré d'intégration des disciplines

5.3 Filières d'échanges interdisciplinaires

L'analyse des influences entre les disciplines nous permet de mettre en évidence les disciplines structurantes. Ainsi, sur la figure 7 on remarque le rôle structurant de la "*Sociology*". En effet, trois disciplines lui font appel "*Geograph*", "*Psychology*" et "*Education*". Mais la "*Sociology*", selon le paramètre d'influence fixé $t \geq 10$, n'est dominée par aucune autre discipline.

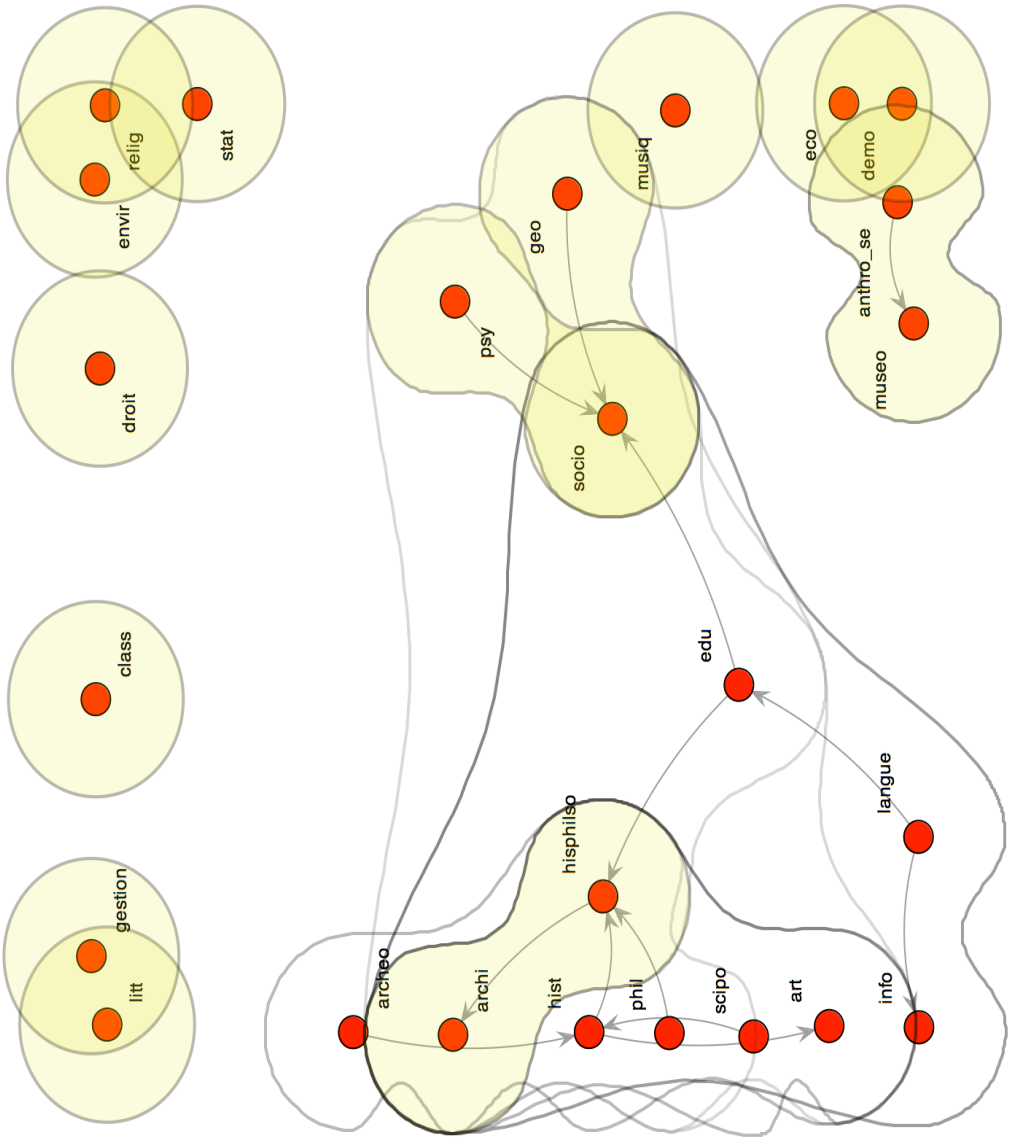


FIGURE 7 – Degré d'intégration des disciplines

Annexe A

Notions élémentaires de prétopologie

Définition 2 *adhérence et intérieur. Soit E un ensemble non vide. Soit $a(.)$ une application de l'ensemble des parties de E, $\mathscr{P}(E)$ dans lui même qui vérifie :*

- $a(\emptyset) = \emptyset$
- $\forall A \in \mathscr{P}(E), A \subseteq a(A)$

$a(.)$ définit une structure prétopologique sur E. Le couple (E,a) est appelé espace prétopologique et $a(A)$ l'adhérence de la partie de A.
On note A^c le compluémentaire de A dans E. Ainsi, nous pouvons construire l'application duale $i(.)$ dite intérieur de la partie de A comme suit :

$$\forall A \in \mathscr{P}(E); i(A) = (a(A^c)^c)$$

Et on a $i(E) = E$ et le couple (a,i) s'appelle structure prétopologique sur E.
Définition 3 *fermés et ouverts. Soit $s(a,i)$ une structure prétopologique définie sur E et $A \subseteq E$. On dit que :*

- *A est fermé* $\Leftrightarrow a(A) = A$ *;*
- *A est ouvert* $\Leftrightarrow i(A) = A$ *;*
- $F(A)$ *est la fermeture de* $A \Leftrightarrow F(A)$ *est le plus petit fermé contenant A ;*
- $O(A)$ *est l'ouverture de* $A \Leftrightarrow O(A)$ *est le plus grand ouvert contenant A.*

Définition 4 *Famille de voisinage. Soit E un ensemble non vide. A tout élément $x \in E$ on associe une famille de partie de E appelée famille de voisinage de x , noté $v(x)$ telle que :*

$$v(x) = \{V \subseteq E, x \in i(V)\}$$

Définition 5 *Espace de type $\mathscr{V}$. Soit E un ensemble non vide. Cet espace est dit de type $\mathscr{V}$ si et seulement si :*

$$\forall A \in \mathscr{P}(E), \forall B \in \mathscr{P}(E), A \subseteq B \Rightarrow a(A) \subseteq a(B)$$

$$\Leftrightarrow \forall A \in \mathscr{P}(E), \forall B \in \mathscr{P}(E), A \subseteq B \Rightarrow i(A) \subseteq i(B)$$

Définition 6 *Espace de type $\mathscr{V}_{\mathscr{D}}$. Soit E un ensemble non vide. Cet espace est dit de type $\mathscr{V}_{\mathscr{D}}$ si et seulement si :*

$$\forall A \in \mathscr{P}(E), \forall B \in \mathscr{P}(E), a(A \cup B) = a(A) \cup a(B)$$

$$\Leftrightarrow \forall A \in \mathscr{P}(E), \forall B \in \mathscr{P}(E), i(A \cap B) = i(A) \cap i(B)$$

Définition 7 *Espace de type $\mathscr{V}_{\mathscr{S}}$. Soit (E,a,i) un espace prétopologique. Il est dit de type $\mathscr{V}_{\mathscr{S}}$ si et seulement si :*

$$\forall A \in \mathscr{P}(E), a(A) = \bigcup_{x \in A} a(\{x\})$$

Propriété 1 *Toute structure prétopologique de type $\mathscr{V}_{\mathscr{S}}$ est de type $\mathscr{V}_{\mathscr{D}}$ et par conséquent de type $\mathscr{V}$*

Soit E l'ensemble des disciplines concernées. Soit $\mathscr{R}$ la relation binaire réflexive et non symétrique sur ExE. On note $\mathscr{R}(x) = \{y \in E, x\mathscr{R}y\}$ et $\mathscr{R}^{-1}(x) = \{y \in E, y\mathscr{R}x\}$. A partir de $\mathscr{R}$, il est possible de définir l'adhérence par :

$$\forall A \in \mathscr{P}(E), a(A) = \{x \in E, \mathscr{R}(x) \cap A \neq \emptyset\}$$

$$\forall A \in \mathscr{P}(E), a(A) = \{x \in E, \mathscr{R}^{-1}(x) \cap A \neq \emptyset\}$$

Par la suite, nous allons utiliser les coefficients introduits plus haut pour valuer la relation entre les disciplines, d'où la définition de l'adhérence suivante :

$$\forall A \in \mathscr{P}(E), a(A) = \{y \in E - A, \sum_{x \in A} L(x,y) \geq \varepsilon\} \cup A$$

où L est un mesure d'évaluation prise parmi les coefficients introduits précédemment et ε un seuil, réel positif. Soit $\mathscr{F}(A,a)$ la famille des fermés de (E,a) :

$$\mathscr{F}(A,a) = \{F \subset E, a(F) = F\}$$

On note $\mathscr{F}(A,a)^* = \mathscr{F}(A,a) - \{\emptyset\}$

Définition 8 *Fermeture élémentaire. C'est la fermeture d'un singleton $\{x\}$ de E notée F_x.*

L'ensemble des fermés élémentaires, noté $\mathscr{F}_e(A,a)$ est défini comme suit :

$$\mathscr{F}_e(A,a) = \{\mathscr{F}_x, x \in E\} \subset \mathscr{F}_e(A,a)^*$$

Définition 9 *Fermé minimal. Un fermé minimal de (E,a) est un élément de $\mathscr{F}_e(A,a)^*$ minimal vis-à-vis de l'inclusion dans $\mathscr{F}_e(A,a)^*$.*

Bibliographie

[Abb01] Andrew Abbott. *Chaos of disciplines*. University of Chicago Press, 2001.

[Bel11] ZT Belmandt. *Basics of pretopology*. Hermann, 2011.

[BLM+11] Marcel Brissaud, Michel Lamure, Jean-Jacques Milan, Jean-Paul Auray, Nicolas Nicoloyannis, Gérard Duru, Michel Terrenoire, Daniel Tounissoux, Djamel Abdelkader Zighed, Stéphane Bonnevay, et al. Basics of pretopology. 2011.

[LB+08] Vincent Levorato, Marc Bui, et al. Data structures and algorithms for pretopology : the java based software library pretopolib. In *Proceedings of the 8th International Conference on Innovative Internet Community Systems*, pages 122–134, 2008.

[LR12] Loet Leydesdorff and Ismael Rafols. Interactive overlays : A new method for generating global journal maps from web-of-science data. *Journal of Informetrics*, 6(2) :318–332, 2012.

[LRC13] Loet Leydesdorff, Ismael Rafols, and Chaomei Chen. Interactive overlays of journals and the measurement of interdisciplinarity on the basis of aggregated journal-journal citations. *arXiv preprint arXiv :1301.1013*, 2013.

[SW00] Nico Stehr and Peter Weingart. *Practising interdisciplinarity*. University of Toronto Press, 2000.

[WRB+11] Caroline S Wagner, J David Roessner, Kamau Bobb, Julie Thompson Klein, Kevin W Boyack, Joann Keyton, Ismael Rafols, and Katy Börner. Approaches to understanding and measuring interdisciplinary scientific research (idr) : A review of the literature. *Journal of Informetrics*, 5(1) :14–26, 2011.