



**HAL**  
open science

## Dynamique des modèles d'affaires et écosystème : le cas des synchrotrons

Arman Avadikyan, Gilles Lambert, Laurent Bach, Sandrine Wolff, Christophe Lerch

► **To cite this version:**

Arman Avadikyan, Gilles Lambert, Laurent Bach, Sandrine Wolff, Christophe Lerch. Dynamique des modèles d'affaires et écosystème : le cas des synchrotrons. *Revue d'économie industrielle*, 2014, Écosystèmes et modèles d'affaires, 146, pp.153-186. 10.4000/rei.5822 . hal-03949905

**HAL Id: hal-03949905**

**<https://hal.science/hal-03949905>**

Submitted on 29 Mar 2023

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

## Dynamique des modèles d'affaires et écosystème : le cas des synchrotrons

Arman Avadikyan, Laurent Bach, Gilles Lambert, Christophe Lerch et  
Sandrine Wolff

---



### Édition électronique

URL : <https://journals.openedition.org/rei/5822>

DOI : 10.4000/rei.5822

ISSN : 1773-0198

### Éditeur

De Boeck Supérieur

### Édition imprimée

Date de publication : 15 mai 2014

Pagination : 153-186

ISBN : 9782804189754

ISSN : 0154-3229


### Référence électronique

Arman Avadikyan, Laurent Bach, Gilles Lambert, Christophe Lerch et Sandrine Wolff, « Dynamique des modèles d'affaires et écosystème : le cas des synchrotrons », *Revue d'économie industrielle* [En ligne], 146 | 2e trimestre 2014, mis en ligne le 15 mai 2016, consulté le 03 juin 2022. URL : <http://journals.openedition.org/rei/5822> ; DOI : <https://doi.org/10.4000/rei.5822>

---

# DYNAMIQUE DES MODÈLES D’AFFAIRES ET ÉCOSYSTÈME : LE CAS DES SYNCHROTRONS\*

Arman Avadikyan, Laurent Bach, Gilles Lambert,  
Christophe Lerch et Sandrine Wolff  
BETA (Bureau d’Économie Théorique et Appliquée)  
UMR 7522 - Université de Strasbourg et CNRS

 **Mots clés :** Modèle d’affaires, écosystèmes, infrastructures de recherche, communautés scientifiques, coopération, synchrotron

 **Keywords:** Business Model, Ecosystems, Public Research Institutes, Scientific Communities, Coopetition, Synchrotron

## 1. INTRODUCTION

Cet article a pour objectif d’analyser les mécanismes selon lesquels une Très Grande Infrastructure de Recherche (TGIR), co-construit l’écosystème dans lequel elle s’insère et l’utilise pour soutenir et nourrir sa dynamique d’innovation. Notre analyse se fonde sur l’étude du centre de rayonnement synchrotron SOLEIL, localisé sur le pôle scientifique du Plateau de Saclay et opérationnel depuis 2008. En tant que TGIR au service de nombreux chercheurs, les synchrotrons constituent une instrumentation à

---

\* Remerciements : Cet article est issu d’un projet de recherche financé par le 7<sup>e</sup> Programme Cadre de l’Union européenne (FP7/2007-2013) dans le cadre de l’accord de subvention n° 26228r. Nous remercions également les membres du synchrotron Soleil pour leur collaboration et les nombreuses interviews accordées.

forte intensité capitalistique, complexe et sophistiquée, mais également à obsolescence rapide, auto-entretenu par l'innovation et la créativité perpétuelle qui caractérisent les activités des communautés de scientifiques et d'ingénieurs dédiés à leur opération et développement.

De nombreux travaux en économie, gestion et sociologie de la science et de l'innovation ont souligné le rôle des TGIR en tant que plates-formes technologiques où des équipes issues d'organisations et/ou de disciplines différentes se rencontrent, s'associent et se renouvellent, permettant ainsi de créer les conditions propices à la fertilisation croisée et l'hybridation des techniques, des projets et des disciplines. Dans un article influent, Callon (1994) a justifié le caractère de bien public de la science par sa capacité à créer de la variété et de la flexibilité à travers sa dynamique d'innovation ouverte en réseau. Shinn (2005) a également caractérisé les technologies de recherche comme étant définies par leur nature générique et leur positionnement interstitiel. L'auteur souligne cependant que ces caractéristiques dérivent fondamentalement de la capacité des acteurs à combiner de manière dynamique des processus de différenciation et d'intégration. Dans le même ordre d'idées, les capacités d'évolution des plates-formes technologiques en tant qu'instruments partagés de recherche et d'innovation ont été liées à la nature de leurs modèles d'organisation et de gouvernance (Peerbaye et Mangematin, 2004 ; Aggeri *et al.*, 2007 ; Genet *et al.* 2007). Selon une perspective complémentaire, les plates-formes technologiques ont aussi été analysées comme permettant de renforcer les bénéfices de l'extension du nombre et de la variété des utilisateurs et des actifs complémentaires, en associant sur un mode ouvert et collaboratif différents partenaires au sein d'écosystèmes (Gawer et Henderson, 2007).

Notre analyse se distingue néanmoins des précédentes dans la mesure où nous proposons un cadre explicatif dans lequel la population des synchrotrons constitue un type d'écosystème spécifique.

Plus précisément, nous avons d'abord tenté de circonscrire le modèle d'affaires d'un synchrotron. Puis, nous avons focalisé notre attention sur l'identification des mécanismes qui assurent la dynamique de développement des synchrotrons liée à l'accumulation de connaissances, et comment ces derniers tentent de maintenir et d'accroître leur attractivité en

résolvant un certain nombre de tensions se situant à différents niveaux organisationnels et technologiques. Un niveau essentiel est précisément celui auquel se jouent les relations au sein de l'écosystème de synchrotrons. Nous nous concentrons ici plus précisément sur ces mécanismes en privilégiant l'analyse du rôle central joué par les formes d'organisations de type communautés, plutôt que sur les composantes organisationnelles plus classiques (service et départements internes, entreprises, organismes publics...).

Nous présentons dans un premier temps le système étudié centré sur le synchrotron, ainsi que notre méthodologie et notre cadre théorique d'analyse. Nous argumentons notamment l'hypothèse selon laquelle on peut considérer son modèle d'affaires particulier orienté vers la mise à disposition d'instrument unique au service de la recherche. La deuxième partie détaille les mécanismes d'évolution de ce modèle d'affaires en insistant sur sa logique d'organisation et de développement interne. Nous montrons que les mécanismes de création de valeur qui le fondent peuvent être appréhendés par la résolution continue d'un certain nombre de tensions assurant la flexibilité interne du synchrotron. L'étude de ce modèle d'affaires nécessite cependant aussi de prendre en compte le positionnement du synchrotron dans son écosystème pour nous permettre de mieux comprendre sa capacité d'innovation et son évolution. Pour ce faire, dans la troisième partie nous décrivons les logiques d'interaction au sein de la communauté plus large de la population des synchrotrons, logiques axées sur des mécanismes de compétition et de collaboration. Elles montrent le rôle fondamental que joue l'écosystème dans le maintien de la capacité des synchrotrons à créer de manière individuelle et collective de la variété et de la flexibilité. Nous concluons par la proposition de pistes de réflexion sur l'apport potentiel du type d'analyse menée ici pour l'enrichissement du concept d'écosystème.

## 2. CADRE EMPIRIQUE ET CONCEPTUEL

Avant de présenter le cadre conceptuel, il convient d'introduire brièvement l'étude de cas au cœur de ce travail, en décrivant la mission et l'organisation du synchrotron SOLEIL ainsi que l'approche méthodologique que nous avons utilisée.

## 2.1. Cadre empirique : étude de cas SOLEIL

### 2.1.1. Le synchrotron SOLEIL : rôle, fonctionnement et organisation

Inauguré en 2006 et ouvert à des utilisateurs extérieurs depuis 2008, le synchrotron SOLEIL est un institut de recherche au service de ses utilisateurs, principalement des chercheurs académiques. Un synchrotron est un accélérateur de particules produisant une lumière extrêmement puissante, permettant de sonder, de mener des expériences scientifiques et d'analyser la structure de la matière aux échelles micro et nanoscopiques. L'utilisation du rayonnement synchrotron a émergé à partir du milieu du siècle dernier comme une activité « parasite » pratiquée par un petit nombre de scientifiques (physiciens et chimistes dans un premier temps) au sein d'accélérateurs et laboratoires dédiés à la physique des hautes énergies, pour progressivement s'émanciper et donner lieu à des infrastructures dédiées, optimisées pour le rayonnement synchrotron, et de plus en plus multidisciplinaires. SOLEIL répond ainsi aux besoins de communautés scientifiques de plus en plus variées, allant de la physique, la chimie et la science des matériaux aux sciences de la vie en passant par les sciences de la Terre et de l'environnement, l'archéologie et l'étude des matériaux anciens.

Un synchrotron se compose fondamentalement de deux parties : le système accélérateur (ou machine) et les lignes de lumières. Le système accélérateur a pour principale fonction de produire le rayonnement synchrotron. Il est généralement composé d'un certain nombre d'accélérateurs d'électrons et d'un anneau de stockage. Dans l'anneau de stockage, des dispositifs magnétiques tels que les aimants de courbure et les éléments d'insertion (par ex. onduleurs) font dévier la trajectoire du faisceau d'électrons ou les font osciller. L'énergie perdue par ces derniers sous forme de lumière constitue le rayonnement synchrotron. Le domaine d'énergie du rayonnement peut aller de l'infrarouge jusqu'aux rayons X durs. Des systèmes optiques conditionnent, sélectionnent et dirigent le rayonnement vers les lignes de lumière. Suivant la circonférence de l'anneau de stockage, le nombre de lignes installées peut aller d'une dizaine jusqu'à une cinquantaine. Avec un périmètre de 354 mètres, l'anneau de SOLEIL alimente 24 lignes en 2013, nombre qui sera porté à 26 en 2014 et 29 en 2015.

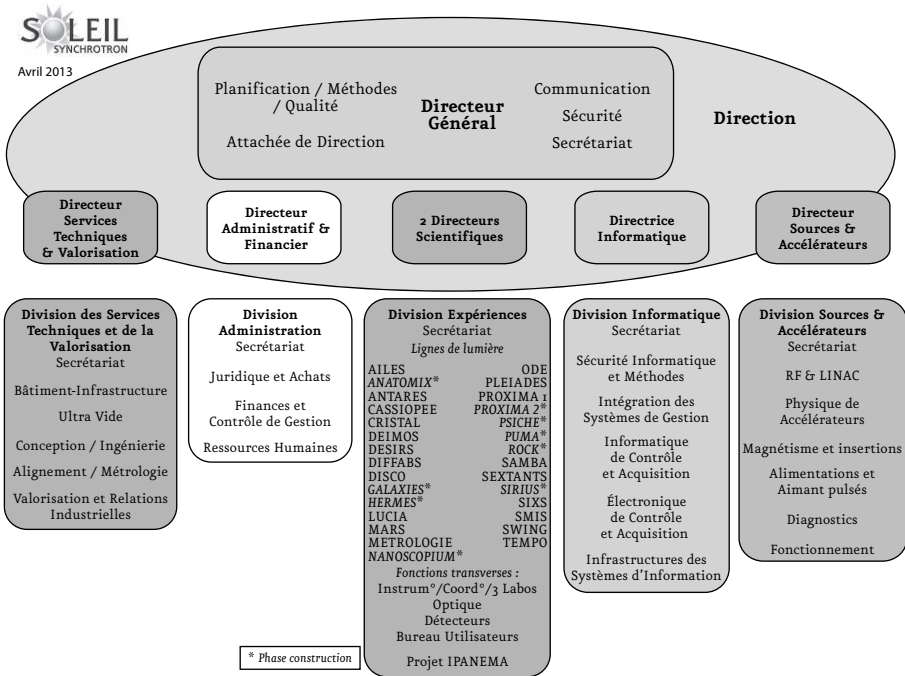
Les lignes de lumières quant à elles constituent de véritables laboratoires instrumentés pour préparer et analyser les échantillons et traiter les informations recueillies. Elles sont chacune dédiées à un domaine d'énergie particulier et peuvent mobiliser plusieurs techniques expérimentales. Elles sont en contact quotidien avec les utilisateurs. Une ligne est composée généralement d'une cabine optique, d'une cabine d'expérience et d'une station de travail à partir de laquelle les chercheurs contrôlent les expériences et recueillent les données. La cabine optique reçoit le rayonnement issu de l'anneau et sélectionne grâce à un monochromateur le rayonnement utile en fonction de l'expérience. Dans la cabine expérimentale (environnement échantillon et détecteur), le rayonnement est dirigé sur l'échantillon afin de provoquer des « réactions » du matériau étudié. L'analyse des expériences peut prendre des mois compte tenu de la masse très importante d'informations recueillies.

L'accès à une ligne de lumière passe par un processus de sélection basé sur la qualité et la pertinence des projets de recherche soumis par des utilisateurs externes et évalués par des comités de programmes thématiques. Une fois les projets acceptés, les utilisateurs sont accueillis et accompagnés par les scientifiques et ingénieurs des lignes pour réaliser leurs expériences. Le synchrotron accueille chaque année en moyenne 3 500 utilisateurs, en grande majorité académiques, sur l'ensemble de ses lignes (SOLEIL, 2012). Ce mode d'accès représente *de facto* une subvention à la recherche académique et est soumis à une obligation de publication des résultats. On peut noter qu'il existe un mode d'accès alternatif, très minoritaire, mais payant, qui est destiné à des utilisateurs soucieux de préserver la confidentialité de leurs recherches, le plus souvent des industriels.

Historiquement, SOLEIL succède au LURE qui a fermé en 2003 – l'acronyme SOLEIL signifie d'ailleurs Source Optimisée de Lumière d'Énergie Intermédiaire du LURE. SOLEIL bénéficie du statut relativement autonome de Société Civile de Recherche, sur le modèle de l'ESRF. Ses principaux actionnaires sont le CNRS et le CEA, à hauteur respectivement de 72 % et 28 % des parts. Il emploie un peu plus de 350 permanents dont 80 % ont une vocation scientifique et technique et sont majoritairement recrutés en CDI (non fonctionnaires). La structure organisationnelle de la Société SOLEIL reflète bien le caractère central des principaux sous-systèmes que

sont la machine et les lignes. Parmi les cinq divisions fonctionnelles chapeautées par la Direction générale, l'organigramme (figure 1) fait apparaître, à côté des classiques DAF et Direction informatique, une division Sources et Accélérateurs, d'une part, et une Division Expériences, d'autre part, laquelle inclut les lignes de lumières. La Division Services techniques & Valorisation montre l'importance accordée aux activités de conception, le rattachement direct des services Qualité et Sécurité à la DG traduit celle accordée à la performance et au niveau de fiabilité attendu des prestations du synchrotron.

**Figure 1. Organigramme Synchrotron SOLEIL**



Source : SOLEIL : site web consulté le 25 novembre 2013, <http://www.synchrotron-soleil.fr/Soleil>

### 2.1.2. Éléments de méthodologie

L'essentiel des faits sous-tendant ce travail provient d'une étude de cas très approfondie, conduite dans le cadre du projet de recherche EvaRIO (*Evaluation of Research Infrastructures in Open innovation and research systems*),



mené par le BETA et soutenu par le sous-programme Infrastructures du 7<sup>e</sup> Programme Cadre de l'Union européenne. Plus précisément, nous avons combiné des informations issues de différentes sources parmi lesquelles figurent au premier plan le site web du synchrotron et les *Highlights* de SOLEIL 2010-2012, avec une collecte intensive et plus ciblée réalisée à travers 25 interviews semi-directifs d'une durée moyenne de deux heures, auprès de différents types d'acteurs : 8 auprès de membres de la Direction du synchrotron, 6 auprès de responsables de lignes de lumière, 2 auprès de fournisseurs d'instrumentation et 9 auprès d'utilisateurs de SOLEIL, parmi lesquels 2 entreprises industrielles dans le domaine de la santé. Il est à noter que chaque entretien a été conduit par au moins deux membres de notre équipe, et que tous ont été enregistrés et entièrement transcrits sous forme de verbatim. Au total, l'information collectée représente 46 heures d'enregistrement et 268 442 mots.

Elle porte principalement sur les thèmes suivants :

- l'histoire de SOLEIL,
- sa mission et son fonctionnement,
- le développement de ses capacités, notamment l'évolution technologique et la flexibilité de la TGIR,
- les modalités d'accès pour les utilisateurs et les conditions d'expérimentation,
- les interactions et collaborations de SOLEIL avec différentes communautés ou organisations utilisatrices,
- les relations avec l'industrie,
- l'impact de la TGIR auprès des utilisateurs et des fournisseurs (publications, brevets, retombées économiques, gains d'expérience, réputation, méthodes, capacité relationnelle, etc.).

Les caractéristiques des différents entretiens sont listées dans le tableau 1 :

**Tableau 1.** Liste et descriptif des 25 entretiens réalisés

| Verbatim | Type d'acteur           | Interlocuteur et thème d'entretien            | Durée | nb mots |
|----------|-------------------------|---|-------|---------|
| N°1      | Direction Soleil        | Présentation générale                         | 3h00  | 15 978  |
| N°6      | Direction Soleil        | Présentation générale                         | 1h00  | 4 836   |
| N°7      | Direction Soleil        | Valorisation et transferts                    | 3h00  | 21 254  |
| N°14     | Direction Soleil        | Valorisation et transferts                    | 3h00  | 6 778   |
| N°9      | Direction Soleil        | Ressources Humaines                           | 1h00  | 13 323  |
| N°10     | Direction Soleil        | Impact Régional                               | 1h00  | 3 609   |
| N°11     | Direction Soleil        | Programmes européens                          | 1h00  | 4 914   |
| N°12     | Direction Soleil        | Evolution technologique et flexibilité        | 2h30  | 10 097  |
| N°2      | Responsable de ligne    | Expériences sur ligne de cristallographie     | 1h00  | 7 932   |
| N°3      | Responsable de ligne    | Ligne de nano-spectroscopie en construction   | 1h00  | 2 064   |
| N°5      | Responsable de ligne    | Ligne de nano-tomographie en construction     | 1h00  | 5 245   |
| N°4      | Responsable de ligne    | Expériences sur ligne infra-rouge             | 1h00  | 9 594   |
| N°13     | Responsables de ligne   | Communautés d'utilisateurs sciences de la vie | 3h00  | 13 450  |
| N°8      | Responsable Labo Soleil | Expériences sur matériaux anciens             | 1h00  | 12 177  |
| N°15     | Utilisateur académique  | Labo. français, expériences cristallographie  | 2h00  | 11 988  |
| N°16     | Utilisateur académique  | Labo. portugais, expériences cristallographie | 2h00  | 11 887  |
| N°17     | Utilisateur académique  | Labo. français, expériences sur ligne Infra-R | 3h00  | 19 695  |
| N°18     | Utilisateur académique  | Labo. anglais, expériences sur ligne Infra-R  | 2h00  | 16 614  |
| N°19     | Utilisateur industriel  | PME européenne, biotech                       | 2h00  | 11 192  |
| N°20     | Utilisateur académique  | Organisme de recherche, sciences de la vie    | 2h00  | 14 859  |
| N°21     | Utilisateur académique  | Labo. allemand, expériences cristallographie  | 2h00  | 11 173  |
| N°22     | Utilisateur académique  | Labo. allemand, expériences sur ligne Infra-R | 2h00  | 10 626  |
| N°25     | Utilisateur industriel  | Grande société pharmaceutique européenne      | 1h45  | 11 644  |
| N°23     | Fournisseur             | Entreprise d'instrumentation                  | 2h00  | 7 129   |
| N°24     | Fournisseur             | Entreprise d'instrumentation                  | 2h00  | 10 383  |

## 2.2. Cadre conceptuel : le synchrotron, un modèle d'affaires dépendant d'un écosystème ?

L'entreprise, au sens classique où on l'entend, livre un produit (ou une prestation) porteur de valeur en échange d'une rémunération monétaire.

*“a business model is a model of doing business by which a company can sustain itself –that is, generate revenues. [...] The essence of the idea is “how you make money” with a taxonomy of alternatives mechanisms”.* (Chesbrough et Rosenbloom, 2002, p. 533)

*“the essence of a business model is defining the manner by which the enterprise delivers value to customers, entices customers to pay for value, and converts those payments to profit.”* (Teece, 2010, p. 172)

Dans le cas du synchrotron, il s'agit essentiellement d'un modèle académique (accès fondé sur une concurrence entre projets, évalués sur une base scientifique, publications, gratuité et prise en charge des frais de déplacement et de l'hébergement pour les utilisateurs venant de loin). L'utilisation du synchrotron par les industriels fondée sur une prestation commerciale avec un service payant reste encore une activité marginale. Il s'agit souvent de petits projets avec généralement des expériences standardisées<sup>1</sup>.

Ce que cherche l'utilisateur scientifique c'est une prestation de qualité lui permettant de réaliser une ou plusieurs expérimentations pouvant aboutir à des publications. Les utilisateurs scientifiques, ainsi que les opérateurs du synchrotron ont en fait un objectif similaire : réaliser des expériences novatrices pouvant aboutir à des publications de qualité. C'est pourquoi les utilisateurs cherchent à obtenir l'accès aux synchrotrons qui présentent les caractéristiques les plus à même de leur permettre de réaliser des expériences menant à des publications importantes. De même, les utilisateurs sont sélectionnés, non pas en fonction du prix qu'ils sont prêts à payer pour la prestation, mais en fonction de la qualité de leurs projets et de leur potentiel de publication.

Par conséquent, pour adapter la définition du modèle d'affaires au synchrotron il faudrait substituer les termes de « money » ou « valeur » par « science » et celui de « profit » par « publications ». En effet, si le synchrotron fournit une prestation de service permettant au scientifique de réaliser une expérimentation, les responsables de SOLEIL n'hésitent pas à affirmer que l'action de leur TGIR peut aller jusqu'à l'accompagnement de la publication.

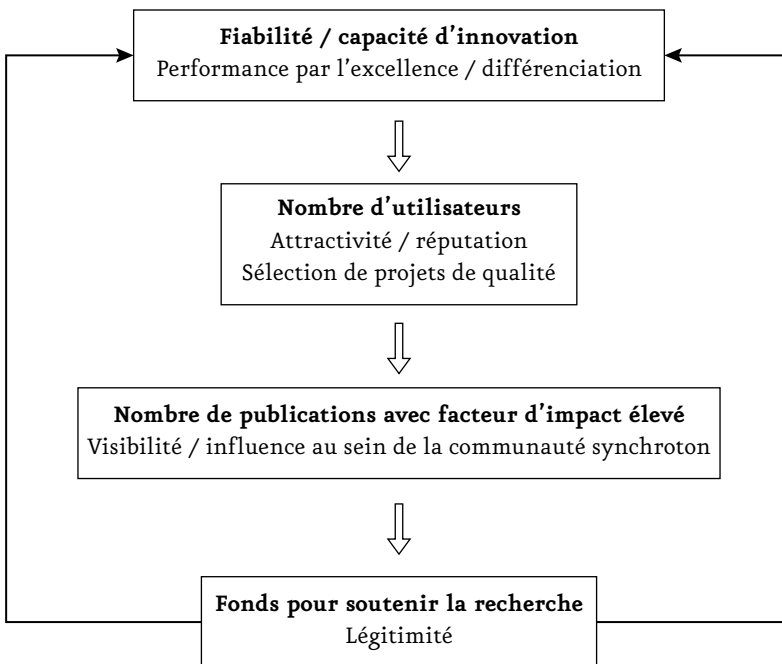
Si on prend en compte la définition plus générique du concept de modèle d'affaires telle qu'elle est donnée par Osterwalder, Pigneur et Tucci (2005) :

<sup>1</sup> Dans le cas de Soleil les projets industriels représentaient en 2013 environ 11 % du total des projets (7 % en 2011). En termes de sessions synchrotrons cette part n'était que de 1,5 % du total (Interview Soleil).

*“A business model is a conceptual tool containing a set of objects, concepts and their relationships with the objective to express the business logic of a specific firm. Therefore we must consider which concepts and relationships allow a simplified description and representation of what value is provided to costumers, how this is done and with which financial consequences.”*

Alors on peut schématiser le processus de création de valeur d'un synchrotron de la manière suivante :

**Figure 2.** Création de valeur par les synchrotrons



Plus fondamentalement, afin de créer cette proposition de valeur, l'équation à résoudre par le synchrotron impliquerait le développement d'une capacité à réaliser de manière toujours plus performante des prestations à la fois singulières et diversifiées, tout en maîtrisant l'incertitude qui découle de ce mode de fonctionnement. De par le rôle et la position spécifique d'une TGIR, l'incertitude dont il est question ici est à distinguer de celle caractérisant l'activité d'un chercheur ou d'un laboratoire, étant donné l'hétérogénéité des expériences et la variété des acteurs qui impactent le fonctionnement et l'évolution de la TGIR.

## Singularité + Performance + Diversité → Incertitude radicale

En premier lieu, la prise en compte de la singularité des besoins de l'utilisateur lors de ses expérimentations est une condition nécessaire pour aboutir à une publication de qualité. Cette prise en compte se traduit souvent par un accompagnement de l'utilisateur lors de la mise en œuvre de l'expérience, voir même jusque dans le processus de publication. Dans un certain nombre de cas, il peut être nécessaire d'élaborer des protocoles ou des dispositifs techniques spécifiques à une expérience.

En second lieu, la réalisation d'expériences permettant de créer des connaissances nouvelles nécessite également de repousser en permanence les frontières des possibilités technologiques du synchrotron. La dynamique d'évolution des synchrotrons résulte de la volonté des communautés scientifiques et d'ingénieurs qui y consacrent leur travail d'améliorer la puissance et la variété des techniques d'observation. C'est pourquoi un synchrotron n'est jamais totalement stabilisé et achevé, l'amélioration continue de ses équipements est constante tout au long de sa durée de vie.

Enfin, le renouvellement des expériences réalisées par les communautés de chercheurs utilisateurs de synchrotron, ainsi que le nombre des communautés qui utilisent le synchrotron sont en constante augmentation. En conséquence, la diversité des expériences réalisées sur les synchrotrons est à la fois très élevée et en croissance. L'offre des services synchrotron doit donc en permanence s'adapter à l'hétérogénéité et à l'évolution de la demande des utilisateurs.

Le développement de protocoles et de dispositifs techniques spécifiques, la recherche permanente du dépassement de la frontière des possibilités technologiques, la diversification et le renouvellement constant des demandes, tout concourt à la génération de l'incertitude : l'innovation qui soutient le renouvellement de l'infrastructure et donc du modèle d'affaires est continue.

Dans un contexte où le montant d'investissement est élevé<sup>2</sup>, il est utile de penser la TGIR de manière à limiter l'impact lié à ses risques d'obsolescence

2 276 000 000 € est le montant qui a été investi dans la construction de Soleil entre 2002-2012 (valeur des immobilisations).

rapide. Plus précisément l'organisation du synchrotron doit permettre de résoudre un certain nombre de tensions ou de conflits :

- Bien qu'il soit nécessaire d'explorer et de développer en permanence les potentialités de l'instrument il est indispensable d'un point de vue économique d'exploiter les savoirs faire acquis. En effet, s'il est nécessaire de s'adapter à court terme aux nouvelles demandes exprimées par les utilisateurs, la pérennité de l'infrastructure à long terme repose sur sa capacité à anticiper, voire orienter l'évolution de la recherche par des développements programmés du synchrotron (March, 1991a).
- S'il est important d'améliorer les performances techniques de l'infrastructure, il est vital également de s'assurer de la fiabilité des dispositifs sans laquelle la validation scientifique des expérimentations s'avère impossible. Ici, les efforts portent essentiellement sur les processus permettant d'arbitrer les dynamiques de différenciation et d'intégration par le synchrotron (Lawrence et Lorsch, 1967).
- Si l'excellence scientifique implique d'entrer dans le jeu de la concurrence avec les autres synchrotrons pour capter les meilleurs utilisateurs, et cela pour avoir une production scientifique du meilleur niveau, le développement des synchrotrons ne peut se faire sans la mise en place de collaborations permettant d'assurer la diffusion des meilleures pratiques et la dynamique d'innovation collective au niveau systémique (Moore, 1993).

Notre observation du terrain nous a permis de constater que les différentes tensions que nous venons d'évoquer étaient résolues à des niveaux différents de la TGIR.

En suivant la proposition de Teece (2010) définissant le modèle d'affaires comme un ensemble d'éléments interreliés assurant deux fonctions – la proposition de valeur et l'architecture de valeur – notre approche se fonde sur les deux hypothèses complémentaires suivantes.

D'une part, la proposition de valeur du modèle d'affaires du synchrotron doit permettre d'assembler un certain nombre de composantes de la valeur. Elles sont dans notre cas liées aux mécanismes internes et externes mis en œuvre par le synchrotron pour soutenir son fonctionnement et son développement. D'autre part, l'architecture de cette proposition de valeur repose

sur les interactions avec toute une série d'acteurs. Une catégorie d'acteurs se révèle dans notre cas être particulièrement importante : celle constituée par les différentes communautés scientifiques et technologiques qui interagissent autour du synchrotron. C'est donc plus particulièrement sur ces acteurs et sur les mécanismes en jeu dans l'évolution des synchrotrons que nous allons mettre l'accent dans la suite de notre analyse.

Pour ce qui est des mécanismes internes, le synchrotron peut se définir en deux niveaux organisationnels enchâssés, mais fonctionnant de manière relativement autonome.

Le premier niveau correspond dans la chaîne de valeur aux activités de service scientifique du synchrotron et traite des mécanismes d'adaptation aux besoins des chercheurs-utilisateurs. C'est ce « niveau ligne de lumière » qui assure la mise en œuvre des expériences et l'aide à la publication par les communautés de scientifiques. C'est ici que des mécanismes de différenciation permettent de répondre aux problèmes posés par la singularité des expériences à conduire.

Le deuxième niveau du synchrotron, qui n'est pas en contact direct avec les utilisateurs, traite du besoin d'adaptation de l'Accélérateur aux différentes lignes. Ce « niveau machine » garantit la performance technique de l'installation à travers la maintenance et la gestion de l'évolution technologique du synchrotron. C'est ici que des mécanismes d'intégration permettent d'assurer la performance de l'infrastructure et ceci malgré les contextes différenciés.

Cependant, les dynamiques d'adaptation locale que nous venons d'évoquer sont à la fois le déterminant et le produit de la dynamique d'adaptation globale de la population des synchrotrons. En effet, nous avons pu observer que les synchrotrons se constituaient eux-mêmes en un écosystème comprenant la population des synchrotrons. Moore (1993) définit les écosystèmes d'affaires comme une communauté économique supportée par l'interaction entre des entreprises et des individus. Plus précisément, nous nous référons à la définition proposée par Gueguen et Torrès (2004), selon laquelle un écosystème correspond à un ensemble des relations (verticales, horizontales et transversales ; directes ou non ; formalisées ou non) entre acteurs hétérogènes guidés par la promotion d'une ressource commune et d'une idéologie qui entraîne le développement de compétences partagées (compétences écosystémiques).

Ce dernier aspect nous semble particulièrement central dans la dynamique d'évolution des synchrotrons. C'est par la mise en œuvre de mécanismes de coopération et de concurrence au sein de cette communauté élargie que co-évoluent et se restructurent les lignes de lumière, les synchrotrons et l'ensemble de leur écosystème.

Nous allons à présent explorer plus en détail l'organisation interne à deux niveaux du synchrotron avant de porter une attention toute particulière au rôle stratégique de l'écosystème permettant de gérer l'incertitude et de répondre à la diversité et l'évolution des besoins des utilisateurs.

### **3. UNE PERSPECTIVE MICROÉCONOMIQUE DE L'ÉVOLUTION DU MODÈLE D'AFFAIRES**

Nous proposons ici de détailler les mécanismes à l'œuvre à deux niveaux d'analyse : le fonctionnement et le développement du synchrotron impliquent des mécanismes d'évolution des lignes de lumière aux besoins des utilisateurs, mais également des mécanismes d'évolution du système machine aux besoins des lignes.

L'architecture technologique en deux niveaux Accélérateur-Lignes présentée plus haut est à l'origine du modèle de fonctionnement des synchrotrons et de leur organisation formelle (figure 1), mais aussi plus informelle. Dans le monde des synchrotrons on peut distinguer la communauté des physiciens, géomètres et ingénieurs, impliquée dans le fonctionnement, la maintenance et l'amélioration continue de la « machine » de la communauté des scientifiques/ingénieurs qui prépare et réalise les expérimentations sur les lignes de lumière. Ces communautés développent leurs propres méthodes de travail et leurs propres processus mentaux. Comme le montre Simoulin (2012) à travers le cas de l'ESRF, la communauté des lignes est d'abord jugée en fonction du résultat des expérimentations et de la qualité de ses publications. La communauté qui travaille sur la machine cherche quant à elle avant tout à assurer la fiabilité et la performance de l'accélérateur au bénéfice des scientifiques. À l'intérieur même de la communauté des scientifiques/ingénieurs travaillant sur la machine, il existe des sous-communautés relativement homogènes qui sont liées à certaines instrumentations spécifiques (onduleurs, physique des



accélérateurs, diagnostics...) ou à certaines fonctionnalités plus transversales (comme la qualité du vide dans l'anneau de stockage, l'alignement des optiques, etc.)

## 3.1. Les lignes de lumière

### 3.1.1. Rationalisation des lignes

Chaque ligne est conçue pour répondre aux besoins d'une ou de plusieurs communautés particulières. Lorsque ces communautés sont fortes, bien structurées et stables, la préoccupation du responsable de ligne est d'identifier correctement son environnement, c'est-à-dire les besoins des utilisateurs pour s'assurer auprès d'eux du succès de sa ligne. L'objectif sera de spécialiser les instruments et de rationaliser les expériences. Des efforts importants sont réalisés pour rendre les lignes conviviales à travers leur automatisation ou leur opération « clé en main » (par ex. manipulation des échantillons). L'accent porté sur l'efficacité d'exploitation est tout à fait évident par exemple dans le cas des lignes de bio-cristallographie en biologie structurale. Par exemple, la rapidité avec laquelle les expériences sont réalisées sur ces lignes et d'autres qui leur sont similaires ont motivé un principe de coordination flexible via les *Bloc Allocation Groups*<sup>3</sup> afin d'améliorer le planning des accès aux lignes.

### 3.1.2. Anticipation des besoins des utilisateurs

Les responsables de lignes, étant experts de leurs instruments, sont les mieux positionnés pour juger de la meilleure façon d'étendre les applications des lignes et de les ouvrir à de nouvelles communautés d'utilisateurs. Ces dernières peuvent ignorer les solutions apportées par les lignes existantes à leur question de recherche. Les responsables de lignes peuvent ainsi investir des efforts importants pour identifier de nouveaux utilisateurs et attirer leur attention sur les techniques expérimentales susceptibles de les

---

3 Ce principe consiste à grouper par région géographique ou par thématique scientifique plusieurs laboratoires qui soumettent des projets une fois par an pour un nombre global de temps de faisceau sur une ligne. Le BAG permet aux utilisateurs d'avoir un accès régulier à la ligne sous la forme de plusieurs sessions sur une année, en assurant de leur côté la coordination de l'allocation de l'accès entre eux.

intéresser. Certaines lignes sont construites de telle manière à accueillir de manière flexible des communautés hétérogènes avec des exigences spécifiques en termes de techniques et d'expériences. La prise en compte de l'évolution des besoins des utilisateurs se fait par ailleurs par la mise en place de comités scientifiques (tous les 6 mois) et de comités de revues de ligne composés notamment d'experts utilisateurs d'autres synchrotrons (tous les 4 ans) qui conseillent les orientations des lignes.

### *3.1.3. Personnalisation des prestations*

Bien que la routinisation et la standardisation des expériences contribuent à l'efficacité des lignes, cette orientation rencontre ses limites sur les lignes où les expériences sont de nature plus exploratoires et requièrent une reconfiguration fréquente des lignes ou des développements méthodologiques spécifiques d'une expérience à l'autre. C'est notamment le cas des lignes d'expériences en chimie/physique où les expériences nécessitent d'être préparées en amont. De telles lignes sont, même à court terme (à l'échelle temporelle d'une expérience) dans une dynamique d'innovation intensive. Ces expériences exploratoires nécessitent souvent un soutien actif et précieux aux utilisateurs de la part du personnel des lignes et par voie de conséquence justifient leur statut de co-auteurs des publications. Plusieurs laboratoires (chimie, biologie, surfaces) jouent ici un rôle intégrateur et fournissent à toutes les lignes et à leurs utilisateurs la possibilité d'accéder à des instruments scientifiques et des dispositifs expérimentaux de manière coordonnée. Ces laboratoires « d'expérience » communs contribuent à préparer le processus expérimental en amont et facilitent la communication entre les utilisateurs et les lignes.

### *3.1.4. Co-développement des lignes*

Les rapports entre les utilisateurs et les opérateurs de lignes sont marqués par des degrés d'intégration divers. Nous avons évoqué la prestation de service standardisée qui limite fortement le besoin d'interaction. Puis nous avons mentionné la prestation différenciée qui suppose une collaboration au niveau de la mise au point de l'expérimentation, voire même un accompagnement à la publication. Dans certains cas, la collaboration entre une ligne et un laboratoire extérieur peut aller jusqu'au co-développement de nouveaux équipements pour la ligne et à la participation des

activités de celle-ci<sup>4</sup>. Dans ce cas un chercheur extérieur expert intègre la ligne comme utilisateur-opérateur et associe son laboratoire dans le développement de la ligne et des expériences. Comme utilisateur-opérateur le partenaire peut co-financer certains développements de la ligne et engager des doctorants ou post-doctorants qui consacrent leur recherche aux projets liés à la ligne. De tels partenariats permettent d'attirer et de retenir des utilisateurs experts qui apportent des connaissances précieuses aux lignes. Leur intégration à l'équipe de la ligne permet d'améliorer les processus d'interactions et de coordination et de mieux focaliser sur les besoins de développements des lignes tout en accélérant le transfert de connaissance.

**Tableau 2.** Mécanismes d'adaptation d'une ligne aux besoins des utilisateurs

|                    | <b>Exploitation</b>                       | <b>Exploration</b>   |
|--------------------|---|--|
| <b>Proactivité</b> | Anticipation des besoins des utilisateurs | Co-développement des lignes avec les utilisateurs          |
| <b>Réactivité</b>  | Expériences routinisées / rationalisées   | Prestations différenciées et co-conception des expériences |

## 3.2. Le système Machine

### 3.2.1. Modularité et fiabilité

Les membres du système « Machine » se considèrent comme une division au service des lignes de lumières. Plus précisément, leur mission est de produire et de fournir un faisceau de photons fiable et d'excellente qualité à toutes les lignes. L'accélérateur peut fonctionner si une ou plusieurs lignes sont en panne, l'inverse n'est pas vrai. La réussite de l'expérience de l'utilisateur, dépend notamment, d'un certain nombre de qualités du rayonnement (brillance, intensité, durée de vie, stabilité) qui dépend elle-même d'un ensemble de systèmes technologiques et de choix de conception liés par exemple au contrôle du vide dans l'anneau de stockage, la

4 Dans le cadre des Investissements d'Avenir une évolution récente porte sur la mise en place de *consortium de développement de lignes*. Dans ce cas bien que Soleil reste porteur du projet, le consortium permet une association plus étroite entre SOLEIL et les laboratoires extérieurs.

maîtrise de la technologie des onduleurs ou des aimants, la stabilité de la dalle sur laquelle est construit le synchrotron, l'alignement précis des optiques, etc. Ainsi une caractéristique de la machine est sa sophistication et la forte interdépendance entre ses éléments et paramètres constitutifs. En d'autres mots, le maillon le plus faible détermine la performance de l'ensemble de la Machine. La conception modulaire de la machine et de ses composants constitue un moyen de travailler en parallèle sur la sécurisation (mais aussi, comme nous allons le voir, sur l'amélioration continue) de chacun de ses sous-systèmes. Lors du démarrage du synchrotron, c'est d'abord la fiabilité qui est privilégiée.

### 3.2.2. *Modularité et upgrading*

Durant sa durée de vie d'environ 30 ans, un Accélérateur connaît des améliorations de performance et des mises à jour plus ou moins notables qui résultent du développement graduel et séquentiel d'approches et d'équipements novateurs. Sa performance est par conséquent définie dès le départ de manière progressive traduisant essentiellement la différence entre l'ambition justifiée par ce qui est théoriquement atteignable, et qui se reflète dans ses paramètres de conception générique, et ce qui est faisable pratiquement à un moment donné. Ceci ne signifie pas que l'objectif initial est de viser des performances modestes. Dès sa mise en opération initiale, un synchrotron adopte des technologies éprouvées à la frontière de l'art et hautement novatrices. L'idée est de pousser la conception de la machine à ses limites théoriques et technologiques et d'explorer à partir de là les différents possibles tout en garantissant des conditions de fiabilité maximale durant son exploitation pour réaliser les expériences. En ce sens, la conception de l'accélérateur n'organise pas seulement la phase de sa construction initiale, mais également son futur dans une perspective à long terme en gardant des fenêtres ouvertes pour la période après la construction afin d'effectuer constamment les meilleurs choix et de générer de nouvelles opportunités d'expériences.

### 3.2.3. *Modularité et versatilité*

Parallèlement les responsables de la Machine doivent penser à la dynamique de spécialisation des lignes. La diversité des lignes complique la tâche d'optimisation des caractéristiques du faisceau de lumière. Les

besoins en termes de brillance et de longueur d'onde de la lumière, de la taille du faisceau, de son mode de diffusion différent selon les lignes. Là encore la modularité joue son rôle : la conception d'éléments d'insertion sur mesure jouant le rôle d'interface entre la machine et les différentes lignes. Par exemple, les onduleurs permettent d'adapter les caractéristiques de brillance, de finesse et de longueur d'onde de la lumière aux besoins de la ligne. Par ailleurs, la machine dispose de plusieurs modes d'opération selon la nature des applications : le rayonnement peut être plus ou moins intense ou être diffusé suivant différentes structures temporelles. Des modes spécifiques peuvent ainsi être développés suivant les besoins des lignes.

### *3.2.4. Modularité et dynamique d'évolution des lignes*

Si la durée de vie d'un accélérateur est d'environ 30 ans, les lignes deviennent obsolètes en moyenne au bout de 8 années ! Par conséquent les responsables de lignes et les ingénieurs engagent également une réflexion sur les options offertes pour créer de nouvelles générations de lignes. Ces options relèvent d'opportunités technologiques émergentes via la recherche sur l'instrumentation scientifique, de la possibilité d'étendre l'utilisation du synchrotron à de nouveaux domaines scientifiques (recherche médicale, matériaux anciens, etc.) ou de nouvelles demandes d'applications novatrices. La création de nouvelles lignes nécessitera fréquemment des ajustements systémiques au niveau de la machine (réglage optique de l'anneau, mise en place de système de rétroactions) ; l'évolution de la machine impliquera des adaptations au niveau des lignes ; la conception d'équipements sur mesure (onduleurs) sera accompagnée par le partage d'éléments communs pour réduire les délais et les coûts de construction ; des efforts seront entrepris pour généraliser certains modes opérationnels au départ spécifiques à quelques lignes. Ces ajustements mutuels s'appuient sur des dispositifs organisationnels qui mettent l'accent sur les interactions et la coordination entre les différents groupes de la Machine, par exemple entre les groupes Diagnostique et Physique des Accélérateurs impliqués surtout dans le processus d'intégration et de cohérence d'ensemble de la Machine et le Groupe Insertion axé sur le développement d'équipements spécifiques aux lignes et les responsables des lignes.

**Tableau 3.** Mécanismes d'adaptation de la Machine aux besoins des lignes

|                                   | <b>Exploitation</b>   | <b>Exploration</b>                         |
|-----------------------------------|---|--|
| <b>Performances des lignes</b>    | Versatilité : Equipements sur mesure et modes opérationnelles | Gestion dynamique du portefeuille de ligne |
| <b>Performances de la Machine</b> | Fiabilité : Efficience / qualité opérationnelle               | Upgrading de la performance                |

La description des mécanismes d'adaptation des lignes aux besoins des utilisateurs, ainsi que celle des mécanismes d'adaptation de la machine aux besoins des lignes mettent en évidence le fait que le synchrotron est un système en perpétuelle évolution à travers des processus continus d'innovation. Cependant, cette dynamique de création de valeur du « modèle d'affaires du synchrotron » ne peut se comprendre que si nous analysons l'évolution du synchrotron au sein de son écosystème. D'une part, en effet, la population des synchrotrons donne naissance à une entité qui dispose elle-même des caractéristiques d'une méta-TGIR. D'autre part, c'est au travers de mécanismes de concurrence et de coopération qu'au sein de cet écosystème se construit la dynamique d'évolution des synchrotrons. Conformément à ce qu'observait March (1991b) dans les processus décisionnels au sein des organisations, la compréhension de la dynamique d'évolution d'un synchrotron exige de le considérer en échange permanent avec la population des autres synchrotrons. Son évolution dépend de celle des autres autant que celle des autres dépend de lui, ce qui correspond à une forme de rationalité écologique dans un système marqué par de fortes interactions. Cette dimension « écologique » de la dynamique de changement nous conduit à étudier dans la partie 3 qui suit la façon dont l'écosystème des synchrotrons interfère sur leur modèle d'affaires.

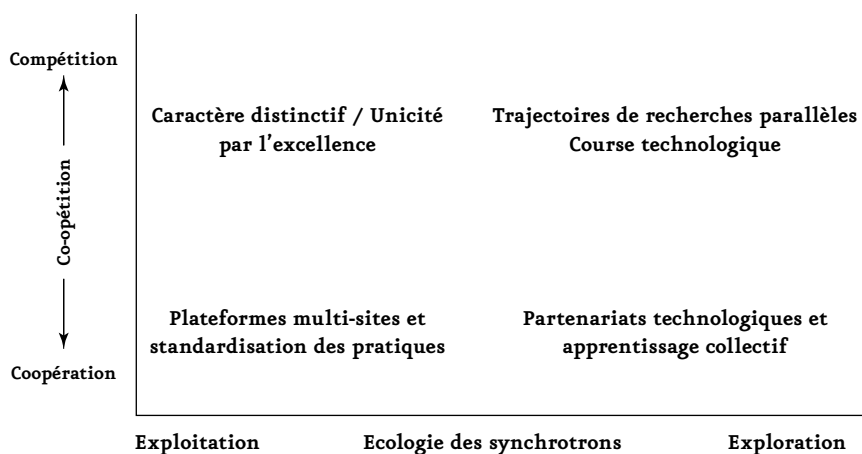
## 4. ÉCOLOGIE DES SYNCHROTRONS : COOPÉTITION AU SEIN DE L'ÉCOSYSTÈME

Le nombre croissant de synchrotrons nationaux a créé une sorte de marché et de méta-organisation où s'exercent à la fois une compétition ainsi que des collaborations au niveau européen, voire mondial.

Lorsque l'on prend en considération les interactions entre les synchrotrons, on constate que la dynamique d'évolution d'un synchrotron est fortement liée à celles des autres acteurs de son écosystème. En effet, la mise en œuvre des mécanismes d'adaptation locaux d'un synchrotron (aux besoins des utilisateurs, ou aux besoins des lignes), tels que nous venons de les décrire, est susceptible d'influencer à son tour l'évolution de l'écosystème des synchrotrons dans sa globalité. En d'autres termes, la dynamique d'évolution d'un synchrotron est à la fois le moteur et le produit de l'évolution de son écosystème.

Cette dynamique de coopération-compétition se déploie aussi bien en matière de renforcement et développements de trajectoires existantes, via des activités d'exploitation, qu'en matière d'émergence et de sélection de trajectoires nouvelles, via des activités d'exploration. On voit alors le lien entre ce qui se joue au niveau de l'écosystème et ce qui, au niveau micro-économique des synchrotrons pris individuellement, permettait la résolution des tensions évoquées en partie 2. Le tableau 3 représente cette double dimension de la dynamique d'évolution articulée par un certain nombre de mécanismes. Reprenons alors de manière un peu plus précise et systématique l'analyse de ces mécanismes.

**Figure 3.** Écologie des synchrotrons : Coopération *versus* Compétition



## 4.1. Renforcement et développement des trajectoires existantes

### 4.1.1. La différenciation comme moyen de compétition entre synchrotrons et comme générateur de diversité au sein de l'écosystème

Les synchrotrons s'engagent pour construire et consolider leur position concurrentielle afin de créer de la valeur scientifique. Comme en attestent les différents indicateurs quantitatifs et qualitatifs mis en place par les synchrotrons à des fins de *benchmarking*<sup>5</sup> et aussi pour démontrer leur excellence et la qualité de leurs services aux scientifiques (Hallonsten, 2013), la dynamique de compétition entre synchrotrons repose sur plusieurs éléments (voir figure 2).

Au-delà de la fiabilité, le positionnement concurrentiel d'un synchrotron est surtout fondé sur sa capacité à se différencier des autres. La différenciation peut se fonder sur la qualité des services et du support apporté sur les lignes de lumière à la communauté des utilisateurs. Elle peut trouver sa source dans les modalités d'accès disponibles pour chacun des synchrotrons. Certains d'entre eux offrent par exemple des modalités plus variées que d'autres. Mais de manière plus critique, les synchrotrons tentent d'établir et de renforcer leur différenciation en construisant des lignes de lumière offrant des techniques et des environnements d'expérimentation uniques. Il peut s'agir par exemple de la mise au point d'instrumentation nouvelle (microscopes, détecteurs, monochromateurs, optique, environnement échantillon), ou de développement de modes opérationnels qui n'existent pas ailleurs (en termes de taille du faisceau, de sa structure temporelle, de sa brillance, de sa stabilité et de son intensité). La compétition se traduit par la genèse d'une grande variété de techniques expérimentales et de lignes de lumière uniques au sein de la population des synchrotrons.

La compétition a pour objectif d'attirer les meilleurs utilisateurs. Conquérir de nouveaux utilisateurs experts, gagner leur confiance, bénéficier des

---

5 Voir *Synchrotron Soleil Highlights* (2010, 2011, 2012).



défis scientifiques et techniques que posent leurs expérimentations et qui sont susceptibles de déboucher sur de nouveaux domaines de recherche sont critiques pour la créativité et la capacité d'innovation des lignes de lumière. Même si les synchrotrons nationaux procurent un accès prioritaire à leur propre communauté scientifique nationale, leur attractivité et leur réputation sont surtout construites et démontrées par l'expansion de leur communauté d'utilisateurs et sa diversification en termes de pays d'origine, en particulier de pays qui possèdent eux-mêmes un synchrotron. La tendance en matière de nombre de projets soumis/acceptés (taux élevé de sursouscription) reflète également, non seulement la réputation du synchrotron dans la communauté d'utilisateurs, mais aussi l'élévation du niveau de qualité des propositions acceptées. Un taux de refus élevé peut toutefois avoir aussi un impact négatif en dissuadant ou en démotivant des primo-utilisateurs potentiels (qui n'ont jamais utilisé de synchrotron) et qui, soit n'ont jamais fait de proposition, soit ont vu leurs propositions plusieurs fois rejetées. Pour cette raison, les scientifiques de ligne font parfois des études préliminaires sur des projets prometteurs afin de leur permettre d'être présentés avec succès aux comités de programme.

In fine « l'avantage concurrentiel » se traduit au travers de la qualité des outputs scientifiques (par les utilisateurs et la communauté synchrotron). La croissance du nombre de publications, en particulier dans des revues prestigieuses à facteur d'impact élevé, détermine la visibilité et l'influence des synchrotrons dans leur communauté. La qualité des publications peut résulter directement de la qualité des projets acceptés. Dans la plupart des synchrotrons, une fois qu'une expérience est achevée avec succès, les utilisateurs ayant proposé l'expérience en question ne sont autorisés à re-candidater pour obtenir un nouveau temps d'accès à la ligne qu'à la condition d'avoir soumis un papier relatif à leurs résultats expérimentaux à une revue. La visibilité des synchrotrons provient du fait que la ligne de lumière sur laquelle l'expérience a été conduite est mentionnée dans la publication et/ou que les scientifiques de la ligne qui ont contribué activement au succès de l'expérience y apparaissent comme coauteurs.

L'attractivité et la réputation, la visibilité et l'influence au sein de la communauté traduisent l'excellence du service, l'innovation en matière d'expérimentations, la productivité et la qualité scientifique. Et ces éléments

légitiment les synchrotrons dans leur quête de financements supplémentaires et de nouvelles ressources nécessaires à la poursuite de leurs efforts pour améliorer leurs équipements, effectuer des mises à niveau de leurs accélérateurs et construire de nouvelles lignes de lumière. D'une certaine manière, chaque réussite scientifique/technique est considérée par la communauté des synchrotrons comme une étape permettant de poursuivre des objectifs plus ambitieux et constituant des nouveaux défis, et ainsi d'entretenir la compétition future.

#### *4.1.2. La standardisation des pratiques : facilitatrice des collaborations au sein des communautés d'utilisateurs*

La multiplicité des synchrotrons, leurs trajectoires de différenciation et le nombre croissant d'utilisateurs potentiels désireux d'avoir du temps d'accès aux lignes de lumière ont également induit la nécessité d'une approche collaborative permettant que les synchrotrons fonctionnent et soient exploités comme parties intégrantes d'un environnement multi-instruments. Ceci se traduit par les efforts pour le développement et l'adoption d'instruments similaires et de standards communs par les synchrotrons afin d'améliorer la coordination et l'efficacité. Cette dynamique est également reflétée par la création de plates-formes multi-synchrotrons facilitant l'accès de la communauté des utilisateurs aux différentes lignes de lumière existant en Europe et lui proposant des sessions de formation aux techniques synchrotron.

Les objectifs de la standardisation sont de deux ordres. D'une part, il s'agit d'utiliser autant que possible les mêmes outils et solutions informatiques de base dans l'ensemble des synchrotrons, afin de minimiser les coûts et les risques des nouveaux développements et de concentrer les efforts sur les besoins spécifiques de chaque synchrotron. Par exemple, le système de contrôle TANGO (logiciel « boîte à outils » développé en *open source* permettant de piloter une grande variété de *hardware* et de *software* au niveau d'un synchrotron) est développé et partagé par de nombreux synchrotrons.

D'autre part, le but est de proposer aux utilisateurs un environnement similaire dans tous les synchrotrons, facilitant ainsi la reproductibilité et la comparaison des expériences et d'économiser du temps de formation

et de support durant les expériences pour les utilisateurs et les scientifiques de ligne. Cette approche est en particulier développée dans le cas des lignes de bio-cristallographie à haut débit : des progrès significatifs ont été réalisés pour standardiser les interfaces informatiques, pour développer des procédures opératoires similaires et des outils automatisés communs. C'était par exemple le but du projet de recherche européen BIOXHIT centré sur la création d'une plate-forme de cristallographie intégrée et standardisée pour l'ensemble des synchrotrons européens.

Les initiatives de la Commission européenne pour favoriser les accès transnationaux à un réseau d'infrastructures de recherches distribué, menées dans le cadre des actions de type I3 depuis le FP 6<sup>6</sup> ont aussi conduit la communauté des synchrotrons à créer des plates-formes multisites qui permettent l'accès de la communauté des utilisateurs à des techniques et équipements complémentaires des synchrotrons.

Biostruct-X est un exemple de projet en biologie structurale, qui organise une infrastructure distribuée multisites entre les synchrotrons européens existants qui sont équipés pour l'analyse en rayons X. 11 synchrotrons européens ouvrent donc l'accès à leurs lignes de lumière et à leurs équipements pour des expériences dans des domaines scientifiques aussi bien établis qu'émergents. L'accès est géré à travers le principe des BAG et promeut les expériences ciblant des applications multisites et la combinaison de différentes méthodes et d'approches hybrides. À côté de la coordination de l'accès entre les installations complémentaires, les partenaires de Biostruct-X sont impliqués dans des activités de recherche communes dans le domaine du traitement de données de cristallographie par rayons X, des méthodes de préparation d'échantillons et de l'instrumentation de recherche (microscopes notamment) pour des applications nouvelles en imagerie par rayons X.

---

6 Les actions I3 (Integrated Infrastructures initiatives) combinent dans un même cadre contractuel différentes activités permettant le renforcement des infrastructures de recherche et la fourniture d'un service intégré au niveau européen. Plus précisément, ces activités comprennent : (1) la mise en réseau (Networking, y compris le management de consortium) 2) la fourniture d'accès transnational aux utilisateurs (TA : Transnational Access, et (3) des activités de recherche communes (JRA : Joint Research Activities).

## 4.2. Émergence et sélection des trajectoires technologiques nouvelles

### 4.2.1. *La compétition comme moyen de révéler des trajectoires nouvelles*

Une ligne de force sur laquelle s'appuie la compétition en matière d'activités exploratoires est la capacité générique intrinsèque des instruments synchrotrons en tant qu'instruments scientifiques facilitant les processus continus d'expansion, de diversification et de différenciation (Shinn et Joerges, 2002 ; Shinn, 2005). Cette capacité rend l'évolution des synchrotrons et de leurs utilisations difficilement prévisible et ce même longtemps après leur construction, ce qui contribue à maintenir une compétition extrêmement vive. Il est possible de mentionner des exemples de développement qui ont jeté les bases des transitions entre les trois générations successives de synchrotrons sans que ces transitions aient été toujours anticipées pleinement par les acteurs (Hallonsten, 2009).

La 1<sup>re</sup> génération date des années 1960 et 1970 et correspond aux installations dérivées de la physique des particules. À cette époque le rayonnement synchrotron est considéré comme un phénomène parasite, une externalité négative. La 2<sup>e</sup> génération correspond aux installations conçues et construites dans les années 1980 spécifiquement pour la production de rayonnement synchrotron. Elle n'aurait pu voir le jour si des scientifiques n'avaient pas « détourné » la radiation synchrotron des machines de 1<sup>re</sup> génération à leur profit. Les synchrotrons de 3<sup>e</sup> génération datent des années 1990 et se caractérisent par la production de rayonnement non seulement dans les aimants de courbure, mais aussi dans les éléments (onduleurs et « wigglers ») insérés dans les sections droites de l'anneau de stockage et contribuant de manière très significative à l'augmentation de la brillance du faisceau.

Les synchrotrons de 3<sup>e</sup> génération, grâce à des innovations technologiques soutenues, permettent à des anneaux de stockage de basse ou moyenne énergie de mener des expériences avec des rayons X durs que l'on ne pensait réalisables qu'au moyen d'anneaux à haute énergie, permettent une utilisation accrue des longueurs d'onde infrarouge et UV dans de nombreuses disciplines et sont étendus à des champs d'applications nouveaux (diagnostic médical, arts...).

Le caractère générique de l'instrumentation scientifique n'implique pourtant pas qu'il puisse être adapté à différents usages et à de nouveaux besoins scientifiques sans efforts et sans risques. Bien au contraire. Mais cette capacité générique est ce qui incite les scientifiques et ingénieurs des synchrotrons à s'engager plus souvent dans des projets stimulants permettant d'augmenter le périmètre d'activités de leurs instruments, de les améliorer et d'en trouver de nouvelles applications. Ceci explique également le rôle clé tenu par les « entrepreneurs scientifiques » qui, au-delà d'attirer de nouveaux utilisateurs, découvrent de nouvelles opportunités de création de « valeur scientifique », et font preuve de créativité afin de repousser les limites technologiques de leurs instruments en créant parfois des trajectoires réellement nouvelles. Cette dynamique s'accompagne d'efforts entrepris pour renforcer l'attractivité des synchrotrons pour les jeunes chercheurs et crée ainsi également une compétition pour l'accès aux ressources et compétences humaines. De fait, la multiplication des synchrotrons nationaux a aussi accru la compétition pour les talents scientifiques. Un synchrotron peut perdre des savoirs et des compétences si un scientifique de grande valeur le quitte pour un autre synchrotron. De nombreux scientifiques et en particulier les jeunes chercheurs sont attirés par les perspectives de défis scientifiques qu'offrent les différentes installations. Ainsi, la possibilité d'avoir une réelle activité de recherche interne est souvent un critère prépondérant dans le choix de rejoindre l'un ou l'autre synchrotron (Simoulin, 2012).

Les interactions entre les synchrotrons sont souvent facilitées par la connaissance commune que les membres de la communauté partagent à propos du futur de leurs technologies et de l'évolution de leurs communautés d'utilisateurs existants et potentiels. Cette connaissance commune, fondée sur des attentes et conjectures convergentes, est un vecteur permettant de définir et de fixer des trajectoires prometteuses et considérées comme clés au long desquelles la compétition et la coopération en matière d'activités exploratoires peuvent se déployer. Elle est utilisée pour définir le champ des problèmes qui seront à traiter, et par conséquent la compétition et la coopération dans la recherche des solutions possibles. Cette base de connaissances étant en constante expansion, elle permet aux synchrotrons de s'adapter rapidement et de copier les innovations introduites par les autres synchrotrons en développant des versions propres adaptées, nourrissant de ce fait la dynamique d'exploration et de compétition. Il y a en fait de nombreux domaines critiques dans lesquels les synchrotrons lancent des projets de recherche parallèles et en coopération les uns avec les autres.

### *4.2.2. La collaboration comme moyen de générer une dynamique d'apprentissage de partage des meilleures solutions technologiques*

Les collaborations sont structurées à la fois par des mécanismes auto-organisés au sein de la communauté de recherche des synchrotrons et par des formes plus institutionnalisées combinant des accords intergouvernementaux et le soutien des Programmes Cadres européens.

Les scientifiques et ingénieurs des synchrotrons se considèrent comme membres de la communauté synchrotron en général, mais aussi comme insérés dans des communautés plus spécialisées correspondant à leurs domaines scientifiques (techniques et instruments des lignes de lumière, technologies de l'accélérateur). Ils accordent une grande valeur au maintien de liens continus et forts avec les membres des communautés des autres synchrotrons, et entretiennent et développent les réseaux personnels qu'ils se sont construits au cours du temps. Le fait qu'ils aient très souvent travaillé dans plusieurs synchrotrons au cours de leur carrière permet aussi de créer des relations personnelles fondées sur la confiance, voire l'amitié. Il est ainsi très courant que des scientifiques (de la ligne ou de la machine) soient impliqués en tant que conseillers dans la conception ou la construction d'autres synchrotrons. Les scientifiques de ligne sont aussi souvent sollicités pour être rapporteurs des propositions d'expériences soumises à d'autres synchrotrons. De même, il est fréquent que les scientifiques demandent conseil de manière informelle (par téléphone ou email) à leurs collègues d'autres synchrotrons travaillant sur des domaines similaires aux leurs, lorsqu'ils sont par exemple confrontés à des problèmes nouveaux et inconnus lors d'expériences très exploratoires.

La diffusion effective, pratiquée sur un mode coopératif, des meilleures pratiques et de technologies innovantes dont la validité a été démontrée est une caractéristique inhérente aux communautés de synchrotrons. Cette diffusion s'effectue par une diversité de canaux : les visites périodiques de chercheurs auprès d'autres synchrotrons pour tester de nouveaux équipements ou pour participer à des expériences exploratoires ; des initiatives collectives comme l'organisation à intervalles réguliers de colloques, séminaires, workshops, sessions de formation ; la création et l'animation de

forum et autres sites de discussion souvent centrés sur des domaines technologiques et des techniques d'expérimentations spécifiques<sup>7</sup>.

Ces contacts et ces initiatives collectives aident les scientifiques à rester informés sur les avancées scientifiques et technologiques, à bénéficier de l'expérience des autres et plus globalement à rester en interaction avec la communauté. Il y a ainsi une incitation importante à la diffusion de l'expérience et des procédures entre les synchrotrons, puisque d'une part cette diffusion contribue positivement à la réputation et à l'image d'innovateur des synchrotrons, et que d'autre part elle améliore la dynamique d'innovation au niveau collectif de la communauté des synchrotrons dans son ensemble comme un terrain innovant particulièrement fertile devant être consolidé et continuellement nourri.

Dans le cas de SOLEIL, de nombreux exemples illustrent ce processus collaboratif de diffusion à la fois interne et externe à SOLEIL. Durant la phase de construction, les ingénieurs de SOLEIL se sont systématiquement tenus informés des expériences menées sur d'autres synchrotrons similaires (ESRF, ELETTRA, BESSY, SLS, Diamond, DESY...) afin d'éviter de commettre les mêmes erreurs et de bénéficier de leurs connaissances accumulées. L'expérience acquise par exemple par l'ESRF dans de nombreux domaines a été largement partagée entre les personnels de l'ESRF et de SOLEIL, ce qui a déterminé de manière critique les paramètres de conception finale et les stratégies adoptées par SOLEIL. L'ESRF, en tant que synchrotron de 3<sup>e</sup> génération et sur la base de son ambitieux programme de développement scientifique et technologique et de sa riche expérience, apparaît en fait comme ayant joué un rôle extrêmement influant dans nombre de choix techniques et organisationnels réalisés par SOLEIL durant sa construction et son exploitation. Par exemple, la technologie de traitement de surface dite NEG (développée initialement par le CERN) pour assurer la qualité du vide dans l'anneau de stockage a été utilisée pour la première fois par l'ESRF, mais seulement pour les parties droites de l'anneau. L'expérience positive acquise lors de ces premières utilisations de la technologie par l'ESRF puis par d'autres synchrotrons a incité SOLEIL à être le

---

7 Par exemple, à l'initiative de l'ESRF deux forums ont été créés sur :  
 – la fiabilité (<http://reliability.forumotion.com/>),  
 – le fonctionnement des complexes accélérateurs (<http://sites.google.com/site/particlearceleratorreliability/>).

premier synchrotron à l'utiliser à large échelle. Comme d'autres synchrotrons, SOLEIL a aussi récemment adopté des modes d'organisation innovants initialement introduits par l'ESRF, par exemple l'accès sous forme de BAG ou la programmation systématique de journées de rencontre avec les utilisateurs.

De la même manière, des développements et des innovations initiés en propre à SOLEIL se sont diffusés à d'autres synchrotrons. Un exemple significatif est celui des amplificateurs à état solide, développés dans le cadre de LURE puis de SOLEIL. Leurs avantages comparatifs (modularité et fiabilité) ont incité d'autres accélérateurs à adopter la technologie de SOLEIL. Des mécanismes de diffusion et d'apprentissage particulièrement intéressants sont également constitués par les programmes collaboratifs de construction, de test et d'utilisation de nouveaux équipements et de lignes de lumière, initialement conçus par SOLEIL, dans d'autres synchrotrons. Ces mécanismes révèlent des situations de type gagnant-gagnant. Ainsi, de nombreux équipements et lignes imaginés en interne par SOLEIL ont été en fait en premier lieu construits, testés et utilisés sur d'autres accélérateurs (CERN, ESRF, ELETTRA) avant d'être transférés définitivement à SOLEIL.

Depuis son lancement, SOLEIL poursuit une politique soutenue de recherche coopérative en constituant et renforçant des partenariats de recherche avec de nombreux synchrotrons (par exemple MAX IV, DESY, SLS, DIAMOND). Ces partenariats sont considérés comme cruciaux dans un environnement dans lequel la communauté des synchrotrons perçoit de plus en plus que la croissance des coûts de recherche liée à la complexité et à la sophistication des nouvelles technologies synchrotron, et l'existence de compétences critiques dispersées entre les différents synchrotrons rendent indispensable une approche des activités d'exploration de plus en plus collective (inter-synchrotrons). La conviction est clairement établie que les objectifs de performance extrêmement ambitieux que la communauté s'est fixés ne peuvent être atteints par les synchrotrons à titre individuel, mais nécessitent des efforts coopératifs. Les synchrotrons lancent ainsi des alliances sur de nombreux projets. Ils participent activement à l'intégration et à la coordination des activités de recherche et de construction au niveau européen dans le cadre des programmes de TGIR de l'Union européenne comme dans celui d'accords intergouvernementaux



(EuroFEL<sup>8</sup>, EuropeanXFEL<sup>9</sup>). Ils mettent en place des partenariats de recherche multi-installations sur le long terme afin de partager certains efforts de recherche (European Consortium on Detectors<sup>10</sup>) et initient des accords de collaborations pour la formation et l'échange au niveau des jeunes chercheurs pour faciliter la diffusion des connaissances les plus avancées (oPAC<sup>11</sup>).

Pour conclure, cette analyse menée sur les deux plans des activités d'exploitation et d'exploration nous semble révéler un poids croissant de la dimension coopérative. L'écosystème des synchrotrons apparaît organisé et structuré, en particulier par le jeu des communautés dont on a vu qu'elles servent en quelque sorte de lien entre les synchrotrons. Ainsi, la dynamique d'évolution de l'écosystème de ces TGIR conduira peut-être à la nécessité d'interpréter cet écosystème comme une méta-TGIR.

## 5. CONCLUSION

Ce travail prend comme point de départ l'hypothèse selon laquelle il est possible d'identifier le modèle d'affaires d'une TGIR, en l'occurrence un synchrotron, et surtout d'analyser les mécanismes au cœur de la dynamique d'évolution et d'innovation de ce modèle. Les innovations en termes de composantes de la valeur et d'architecture de la valeur peuvent être considérées comme résultant de processus de résolution de tensions repérables au niveau microéconomique d'un synchrotron, que nous avons détaillés comme se situant au niveau des lignes de lumière et à celui de

---

8 L'étude de conception EuroFEL fut une initiative de coordination entre 16 organisations européennes en vue de développer des technologies clés nécessaires au design et à la construction de la prochaine génération de source laser à électron libre (FEL).

9 L'European XFEL (pour laser rayon X à électron libre) est situé sur le site de DESY à Hambourg (Allemagne).

10 L'European Detector Consortium regroupe 10 synchrotrons. Il a été créé pour assurer la continuité des efforts de développement de détecteurs afin de satisfaire aux exigences des futures expériences et de bénéficier à plein des performances des nouvelles générations d'accélérateurs.

11 L'oPAC (optimization of the performance of any Particle ACcelerator (oPAC) est un réseau de type Marie Curie Initial Training dans le cadre du FP 7 (<http://www.liv.ac.uk/opac/>).

l'ensemble synchrotron articulant accélérateur et lignes. Mais une partie des mécanismes à l'œuvre dans ces processus mettent en jeu des dynamiques de coopération et de compétition entre synchrotrons, et opérant par l'intermédiaire des différentes communautés. Il est donc nécessaire d'enrichir l'analyse par la prise en compte d'un niveau supérieur, celui d'un écosystème de synchrotrons qui est à la fois le déterminant et le fruit des démarches propres à chaque synchrotron et de leurs interactions.

L'analyse menée dans le cadre de cet article constitue bien sûr une première tentative d'exploration du champ de l'activité des TGIR, et en particulier des synchrotrons, à la lumière des cadres conceptuels proposés par l'approche en termes de modèle d'affaires et d'écosystème. Nombre de questions restent ouvertes et de problématiques à raffiner ou à formuler. En particulier, au-delà de la mobilisation de cadres analytiques et de concepts complémentaires pour étayer notre analyse (on pense ici en particulier à la lignée de travaux sur les processus d'intégration/différenciation), les thèmes suivants nous semblent potentiellement riches.

Tout d'abord, l'analyse de la dynamique d'évolution des synchrotrons au sein de l'écosystème des synchrotrons laisse à penser que tous les synchrotrons composant ce dernier adoptent le même type de modèle d'affaires. Or nos discussions avec les responsables du synchrotron SOLEIL ont bien évoqué l'existence de modèles différents suivant les pays. Quelles sont les caractéristiques de ces modèles d'affaires ? Pour quelles raisons spécifiques ont-ils émergé ? Quel rôle jouent les systèmes nationaux d'innovation et la coopération S&T à l'échelle européenne et internationale dans leur émergence ? Quelles sont les conséquences de ces différences pour la science ? Autant de questions autour du thème de la différenciation non pas des synchrotrons en tant que tels, qui a été pointée ici, mais de celle de leurs modèles d'affaires. La question sous-jacente est aussi celle des préconisations managériales à apporter aux managers des synchrotrons, qui pourraient en découler, et que nous n'avons abordées ici que très ponctuellement.

Ensuite, un phénomène qui pourrait être déterminant dans cette évolution révèle une seconde piste de recherche future : le développement des utilisations du synchrotron par des industriels dans le cadre d'échanges purement marchands, qui, à défaut d'être pour l'instant effectif, pourrait faire émerger différents modèles d'utilisation du synchrotron. Ces

applications pour l'instant marginales en termes de temps d'accès et de volume d'affaires (au sens strictement monétaire) nécessitent néanmoins de veiller à la cohérence d'ensemble et au maintien de la dynamique du système en tant que modèle d'affaires avant tout « académique ».

Enfin, une troisième piste concerne la pertinence de conférer au cas des synchrotrons (voire des TGIR) et de leurs écosystèmes le statut d'un modèle valide dans des conditions plus générales en présence néanmoins de caractéristiques spécifiques : coûts fixes élevés, régimes d'obsolescences différenciés entre composants d'un système, et similarité profonde entre objectifs des offreurs et des utilisateurs et même entre indicateurs de performance et de satisfaction des deux parties (ce dernier point permettant un degré de co-construction de la valeur presque extrême).

D'une certaine manière, ces différentes pistes de recherche pourraient conduire à une caractérisation en termes de structures des écosystèmes autant que de mécanismes d'évolution, et déboucher sur des formes originales ou hybrides multipôles par rapport aux formes « classiques » d'écosystèmes (Gueguen et Torrès, 2004 ; Iansiti et Levien, 2004) architecturés autour d'acteurs pivots, de niche ou dominants.

## RÉFÉRENCES

- AGGERI, F., LE MASSON, P., BRANCIARD, A., PARADEISE, C. et PEERBAYE, A. (2007), « Les plates-formes technologiques dans les sciences de la vie : politiques publiques, organisations et performances », *Revue d'Économie Industrielle*, vol. 120, n° 4, pp. 21-40.
- CALLON, M. (1994), "Is Science a Public Good?" Fifth Mullins Lecture, Virginia Polytechnic Institute, 23 March 1993, *Science, Technology, & Human Values* October, vol. 19, n° 4, pp. 395-424.
- CHESBROUGH, H. et ROSENBLOOM, R. S. (2002), "The role of the business model in capturing value from innovation: evidence from Xerox Corporation's technology spin-off companies", *Industrial and Corporate Change*, vol. 11, n° 3, pp. 529-555.
- GAWER, A. et HENDERSON, R. (2007), "Platform Owner Entry and Innovation in Complementary Markets: Evidence from Intel", *Journal of Economics & Management Strategy*, Wiley Blackwell, vol. 16, n° 1, pp. 1-34.
- GUEGUEN, G. et TORRES O. (2004), « La dynamique concurrentielle des écosystèmes d'affaires : Linux contre Microsoft », *Revue Française de Gestion*, vol. 30, n° 148, janvier-février, pp. 227-248

- HALLONSTEN, O. (2009), *Small science on big machines: Politics and practices of synchrotron radiation laboratories*, Diss., Lund Studies in Research Policy 1.
- HALLONSTEN, O. (2013), "Introducing 'facilitymetrics': a first review and analysis of commonly used measures of scientific leadership among synchrotron radiation facilities worldwide", *Scientometrics*, vol. 96, n° 3, pp. 497-513.
- IANSITI, M. et LEVIEN, R. (2004), *The keystone advantage: what the new dynamics of business ecosystems mean for strategy, innovation, and sustainability*, HBS Press, Boston
- LAWRENCE, P. R. et LORSCH, J. W. (1967), "Differentiation and integration in complex organizations", *Administrative Science Quarterly*, vol. 12, n° 1, pp. 1-47.
- MANGEMATIN, V. et PEERBAYE A. (2004), « Les grands équipements en sciences de la vie : quelle politique publique ? », *Revue Française d'Administration Publique*, vol. 112, n° 4, pp. 705-718.
- MARCH, J. G. (1991a), "Exploration and exploitation in organizational learning", *Organization Science*, vol. 2, n° 1 pp. 71-87.
- MARCH, J. G. (1991b), "How Decisions Happen in Organizations", *Human Computer Interaction*, vol. 6, n° 2, pp. 95-117.
- MOORE, J. F. (1993), "Predators and prey: a new ecology of competition", *Harvard Business Review*, May-June, pp. 75-86.
- OSTERWALDER, A., PIGNEUR, Y. et TUCCI, C. L. (2005), "Clarifying Business Models: Origins, Present, and Future of the Concept", *Communications of the Association for Information Systems*, vol. 16, Article 1, pp. 2-40.
- SHINN, T. (2005), "New sources of radical innovation: research-technologies, transversality and distributed learning in a post-industrial order", *Social Science Information*, vol. 44, n° 4, pp. 731-764.
- SHINN, T. et JOERGES, B. (2002), "The transverse science and technology culture, dynamics and roles of research-technology", *Social Science Information*, vol. 41, n° 2, pp. 207-251.
- SIMOULIN, V. (2012), *Sociologie d'un grand équipement scientifique. Le premier synchrotron de troisième génération*, coll. « Sociétés, Espaces, Temps », ENS Éditions, Lyon.
- SIMOULIN, V. (2012), « Les ressorts de la flexibilité instrumentale, elle-même support de l'interdisciplinarité », *Revue Européenne des Sciences Sociales*, vol. 50, n° 2, pp. 67-92.
- SOLEIL (2010), *Synchrotron Highlights 2010*, [www.synchrotron-soleil.fr](http://www.synchrotron-soleil.fr).
- SOLEIL (2011), *Synchrotron Highlights 2011*, [www.synchrotron-soleil.fr](http://www.synchrotron-soleil.fr).
- SOLEIL (2012), *Synchrotron Highlights 2012*, [www.synchrotron-soleil.fr](http://www.synchrotron-soleil.fr).
- TEECE, D. J. (2010), "Business Models, Business Strategy and Innovation", *Long Range Planning*, vol. 43, n° 2-3, pp. 172-194.