

Émergence des connaissances liées à l'éco-innovation : l'orientation des savoirs conduite par le concept d'avion vert

Knowledge emergence related to eco-innovation: knowledge orientation driven by the green aircraft concept

Guillaume Blum^{1,2,3}, Mehran Ebrahimi⁴

¹ École de design de l'Université Laval, Québec, Canada, guillaume.blum@design.ulaval.ca

² Groupe design, innovation et humanismes

³ Centre interuniversitaire de recherche sur la science et la technologie (CIRST), Montréal, Québec, Canada

⁴ École des sciences de la gestion, Université du Québec à Montréal, Montréal, Québec, Canada, ebrahimi.mehran@uqam.ca

RÉSUMÉ. Cet article décrit et analyse l'impact du travail cognitif autour d'une éco-innovation sur les pratiques de gestion des connaissances, notamment en termes de réorientation des savoirs. Il traite des questions suivantes : quelles spécificités aux connaissances environnementales dans le secteur aéronautique ? Ont-elles un impact sur le processus de formation des connaissances ?

Les résultats présentés sont basés sur une enquête menée dans le secteur aéronautique sur cinq années sur le thème de l'avion vert. Les données proviennent d'un corpus important de documents ainsi que d'entrevues avec 29 acteurs clés de la grappe aéronautique québécoise.

Les résultats et l'analyse décrivent les connaissances environnementales liées aux éco-innovations comme trop souvent invisibles, parce que non observées, avec notamment d'importantes difficultés à faire saisir les ordres de grandeur. L'organisation des connaissances est différente, et nécessite une forme de subtilité des connaissances vertes. Lorsque ces connaissances sont plus complexes, elles nécessitent de nouveaux modes d'organisation pour faire relever leur plus grande multidisciplinarité.

L'orientation des connaissances, liée aux valeurs des individus, est modifiée par 1) la volonté organisationnelle, 2) les échanges intergénérationnels, 3) l'excitation de la découverte et 4) le rôle indirect du gouvernement.

Dans une dernière partie, on observe qu'en ajoutant de nouvelles contraintes, le processus de gestion des connaissances amène à de nouvelles solutions. La dimension environnementale s'intègre dans tout le cycle de développement et de production, et de nouveaux critères s'ajoutent à la phase de conception, permettant d'énergiser les « ba », et la modification de la dynamique industrielle d'organisation du travail.

ABSTRACT. This article describes and analyzes the impact of cognitive work around eco-innovation on knowledge management practices, particularly in terms of reorientation of knowledge. It addresses the following questions: what are the specificities of environmental knowledge in the aeronautical sector? Do they have an impact on the knowledge development process?

The results presented are based on five years of research conducted in the aircraft sector on green aircraft. The data comes from a large body of documents as well as from interviews conducted with 29 key players in Quebec's aerospace industry. The results and the analysis describe environmental knowledge related to eco-innovations that is too often invisible, because it is not observed and has significant difficulties especially in capturing orders of magnitude. Therefore, the organization of knowledge is different and requires a subtle form of green knowledge. In fact, when this knowledge is more complex, it requires new modes of organization to recognize their greater multidisciplinarity.

The orientation of knowledge, linked to the values of individuals, is modified by 1) organizational will, 2) intergenerational exchanges, 3) excitement of discovery and 4) the indirect role of the government.

In the last part, we observe that by adding new constraints, the knowledge management process leads to new solutions. The environmental dimension integrates development and production cycles, and new criteria are added to the design phase to energize the “ba” and to change the industrial dynamics of work organization.

MOTS-CLÉS. Orientation des savoirs, formation des savoirs, création de connaissances, connaissances environnementales, éco-innovation, avion vert.

KEYWORDS. Knowledge orientation, knowledge development, knowledge creation, environmental knowledge, eco-innovation, green aircraft.

Cet article décrit et analyse l'impact du travail cognitif autour d'une éco-innovation sur les pratiques de gestion des connaissances, notamment en termes de réorientation des savoirs. Il traite des questions suivantes : Y a-t-il des spécificités aux connaissances environnementales dans le secteur aéronautique, et si oui, lesquelles ? Ont-elles un impact sur le processus de formation des connaissances ?

Dans cette étude, les résultats présentés sont basés sur une enquête menée dans le secteur aéronautique québécois sur cinq années sur le thème de l'avion vert. Les données proviennent d'un important corpus de documents ainsi que d'entrevues avec 29 acteurs clés de la grappe aéronautique québécoise.

Les résultats et l'analyse décrivent les connaissances environnementales liées aux éco-innovations comme trop souvent invisibles, parce que non observées, avec notamment d'importantes difficultés à faire saisir les ordres de grandeur. L'organisation des connaissances est différente, et nécessite une forme de subtilité des connaissances vertes, notion qui a émergé du terrain et qui sera discutée dans la section 3.1. Lorsque ces connaissances sont plus complexes, elles nécessitent de nouveaux modes d'organisation pour faire relever leur plus grande multidisciplinarité.

L'orientation des connaissances, liée aux valeurs des individus, est modifiée par 1) la volonté organisationnelle, 2) les échanges intergénérationnels, 3) l'excitation de la découverte et 4) le rôle indirect du gouvernement.

Dans une dernière partie, on observe qu'en ajoutant de nouvelles contraintes, le processus de gestion des connaissances amène à de nouvelles solutions. La dimension environnementale s'intègre dans tout le cycle de développement et de production, et de nouveaux critères s'ajoutent à la phase de conception, permettant d'énergiser les « ba », et la modification de la dynamique industrielle d'organisation du travail.

1. Revue de littérature

1.1. L'éco-innovation ou innovation verte

Le concept d'éco-innovation a commencé à être utilisé par Fussler et James en 1996. Elle est définie comme « de nouveaux produits et procédés qui créent de la valeur pour les consommateurs et les entreprises tout en diminuant de manière non négligeable leurs répercussions environnementales » [FUS 96]. L'éco-innovation ou innovation verte correspond à une innovation visant à protéger l'environnement. On la définira suivant l'OCDE comme « une innovation se traduisant par une diminution — fortuite ou intentionnelle — de l'incidence environnementale » [OCD 10].

C'est la finalité de l'éco-innovation qui la distingue de l'innovation traditionnelle ou générique. Pour Debref [DEB 12], elle ne se distingue que sur ce point, mais pas dans ses modalités d'émergence ni d'évolution. On peut toutefois se poser la question de l'influence de ces dernières sur l'orientation des connaissances et les modes de gestion des connaissances. Pour les experts de l'OCDE, l'éco-innovation ne se limite pas à une innovation appliquée à des produits, des procédés, des méthodes de commercialisation ou d'organisation. Elle va plus loin en englobant également l'innovation portant sur les structures sociales et institutionnelles. Ainsi, l'éco-innovation « peut dépasser les frontières organisationnelles classiques de l'entreprise innovante pour englober une sphère sociétale plus large » [OCD 10].

On peut distinguer trois dimensions aux activités d'éco-innovation [OCD10] : 1) Les objectifs correspondant aux domaines cibles de l'éco-innovation : produits, procédés, méthodes de commercialisation, organisations et institutions. 2) Les mécanismes visant les modalités des

changements apportés aux objectifs : la modification, la reconception, les solutions de substitution et de création. 3) Les impacts, c'est-à-dire les effets de l'éco-innovation sur l'environnement.

Rennings et Zwick en 2003 (cité dans [OCD 10]) recensent cinq facteurs favorisant l'éco-innovation : la réglementation, la demande des utilisateurs, la conquête de nouveaux marchés, la réduction des coûts et l'image. Ashford décrit les mesures suivantes : 1) des initiatives réglementaires, entre autres à réduire le risque, à orienter l'effort vers des objectifs appropriés, à réduire les sources d'émission, à coordonner les politiques industrielles énergétiques et environnementales, à réguler le design en direction des technologies souhaitées, à établir des standards. 2) À offrir une assistance technique aux entreprises, 3) à établir des instruments économiques (taxes, une responsabilisation financière), 4) à favoriser la participation des parties prenantes, notamment les citoyens et les travailleurs, 5) à définir une politique internationale [ASH 93].

À l'inverse, on retrouve différents obstacles aux éco-innovations. Le plan d'action de la Commission européenne en faveur des écotecnologies recense cinq facteurs limitatifs : 1) les obstacles économiques, car les prix du marché ne reflètent pas les coûts externes des éco-innovations, et les investissements dans les technologies environnementales peuvent avoir un coût plus élevé parce que perçus comme risqués, nécessitant une mise de fonds initiale importante ou qu'un passage des technologies classiques aux écotecnologies complexe. 2) Les règlements et normes peuvent freiner l'innovation lorsqu'ils sont trop flous ou trop détaillés. À l'inverse la législation bien pensée peut stimuler les éco-innovations. 3) Une insuffisance des efforts de R&D, conjuguée au fonctionnement inadapté des systèmes de R&D et aux carences de l'information et de la formation. 4) Un manque de capital-risque pour concrétiser un projet d'éco-innovation au niveau de la chaîne de production. 5) Une insuffisance de la demande sur le marché, tant de la part du secteur public que des consommateurs [ETA 04].

Ashford dresse sept types d'obstacles : les obstacles technologiques, financiers, relatifs à la force de travail, législatifs, relatifs aux consommateurs, relatifs aux fournisseurs, et les obstacles managériaux. Dans cette dernière catégorie, il note un manque d'appui de la haute direction, un manque de coopération de l'ingénierie pour casser les barrières hiérarchiques, de la réticence à changer les principes sur laquelle s'est construite l'organisation, un manque d'éducation, d'exercice et de motivation des employés, un manque d'expertise des superviseurs [ASH 93].

On retrouve quatre types d'enquêtes sur les éco-innovations : la mesure des intrants, la mesure des extrants intermédiaires, la mesure des extrants directs, la mesure des incidences indirectes, les enquêtes de grande envergure, les enquêtes par panel et les enquêtes à petite échelle [OCD 10]. La présente recherche rentre dans cette dernière catégorie. Selon le rapport de l'OCDE, ces dernières ont comme avantage de permettre de traiter de façon beaucoup plus approfondie l'éco-innovation, et de poser des questions sur de nombreux aspects de l'éco-innovation. Cet article s'intéresse à une éco-innovation particulière qu'est l'avion vert comme la section suivante l'illustre.

1.2. L'avion vert comme innovation verte relevant de l'écoconception

Bien que celle-ci ne soit pas exclusive, on s'intéressera plus spécifiquement aux éco-innovations relevant de l'écoconception c'est-à-dire de « l'intégration systématique des considérations environnementales dans la conception du produit et de son processus de réalisation » en prenant en compte tout le cycle de vie du produit (Knight et Jenkins traduit par Deniaud et al. [DEN 12]). En effet, « l'écoconception fait partie de l'éco-innovation. Elle est concentrée sur des produits, étant orientée plus vers les innovations technologiques » (Rubik, 2001 cité par Deniaud [DEN 12]).

Pour Deniaud et al., l'écoconception a quatre spécificités, en terme 1) de cycle de vie à prendre en considération, 2) de système ouvert impliquant un plus grand nombre de participants et de parties prenantes, 3) de besoins spécifiques en termes de processus, de retrait de service et de recyclage, 4) de

complexité accrue dans la définition du besoin, sa conception du produit, et l'organisation à mettre en place [DEN 12].

Knight et Jenkins proposent quatre niveaux d'écoconception : 1) l'amélioration incrémentale ; 2) le re-design ; 3) la définition d'un nouveau concept de produit ; 4) une nouvelle organisation du système [KNI 09]. Charter et Chick distinguent quatre modes d'écoconception : 1) le *Re-PAIR* (réparation) qui vise à modifier l'action néfaste de l'innovation pour réduire son impact négatif. 2) le *Re-FINE* (raffinement) qui vise à modifier la conception pour intégrer des améliorations environnementales en modifiant le cahier des charges. 3) Le *Re-DESIGN* (re-conception) cherche à modifier le design général de l'innovation pour prendre en compte très en amont les contraintes environnementales. 4) Le *Re-THINK* (repenser) vise à l'élimination des impacts environnementaux négatifs, en comblant le besoin du produit ou service selon une reconceptualisation alternative (voir la figure 1) [CHA 97].

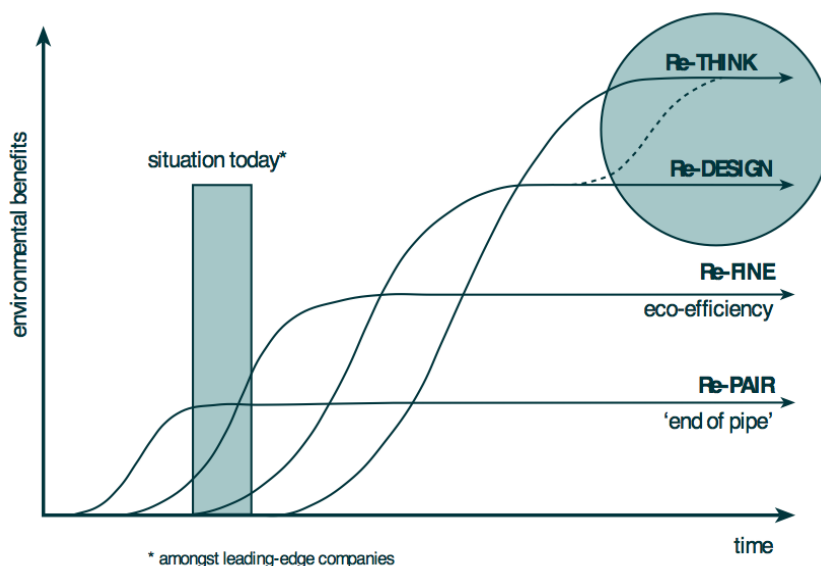


Figure 1. Le modèle à quatre étapes de l'écoconception [CHA 97]

Pour illustrer ces quatre niveaux, on pourrait donner les exemples suivants dans le secteur aéronautique : le *Re-PAIR* correspondrait à l'achat de crédit carbone par l'utilisateur de l'avion, le *Re-FINE* viserait à adopter des matériaux plus légers pour moins consommer de carburant, le *Re-DESIGN*, consisterait à re-concevoir le design général de l'avion afin de le rendre plus aérodynamique, le *Re-THINK* à développer les trains à grande vitesse comme alternative à l'avion sur les courtes et moyennes distances.

En termes de processus, Brezet et al. distingue huit stratégies d'écoconception : le choix des matériaux, la réduction de la masse des matériaux, les techniques de production propres, l'optimisation de la distribution, l'extension de la durée de vie, la limitation des impacts durant l'utilisation, l'optimisation en fin de vie, l'usage de nouveaux concepts [BRE 97].

L'avion vert comme éco-conception

Si l'on cherchait à synthétiser les grandes étapes de l'aéronautique, on pourrait, dans la continuité du travail de Zhegu sur le cycle de vie de l'industrie aéronautique, distinguer trois temps historiques auquel s'ajoute un quatrième encore embryonnaire. Un premier temps d'émergence (1900-1945), à la recherche de la construction d'un avion fiable, reposant sur une dynamique centrée autour des entrepreneurs. A suivi un deuxième temps (1945-1975) de croissance, centré sur un objectif de puissance et reposant sur une dynamique étatique. Puis, dans un troisième temps (1975-2010), l'industrie a vécu une phase de restructuration/globalisation, centrée sur un objectif de baisse de coût,

reposant sur une dynamique concurrentielle [ZHE 07]. Enfin, depuis quelques années, on observe l'émergence d'un quatrième temps qui serait centré sur un avion vert, plus écologique [BLU 14].

Cet avion vert a un ensemble d'objectifs environnementaux, s'inscrivant entre autres dans la lignée de la résolution A37-19 de l'organisation de l'aviation civile internationale (OACI), établissant notamment une amélioration de 2% par an d'ici 2050 de l'efficacité du fuel utilisé et une stabilisation des émissions de CO₂ jusqu'en 2020 [OAC 10]. En ce sens, l'avion vert relève de l'écoconception, et touche principalement les trois premiers niveaux d'écoconception (Re-PAIR ; Re-FINE ; Re-DESIGN).

On définira l'avion vert comme « une éco-innovation, visant à réduire l'empreinte environnementale des aéronefs, notamment en diminuant leurs émissions globales, locales et sonores, en consommant une quantité limitée de carburant, en limitant l'usage de matériaux et procédés dangereux ou rares, et étant recyclables en fin de vie. Il répond à des critères définis par ses parties prenantes, nécessitant un arbitrage afin d'aboutir à un ensemble de compromis environnementaux, économiques, technologiques, humains et sociaux acceptables par les acteurs. Il a pour causes un ensemble de facteurs exogènes (réglementation, clients, concurrence, nouveaux entrants, société) et endogènes (intérêts des individus, des organisations, de l'industrie) et représente à la fois un avion plus efficace et un idéal inatteignable d'avion totalement propre. Il nécessite pour sa conception et sa réalisation un ensemble de pratiques managériales spécifiques » [BLU 14].

Cet avion vert correspond à un grand projet regroupant un ensemble de projets reliés ou indépendants les uns des autres, nécessitant le développement de connaissances spécifiques pour s'inscrire dans la lignée de l'avion vert.

1.3. Connaissances et gestion des connaissances

Les Grecs considéraient neuf formes de savoir qu'étaient l'*eidos* qui se réfère à la validité, la *doxa* qui représente les opinions et croyances, la *noésis* se référant à la vérité, la *pistis* représentant la connaissance provenant d'abstraction, l'*épistémè* désignant la connaissance abstraite généralisante, la *techné*, connaissance permettant l'accomplissement d'une tâche, la *phronesis* où sagesse sociale, la *mètis*, connaissance proche de la ruse, du flair et la *noûs* relevant de l'intuition [BEE 00, SCH 06].

Courant du XXe siècle, Polanyi propose de distinguer les connaissances explicites et tacites [POL 66]. La connaissance explicite correspond à une connaissance mesurable, exprimable aisément en mots ou en chiffres, et donc plus propice à la codification. La connaissance tacite est ce qui est connu, mais difficilement exprimable. C'est ce qui fait dire à Polanyi que « nous savons plus que nous pouvons exprimer ». Ainsi, il n'est pas nécessaire de savoir expliquer faire du vélo par des matrices inertielles pour savoir effectivement en faire. Elle s'avère en effet extrêmement pratique tant dans la compréhension que dans l'action.

Collins précise la distinction de Polanyi en différenciant trois types de connaissances tacites : 1) les connaissances tacites relationnelles (RTK pour *Relational Tacit Knowledge*), à savoir les choses que nous pouvons décrire si quelqu'un nous pousse à faire l'effort de les décrire. Elles sont développées au contact des autres, et donc le niveau le plus intéressant pour les observer est le groupe. 2) Les connaissances tacites somatiques (STK pour *Somatic Tacit Knowledge*) représentent les choses que nous savons faire à travers nos gestes, mais que nous ne pouvons pas décrire. Elles sont liées à l'individu. 3) Les connaissances tacites collectives (CTK pour *Collective Tacit Knowledge*) qui sont issues d'un savoir collectif (comme les règles de langage). Ces connaissances relèvent du niveau sociétal [COL 10].

Le terme de connaissance environnementale est utilisé pour traiter de connaissances de différentes natures (scientifiques, technologiques, économiques, etc.) traitant spécifiquement d'environnement selon une finalité téléologique.

Intégrant les dimensions tacites et explicites du savoir (axe épistémique) et les dimensions individuelles et collectives (axe ontologique), Nonaka décrit le processus de création de connaissances SECI [NON 94]. La création de connaissances y est décrite comme individuelle et collective dans un processus en spirale organisé en quatre étapes. 1) La socialisation (passage de savoirs tacites entre individus : il s'agit d'un processus de partage d'expériences créant de la connaissance tacite, se faisant souvent sur un mode informel. 2) L'extériorisation : c'est un processus d'articulation de savoirs tacites en concepts explicites, notamment à travers l'usage de métaphores et d'analogies, d'hypothèses ou de modèles. 3) La combinaison est un processus de systématisation de concepts en un système de connaissances, qui combine différents corps de connaissances explicites. Elle permet de véhiculer du savoir explicite entre individus. La combinaison s'effectue à travers des médias tels les réunions, conversations, etc. 4) L'intériorisation, qui est un processus d'incorporation de connaissances explicites en connaissances tacites propres aux individus. L'intériorisation est étroitement liée à l'apprentissage en faisant. Il s'agit plutôt d'ensembles de phénomènes liant individus et groupes, se réalisant de manière simultanée et hybride.

L'espace de partage nécessaire est qualifié par Nonaka et Konno de « ba » [NON 98]. Il s'agit du lieu virtuel ou non où la connaissance émerge que Créplet qualifie de fondement des mécanismes liés à la connaissance [CRÉ 99]. Le concept japonais de ba fait référence à un espace partagé, qui peut être physique, virtuel ou mental. Le ba est une plateforme d'émergence de connaissances collectives. Il est défini « comme un contexte partagé en mouvement. À travers les interactions avec les autres et l'environnement, aussi bien le contexte du ba que ses participants croissent. Les nouvelles connaissances sont créées à travers ces changements dans des contextes et significations » [NON 05, p. 428, traduction libre]. Plusieurs ba mis en commun forment un « basho », où le processus de création est amplifié par rapport au ba. Le basho forme le « ba des ba » : alors que le ba est composé d'individus, le basho est composé de ba. Il s'agit donc d'un lieu-frontière d'échange de savoir entre individu (ba) ou entre communautés de savoir (basho). Pour Nonaka et Konno, la connaissance sans ba n'est pas de la connaissance, mais de l'information, montrant l'importance du ba pour donner un sens à cet espace de partage.

2. Cadre théorique et méthodologique

2.1. Cadre théorique

Au terme de cette courte revue de littérature, on observe trois objets : 1) L'avion vert, un cas spécifique d'éco-innovation relevant de l'écoconception. 2) Les connaissances environnementales et plus spécifiquement leur développement qui permettent d'aboutir à l'écoconception nécessaire. 3) D'éventuelles pratiques spécifiques de gestion des connaissances spécifiques au contexte d'écoconception.

On limitera le cadre d'observation au sein du système de R&D, c'est-à-dire à « l'entité en charge de la recherche et du développement au sein d'une entreprise » [BLU 14]. L'objectif de celui-ci est de produire des connaissances visant à établir des innovations technologiques. Les différents systèmes de R&D des organisations et institutions d'une industrie constituent le système de R&D de l'industrie en question. Le système de R&D constitue le système orientant la recherche et le développement d'une organisation, ainsi que le mode par lequel elles s'organisent pour arriver à leurs fins. Son objectif est la production de connaissances et de technologie visant à arriver à de l'innovation au sein de l'entreprise.

On peut supposer que l'éco-innovation avion vert se construit à partir de connaissances environnementales, elles-mêmes développées à partir de pratiques génériques et spécifiques de gestion des connaissances. On peut également supposer que l'éco-innovation avion vert est lui-même à la base de cette gestion des connaissances. La figure 2 représente ce cadre théorique.

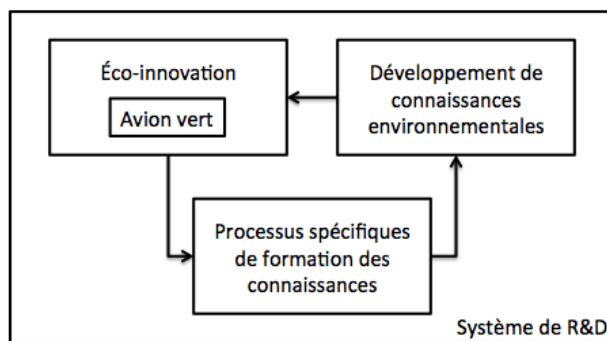


Figure 2. Cadre théorique

2.2. Méthodologie

L'approche méthodologique relève d'une démarche interprétative reposant sur des postulats épistémologiques constructivistes, c'est-à-dire où l'on postule une construction de la réalité à travers le regard que porte les acteurs sur celle-ci [BER 12], issue du courant philosophique de la phénoménologie, visant à comprendre le vécu des acteurs pour en saisir la subjectivité et par là même le corpus de savoirs et de sens qui y sont attachés [HUS 63].

Les résultats présentés sont basés sur une enquête menée dans le secteur aéronautique entre 2008 et 2012 sur le thème de l'avion vert. Les données proviennent d'un corpus important de documents (publics, semi-publics et privés) ainsi que d'entrevues avec 29 acteurs clés de la grappe aéronautique québécoise travaillant dans la R&D à différents niveaux et dans différentes entreprises. Ces acteurs ont été sélectionnés sur la base de leur haut niveau d'implication dans des projets de R&D reliés à l'avion vert. Il s'agit de cadres supérieurs / haute direction (24 %), de gestionnaires intermédiaires (45 %) et d'ingénieurs / chercheurs / analystes (31 %). Un ensemble d'entrevues a été effectué avec ces acteurs, basé sur des entrevues semi-dirigées autour de quatre thèmes : les pratiques de gestion, la gestion des connaissances, l'avion vert et les pratiques de collaboration. Les entrevues ont par la suite été retranscrites. À partir de *verbatim* et des documents récupérés, une analyse a été réalisée sur la base d'une théorisation ancrée [GLA 67, STR 90], et validé avec des critères de qualité visant les quatre critères établis par Lincoln et Gubba dans le cadre d'une démarche interprétative et herméneutique à savoir 1) d'être crédible, 2) d'avoir une construction transférable, 3) une certaine dépendabilité, et 4) une confirmabilité [LIN 85]. Le tout a été réalisé en suivant des critères de confidentialité et de considérations éthiques assurant l'anonymat des personnes et des entreprises.

3. Résultats et analyse

3.1. Les connaissances environnementales (au sens écologique)

Les connaissances environnementales n'ont pas été développées pendant de nombreuses années dans le secteur aéronautique, ce qui peut paraître surprenant, certainement en lien avec les valeurs propres au système économique. Historiquement, ces connaissances n'ont pas été développées en tant que telles sauf sous l'angle de la diminution des coûts. « Ce n'était pas une décision consciente de l'ignorer. Je pense que les gens n'y ont pas vraiment pensé. Cela n'était pas dans leur état d'esprit, dans leur façon de penser, comme cela l'est maintenant devenu ». Ces connaissances sortent également du domaine traditionnel du système de R&D, s'intéressant uniquement aux connaissances techniques, ce qui n'est pas nécessairement le cas avec les connaissances environnementales. « Tu peux sortir tellement de l'innovation technique. On se rend compte qu'il y a une très grande variabilité de connaissances en termes d'analyse environnementale ».

Ces connaissances environnementales poussent souvent les acteurs à s'interroger sur les grandes questions environnementales, comme l'énonce cet ingénieur : « Ça m'intéresse. J'avoue que l'écologie

en savoir un peu plus ça m'intéresserait ». Avec ces changements de valeurs, et le changement de connaissances qui en découle, l'un des enjeux relevés par les acteurs consiste à faire prendre conscience des ordres de grandeur et de l'importance environnementale auprès de leurs collègues qui n'ont pas encore modifié leurs pratiques et leurs conceptions, souvent à l'extérieur du système de R&D.

« En termes de vocabulaire, c'est complexe de travailler sur des projets verts. Parce que l'empreinte écologique, ce n'est pas clair pour tous. Pour certains, c'est diminuer, réduire la quantité de matériel *end-of-life*. Ou les opérations. Ou la manutention. Beaucoup de gens ne voient les choses que sous un angle, et pas autrement. Le problème, c'est de faire comprendre aux gens les vrais enjeux, sans faire de bourrage de crâne. À titre d'ordre de grandeur, un vol, c'est 42 litres par minute, soit 2 500 litres par heure. Un vol transatlantique, c'est 20 000 litres ! Et il y a des légendes urbaines. Par exemple, travail en Asie = enfants esclaves. Que nos fournisseurs utilisent des produits toxiques. Ou dans l'autre sens : des gens qui pensent que nos pièces voyagent toujours par bateau, alors qu'en réalité ça voyage souvent par avion. Il faut démystifier ».

Pour cela, plusieurs indicateurs sont développés afin de simplifier la prise de conscience de ces enjeux et ordres de grandeur, mais souvent sur la base d'initiatives individuelles. « C'est quoi une tonne de carbone ? Ça prend combien d'oxygène, c'est quoi la masse ? Un avion brûle combien d'essence ? C'est quoi le multiplicateur par litre d'essence qui va donner des tonnes de carbone ? C'est une espèce de champ de connaissances ».

Plus que des connaissances d'une nature différente, plusieurs acteurs ont précisé que c'était l'architecture de celles-ci qui changent, la manière dont elles sont articulées, notamment pour les connaissances tacites. Un des acteurs interrogés, responsable de R&D amène la notion de subtilité de ces connaissances que l'on reprendra.

« Les disciplines sont probablement les mêmes, mais pas la subtilité avec laquelle les associer [...] Il y a une subtilité dans leur sélection, même si le nombre total de disciplines pour les interactions sont les mêmes. Toutefois, la hiérarchisation et le critère de décision sont différents. En fait, on pourrait dire nettement différente ».

Ces connaissances s'assemblant différemment requièrent un apprentissage qui ne va pas nécessairement de soi, car touchant aux valeurs. De ce point de vue, plus que pour d'autres connaissances, la collaboration autour de questions environnementales permet d'apprendre des pratiques des autres sur la nature et l'architecture de ces connaissances.

« Je crois que la difficulté avec les initiatives écologiques quand on part d'un niveau peu élevé, c'est qu'il n'y a pas d'expert, et qu'on essaye d'obtenir ou de créer un niveau de compétences, de l'aisance avec ces initiatives écologiques. C'est difficile. Nous pouvons essayer de le construire, et apprendre de nos erreurs. Mais les projets verts sont plus subtils, moins tangibles... Établir ce niveau ou cette façon de penser, les capacités en termes de compétences, lorsqu'on n'a pas une bonne base pour cela, ou tout autre fondement, c'est un défi. En termes de gestion des connaissances, ce que nous faisons en tant qu'entreprise avec [les consortiums de recherche], cela nous permet de nous comparer avec les autres organisations ayant un niveau de compétence plus élevé dans ce domaine. On apprend d'eux et des universitaires. On aime à penser qu'ils apprennent de nous aussi, mais on tire des leçons d'eux. Il y a une sorte d'échange de bonnes pratiques : on apprend en observant ce qu'ils font. Nous accumulons des connaissances à partir des partenariats dans le cadre des programmes des consortiums. C'est ce que nous devrions faire.

Donc, en termes de pratiques de gestion des connaissances, pour quelqu'un qui a seulement travaillé sur du métal, s'il travaille en collaboration avec de bonnes personnes

dans les matériaux composites, il va apprendre des choses. S'il a les bons collaborateurs au sein de son entreprise avec les autres partenaires industriels, il peut commencer à construire une expertise dans les matériaux composites.

Les enjeux environnementaux sont plus compliqués, plus subtils, parce que moins tangibles. C'est plus cérébral en quelque sorte, mais si on a les bonnes personnes, qui sont enthousiastes et qui veulent apprendre et augmenter leurs compétences dans le domaine environnemental, cette façon de penser, si on peut les exposer aux bons programmes, au bon moment, avec les bons universitaires et les bons partenaires industriels, si on suit ce chemin, et bien on commence vraiment à construire des compétences. Mais clairement, je pense que le vert, c'est plus difficile parce que ça va moins de soi et requiert de la subtilité ».

Cette notion de subtil s'oppose et contre-balance celle de l'utile pour l'équilibrer. Ainsi, pour Chabot,

« le subtil est d'abord un état d'esprit. De même que l'utile est une relation au monde faire de calcul, d'action et d'organisation, qui transforme le réel en un ensemble de moyens, le subtil est un rapport à l'être qui privilégie la finesse ; le discernement, la sensibilité aux signes et aux détails discrets y sont déterminants. Il concerne ce qui est difficile à définir, en raison d'un caractère complexe. Pascal, en distinguant l'esprit de finesse et l'esprit de géométrie, est un de ceux qui s'est le plus approché de l'utile et du subtil. À la connaissance mathématique qui n'a en vue que les principes généraux et les impose partout sans égard, il oppose une connaissance concrète, qui par de chaque existence et en respecte les spécificités » [CHA 05, p.60-61].

Conséquence de cette « subtilité », il est parfois dur de mettre en place des distinctions nettes entre ce qui est vert et ce qui ne l'est pas. Comme dans les autres disciplines utilisant le savoir scientifique — sur une base positiviste —, une connaissance est considérée comme vraie jusqu'à ce qu'elle soit invalidée. Et les connaissances évoluant rapidement, un projet est vert jusqu'à ce qu'il ne le soit plus. Les zones de gris sont importantes, et on peut remplacer une technologie polluante par une autre moins polluante sur cette même dimension, mais plus sur une autre. S'agit-il alors d'une amélioration ? C'est justement à travers cette subtilité mise en avant par ce responsable que l'on peut le déterminer.

« Par exemple, on travaille sur un projet pour remplacer le plaquage au chrome par un plaquage au zinc, qui est supposé être plus vert. Jusqu'à tant qu'on trouve quelque chose qui va être moins vert dans ce procédé-là. Mais oui, parce que le vert est toujours temporaire. On a un impact, mais il est peut-être moindre, jusqu'à tant qu'on prouve qu'il est peut-être plus important que prévu ».

La question de la complexité des connaissances environnementales mérite d'être précisée. En effet, Antonelli considère l'innovation comme la propriété émergente d'un système caractérisé par une complexité organisée [ANT 11, p.3]. Or, tous les acteurs ne s'entendent pas sur la question d'une plus grande complexité de ces connaissances environnementales. La réponse donnée par les personnes interviewées sur la complexité liée aux projets verts est souvent tortueuse. Sont-ils vraiment plus complexes ?

« Non pas forcément. Enfin je dis non je devrais être plus nuancé. Pas forcément (rire) heu... Oui pour certains aspects ».

Si on compare avec les pratiques avant l'arrivée des connaissances environnementales, plusieurs acteurs ont remarqué une différence nette. « [Avant] t'avais une équipe t'étais tranquille, tu ne pensais pas ».

Ainsi, les deux avis présents correspondent à des connaissances tout aussi complexes. Et là, c'est le regard de l'acteur qui change plutôt que la nature de la connaissance en tant que telle.

« Je ne crois pas que ce soit plus complexe, mais c'est l'état d'esprit, les choses que l'on recherche, les caractéristiques qui sont différents. C'est les paramètres d'une bonne conception *versus* une mauvaise conception qui ont changé ».

On retrouve des connaissances que les acteurs qualifient de « simples », mais passées inaperçues parce que personne n'a jamais étudié les problèmes posés à travers le prisme de l'environnement.

« Parfois des choses extrêmement simples sont meilleures pour l'environnement que d'autres. Ce n'est pas forcément, du point de vue technique, très élaboré, mais c'est juste qu'on n'y a pas pensé, tout simplement ».

Ces connaissances « simples » n'ont pas été développées car tout simplement non-investigées. C'est le regard qui est porté dessus qui est nouveau.

« Je pense au plaquage parce qu'on l'utilise dans l'industrie aéronautique, on utilise le cadmium pour protéger contre la corrosion etc. Historiquement il y a toujours le zinc qui a été utilisé entre la galvanisation qui était à je sais plus combien et s'est juste améliorée un peu pour remplacer le cadmium. Mais le remplacer un peu de manière à ce que pour l'environnement ça reste toujours bon. Et c'est bon. Il faut juste travailler un peu dessus et c'est tout. Donc juste penser quelque chose d'un peu plus *flyé* que ce qui existait avant c'est tout. C'est comme ça que ça peut évoluer. Partir vraiment de choses simples ».

On retrouve également des connaissances d'une nature plus complexe.

« [Développer des connaissances dans des projets verts,] ça demande plus de travail parce qu'il y a plus de points à regarder. Une connaissance plus complète, un niveau de complexité plus grand, une connaissance plus complète de ce qui est développé ».

Dans le cas où il s'agit de connaissances plus complexes, celles-ci n'ont pas été prises en compte précédemment car l'écosystème de développement de ces connaissances n'était pas développé au moment de leur création. Il peut s'agir de théories ou d'autres connaissances préalables qui n'avaient pas été développées et qui le sont aujourd'hui. Il peut également s'agir de connaissances nécessitant un outillage précédemment inexistant.

« On y pense parce que les technologies ont évolué, parce que les ordinateurs sont plus puissants, parce qu'on peut faire plus de modélisation, plus de simulations. Donc oui, ça va chercher tout ce qui est innovation technologique, pour aller penser autrement ».

Cet outillage informatique permet des développements nouveaux. Ces améliorations passent beaucoup par la simulation et la modélisation : « ça aide beaucoup beaucoup au développement de nouvelles technologies ». De ce point de vue, tant le matériel — augmentation de la puissance de calcul — que le logiciel — nouveaux logiciels, nouveaux algorithmes, nouvelles méthodes de calcul — permettent d'effectuer ces développements. Le logiciel prend une part de plus en plus importante dans le processus de R&D, et à travers lui l'enrôlement des ingénieurs, développeurs et mathématiciens développant les plateformes de simulation.

Que ce soit par un nouveau regard ou par l'utilisation d'outils nouveaux, travailler sur les connaissances environnementales amène à la redécouverte de connaissances perdues, oubliées qui sont alors retrouvées. Il arrive également que des processus existants soient compris alors qu'ils étaient utilisés sans en saisir vraiment le fonctionnement profond. En se posant des questions nouvelles, des réponses émergent du système de R&D.

« Ça, on l'a vu à plusieurs reprises. Pourquoi ? Parce qu'on essaie de remplacer un procédé qui existe, qui a satisfait tout le monde par un autre qui est justement plus vert. Mais on veut qu'il soit aussi bon, sinon meilleur que l'autre. Donc ça nous pousse à aller chercher. Et parfois on se rend compte qu'on est en train même d'étudier l'autre ! Parce que finalement on est allé avec un procédé qu'on pensait bon, mais on ne connaissait pas grand-chose de lui. On est allé avec parce que l'autre l'a fait. Et l'autre l'a fait parce que ... l'autre l'a fait. Finalement, la connaissance s'est perdue avec le temps. On ne sait pas pourquoi il est bon. Donc lorsqu'on fait le nouveau procédé et qu'on doit pousser, on est obligé à ce qu'il soit aussi bon sinon meilleur. Et oui, on se trouve en train de chercher, de comprendre des choses sur celui-là qu'on aurait du mettre de côté ! Et ça, ça nous est arrivé à plusieurs reprises. On est en train de redécouvrir celui qui n'était pas bon au niveau environnemental. On est en train de redécouvrir parce que justement les connaissances ont été perdues au fil du temps avec son utilisation en continu ».

Pour plusieurs acteurs, cette R&D en lien avec l'amélioration de l'empreinte environnementale de l'avion correspond à un changement d'ordre quant à leur complexité par rapport aux savoirs précédemment développés.

« Il y a eu une grosse révolution quand on est passé de l'avion en bois à celui en aluminium. Là, il y a des grands pas, comme le *fly by wire*, c'est un autre grand pas. [...] Au lieu que ce soit comme les avions en aluminium. C'était pas sorcier t'avais les *handbook* puis la structure c'était toujours pareil d'un avion à un autre. En 1990, un avion en aluminium, ce n'était pas différent d'un avion de 1950. Tu pouvais dire que t'allais avoir une complexité technologique pour certains détails, mais là on touche à tout, donc je pense que la complexité n'est pas sur le plan technique, c'est peut-être sur le fait que c'est beaucoup ».

La R&D actuelle se permet d'aller plus en profondeur, cherchant plus loin dans les causes des connaissances, un peu comme si les connaissances développées remontaient en amont par rapport aux connaissances précédemment développées, et interagissaient entre elles.

« Là il y a l'inter relationnel, [...] avant, avec ta structure, tu ne te posais pas de questions, c'était réglé. Tu peux travailler fort pour réduire le poids, mais il n'y a pas de complexité technologique liée à ça. Tandis que là, même dans ta structure tu as plein d'éléments complexes à prendre en compte. De façon globale, ça amène l'avion à une plus grosse complexité technologique ».

On a donc à la fois une augmentation de la complexité technologique et de la complexité combinatoire [CAR 98]. Par ailleurs, on note que le niveau de complexité n'est pas identique dans tous les domaines de l'industrie, parce que l'historique de recherche n'est pas le même. Par exemple, la recherche visant à limiter la consommation du moteur — qui a comme conséquence une baisse des émissions, mais aussi une baisse de la consommation et donc une meilleure autonomie et un coût moindre — fait partie des objectifs de R&D depuis les années 60. Aussi, l'effort marginal de R&D nécessaire au développement des connaissances pour une quantité d'amélioration identique est supérieur, car les acteurs de R&D ont d'abord été développer des connaissances là où elles ont l'impact environnemental le plus important ou là où pour un impact environnemental donné, l'effort en développement des connaissances était le moindre (voir l'illustration sur la figure 3). Les domaines où la recherche environnementale ne fait que débiter ont donc des marges de développement et des rendements d'efforts supérieurs, rendant la complexité marginale inférieure.

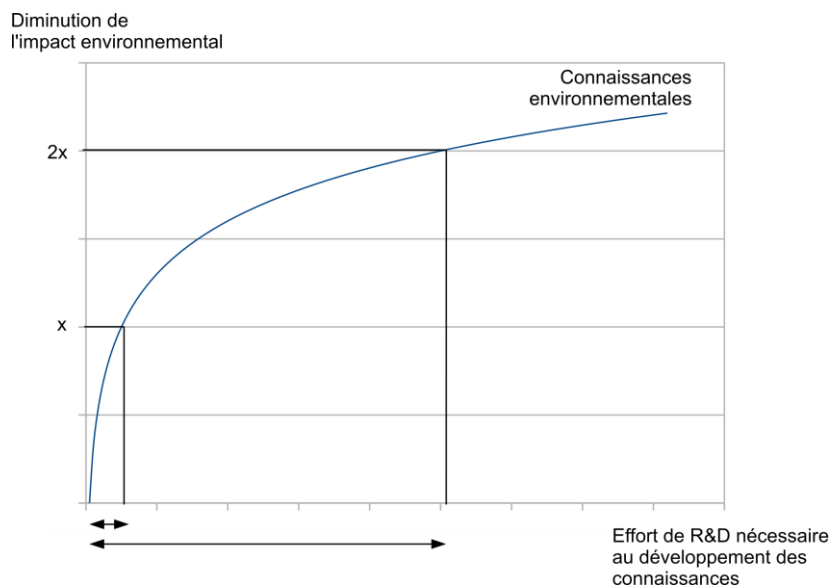


Figure 3. Représentation de l'effort marginal de R&D nécessaire au développement des connaissances nécessaires à une même diminution de l'impact environnemental

En considérant l'avion dans une perspective globale, les acteurs du système de R&D se retrouvent confrontés à un autre problème rajoutant encore à la complexité, à savoir déterminer quels critères privilégier, dans un contexte de temps et de ressources limités, et où les avancées dans un domaine peuvent représenter des régressions dans un autre.

« Quand t'es sur une démarche qui prend en compte différents niveaux d'impact et que tout ça doit être confronté aussi à ce que le marché est prêt à accepter. Quel est le coût de ce développement-là ? Et quel compromis tu dois effectuer ? C'est forcément complexe alors je ne sais pas si la dimension verte rajoute de la complexité, mais c'est plus la dimension multicritères qui est difficile. C'est vraiment difficile et d'y rajouter une pondération multicritères c'est difficile aussi. Est-ce que c'est plus important de réduire le bruit ? Ou c'est plus important de réduire la consommation d'essence ? Ou c'est plus important d'augmenter le potentiel de recyclabilité ? Ou *low cost* est plus important ? C'est difficile ».

Les connaissances sont plus multidisciplinaires, car elles touchent de nouveaux domaines jusqu'alors inexplorés, ou parce que c'est dans ces connaissances multidisciplinaires que l'on va chercher les gains marginaux. Mais également parce qu'on se rapproche plus d'une connaissance proche de la réalité en diminuant les approximations précédentes.

« [Les connaissances doivent être] plus multidisciplinaires et plus récentes dans certains cas. Parce que ça implique de la technologie. Lorsqu'un projet est plus écologique dans le fond, ça veut dire une meilleure compréhension de son rôle et des impacts. Et donc ça élargit le mandat, et cet élargissement souvent va demander des considérations autres que la discipline du centre ».

Dans l'analyse de ces connaissances, c'est toute la chaîne de connaissances, ses conséquences, son utilisation en action, les éléments interagissant avec elle.

« [Un projet vert,] ça prend en compte toute la chaîne de production, auxquels des projets typiques ne s'intéressaient pas. Ça prend aussi en compte... Par exemple au niveau du bruit. Tu sais, les populations avoisinantes à l'aéroport, ce n'est seulement la technologie ou le procédé qui est le point central. Ça prend en compte tout ce qui est périphérique qui peut être affecté par ça. La nature, oui c'est une pensée qui est plus globale que les projets traditionnels ».

Le fait de considérer cette chaîne de connaissances dans son ensemble implique une dimension multidisciplinaire et une collaboration avec tous les acteurs de cette chaîne, répartie sur un grand nombre d'entreprises. Cet élargissement de la chaîne de connaissances implique également un usage plus large desdits savoirs.

« Le fait que ce soit vert, le type de connaissances qui est généré va toujours être beaucoup plus large parce que tu ne peux pas développer ta pièce sans avoir couvert — tu ne peux pas toujours tout couvrir des aspects environnementaux —, mais tu vas t'interroger sur beaucoup plus d'aspects qu'auparavant, donc je pense que c'est beaucoup plus large ».

Les acteurs interrogés valident que les équipes visant à développer les connaissances soient de plus en plus multidisciplinaires : « je m'assois avec des gens qui travaillent dans des *buyer fuels*, il y en a qui font de la réduction de bruit, des ingénieurs acoustiques, des pilotes, des équipementiers, des fabricants de moteurs... l'avion vert c'est très pluridisciplinaire ».

Même si ce n'est pas facilement perceptible, et que plusieurs acteurs en ont le sentiment sans arriver à véritablement l'illustrer clairement, ce travail multidisciplinaire a tendance à modifier le processus de conception des connaissances pour s'adapter à leur nature, en adoptant une vue globale, holistique.

« Quand on dit toi qui est spécialiste en réduction de bruit ce que tu es en train de développer a peut-être des impacts positifs ou négatifs sur d'autres dimensions, que tu ignores totalement, parce que tu n'es pas spécialiste, parce qu'on n'a jamais tenu compte de ça, parce qu'on n'a jamais eu cette démarche holistique sur l'ensemble des thématiques. Et ça, ce n'est pas facile à introduire comme changement ».

Cela nécessite un travail d'équipe avec des compétences, des connaissances provenant de différentes disciplines, de différentes méthodes, de différents antécédents.

« Là t'as ceux qui conçoivent les pièces elles-mêmes, donc la structure en composite, puis là t'as besoin du spécialiste des interactions entre métal et composite. Le spécialiste d'électromagnétique. Lui, il faut qu'il soit en lien avec les gens d'avionique. Avant les gens de structure, ils ne parlaient pas aux gens de système embarqué ou d'électronique embarquée. Donc oui, je pense que c'est plus complexe. On aimerait le contraire... »

Ainsi, cette complexité des connaissances entraîne un recours à une plus grande multidisciplinarité, qui favorise le recours à des collaborations externes¹.

« [...] Personnellement, et c'est philosophique dans une certaine mesure, je dirais que les enjeux de collaboration associés à la multidisciplinarité sont vrais et importants pour les projets environnementaux ».

Cette augmentation de la complexité que l'on retrouve souvent en amont vise également une diminution de la complexité en aval, par exemple dans la fabrication de l'avion, son entretien ou son utilisation.

« Ils sont plus complexes au niveau de l'ingénierie, mais ne seront pas plus complexes une fois que ça sera rendu à l'assemblage. Ça va être des étapes de travail différentes, des méthodes avec des outils, un gros outillage différent, mais pas pour l'assemblage ».

On se retrouve donc avec des connaissances environnementales parfois plus simples, car elles sont à présent observées, ce qui n'était pas le cas auparavant, parfois plus complexes, dû à un effort marginal

¹ Cela amène à un troisième type de complexité. À la complexité technologique et combinatoire, décrites et analysées par Carrincazeaux et Lung [CAR 98], les formes contemporaines d'organisation en réseau amènent une complexité industrielle.

supérieur pour atteindre un effet équivalent, rendues possibles par une meilleure capacité à résoudre la complexité à travers les développements d'outils de simulation et de modélisation, ou de nouveaux modes d'organisation du travail. La figure 4 représente ces différentes explications.

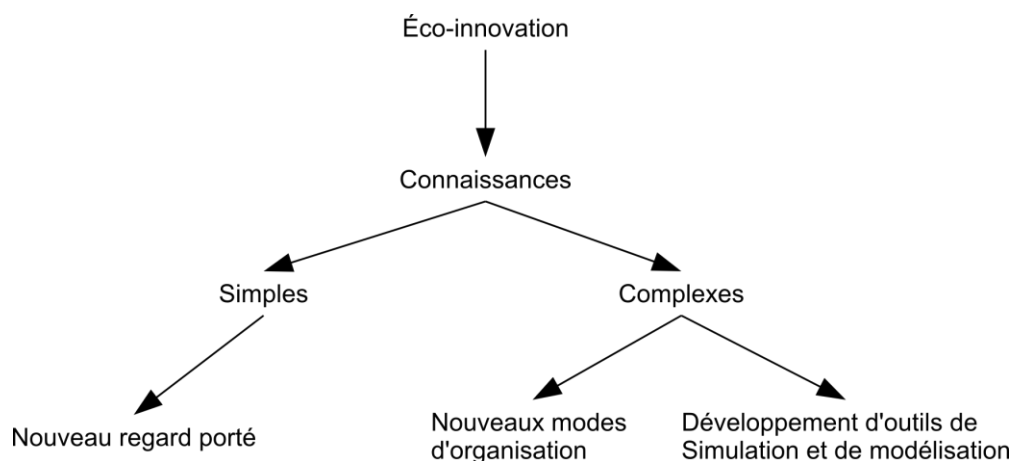


Figure 4. Connaissances simples, connaissances complexes liées à l'avion vert

Mais trop souvent, ces changements parfois radicaux en termes de connaissances s'inscrivent dans la continuité de la « façon de faire » des avions, correspondant à des innovations continues plutôt que de ruptures.

« Il y a comme un chemin, et dans le fond en aéronautique on suit le chemin, on fait des incréments, des améliorations. Je pense que pour faire vraiment un avion très vert, il faut des fois changer de chemin. Dans cette optique-là, c'est plus insécurisant, plus différent ».

3.2. Une nouvelle orientation des connaissances

Le niveau de connaissances environnementales peut être plus ou moins important selon les entreprises. Il est souvent peu élevé, avec des personnes n'ayant pas été sensibilisées à ces questions et méthodes lors de leurs études et dans leurs expériences professionnelles passées, assez loin des préoccupations écologiques. « J'avoue qu'au début j'étais un peu sceptique, genre Greenpeace qui font la promotion d'un rêve. Mais non, je constate qu'il y a vraiment des gains environnementaux à faire ».

Cela rend ce changement d'orientation difficile, car les personnes en R&D ne savent pas ce qu'elles ne savent pas, puisqu'il s'agit d'une orientation différente des connaissances de celles initialement présentes en entreprise et acquises par ces acteurs lors de leurs études et de leurs expériences passées. Il est difficile de déterminer le chemin qui sera suivi, plus difficile que dans les autres domaines de R&D.

« Si vous n'avez pas les connaissances et que vous n'avez pas la maîtrise, c'est plus difficile. Le défi c'est alors de vous sensibiliser. [...] Vous savez que vous avez à faire quelque chose, mais vous ne savez même pas ce que vous ne savez pas. Si vous construisez un avion en métal et que quelqu'un vous demande de le faire en composite, c'est dur. On n'a jamais pensé vert avant et maintenant on doit commencer à le faire ».

Toutefois, ces changements en termes d'orientation des connaissances arrivent petit à petit, avec aujourd'hui des cours d'initiation et des formations plus avancées dans les écoles d'ingénieurs ou de gestion, mais également un intérêt accru de l'entreprise envers la nature environnementale de l'avion vert. Le mouvement est initié, mais semble trop lent aux yeux de certains.

« Je pense que c'est seulement l'ignorance et le fait que c'est des connaissances plus ou moins nouvelles. Au niveau des écoles qui forment des ingénieurs, elles se mettent à ça. Mais enfin, je ne les trouve encore pas très à la pointe de ça. Je pense que c'est plus le fait qu'il n'y a pas assez d'argent qui est consacré par chaque gouvernement pour faire ces études-là. C'est complexe parce qu'on a l'impression de manquer de recherches derrière nous ».

Plusieurs ingénieurs à présent sensibilisés trouvent que finalement, ces connaissances vont de soi, mais qu'elles doivent quand même être formalisées pour faciliter leurs diffusions. « Il n'y a pas beaucoup de monde à l'interne qui est au courant de ces avancées technologiques. [...] Il y a encore beaucoup d'éducation à l'interne à faire, je pense ». Il s'agit d'un changement culturel, d'orientation des connaissances plutôt que de la nature de celles-ci.

« Je pense qu'on voit ça vraiment compliqué, alors qu'en fait pour moi l'écologie c'est un peu comme le *lean manufacturing*, c'est une notion qui vient du bon sens, et on l'a formalisé justement pour que plus de personnes soient connaisseuses là-dedans, pour augmenter les connaissances et la recherche. Mais fondamentalement, c'est quand même beaucoup de conscience et de réflexion hors de tes champs, hors de ce que tu as l'habitude de côtoyer. C'est "est-ce que t'as envie d'ouvrir ton esprit et te poser des questions, les bonnes questions..." je ne pense pas que ce soit si complexe vraiment ».

En s'intéressant à ces nouveaux domaines, cela a parfois un impact sur le profil des ingénieurs engagés au sein du système de R&D. « [On a pris] des profils qu'on n'aurait jamais embauchés si on n'avait pas ces projets R&D ».

Or, toucher aux connaissances, c'est également toucher aux individus, à leurs valeurs. Dans le secteur aéronautique, les individus ne sont pas nécessairement sensibilisés aux enjeux environnementaux. « Moi j'ai connu énormément d'ingénieurs qui vont en aéronautique parce qu'ils aiment ça l'odeur du fioul, les gros moteurs qui font des gros bruits et ça va vite... » On observe quatre facteurs de changement orientant les valeurs et les connaissances des individus, augmentant leurs prises de conscience des enjeux environnementaux. « Un projet vert correspond, en soi, à une prise de conscience croissante des questions écologiques. Ainsi, la recherche environnementale entraîne une augmentation de la prise de conscience des enjeux environnementaux ».

(1) Tout d'abord, dans les dernières années, cette perception favorable à *l'amour du gaz et des gros moteurs* tend à s'estomper. Comme cela a déjà été présenté, à travers les échanges intergénérationnels, le personnel plus jeune amène souvent un questionnement sur les pratiques et les valeurs liées à l'environnement. « Le vecteur c'est les jeunes », et ces jeunes peuvent amener le changement auprès des autres générations.

(2) Ensuite, cette modification de perception entraînant une réorientation des connaissances est facilitée par l'excitation associée à la découverte et les avancées rendues possibles par l'exploration de nouveaux champs du domaine du savoir. Le domaine environnemental, très jeune, n'a pas été ou que peu exploré, laissant une large place aux avancées et aux découvertes pour les chercheurs et ingénieurs travaillant sur le sujet.

« Il y a beaucoup d'émotions associées aux enjeux environnementaux. Toute nouvelle technologie qui concerne la société ou la santé produit un « effet Aha ! », permettant de changer le point de vue, de changer notre façon de penser. Ça se passe au niveau des émotions, contrairement à la dynamique des fluides computationnelle, ou à la mécanique des structures où il s'agit de technologies matures où l'on est assez bon. De sorte que dans ces disciplines, il est peu probable que l'on ait une percée qui change notre manière de voir les choses. On est moins susceptibles d'avoir cette excitation. Il y a un aspect émotionnel dans le fait de travailler sur des projets environnementaux ».

(3) On trouve également la volonté organisationnelle de changer le regard des acteurs, par une prise de conscience de certains membres de la haute direction, ou pour des choix stratégiques, visant à instituer un changement au sein de leur personnel. « On croit que si on réussit à influencer la culture des employés, on va réussir à les amener à travailler dans une certaine vision plus environnementale ». Ainsi, l'objectif d'une des entreprises rencontrées est de faire de chacun de ses membres des agents qui intègrent d'eux-mêmes l'environnement dans leurs raisonnements courants plutôt que de l'amener de l'extérieur, avec un succès peut-être moindre.

« À une époque, la qualité, c'était la job(*) d'un inspecteur. Mais il y a eu un changement de culture, la qualité s'est intégrée au travail des gens, elle s'est décentralisée. On veut que ce soit la même chose avec l'environnement : ne pas avoir une armée d'inspecteurs, ou de personnes consacrées au développement durable, mais plutôt que chaque personne ait cela en tête au moment où elle travaille ».

(*) « job » au Québec est utilisé au féminin

Pour ce faire, cette grande entreprise prend un ensemble de mesure visant à promouvoir l'environnement auprès des membres de son personnel.

« Tout ça fait partie d'une mouvance pour faire changer les mentalités. La personne qui a passé sa fin de semaine à planter des arbres, le lundi va voir sa planche à dessin différemment. L'idée, c'est d'intégrer l'environnement dans la tête des gens, pour qu'ils changent par eux-mêmes pour aller vers plus d'environnement. On veut démocratiser la dimension environnementale ».

(4) Enfin, les gouvernements deviennent indirectement des acteurs du changement en matière de R&D à travers le financement et l'orientation donnée aux consortiums de recherche qu'ils financent, qui favorisent cette orientation et que les entreprises suivent en profitant des incitatifs que constituent ces financements de la recherche.

« Si le gouvernement se met à dire à Avion 123, XYZ Aircraft, ABC Aviation [*noms anonymisés*], je tiens à parrainer vos recherches, mais vous aurez à me dire quels sont les avantages environnementaux de la recherche que vous voulez que je parraine. Alors ça change, ou influence la manière dont ces entreprises pensent leur recherche et les avantages qu'elles pensent en tirer. Et à la fin, cela aura un effet sur la recherche et les développements effectués. Donc, si on veut faire quelque chose avec [un consortium de recherche], on doit déterminer les avantages environnementaux de ce travail, y penser. Peut-être qu'on n'y a pas pensé avant. Les besoins ont changé. Deuxièmement, le succès ou l'échec de la soumission pour obtenir le financement sera *drivé* par les bénéfices environnementaux de la proposition, les avantages environnementaux escomptés. Par conséquent, un projet qui a des mérites techniques, mais peu ou pas d'avantages pour l'environnement, ne peut plus aller de l'avant. Il faut donc changer la façon dont on structure la proposition, les choses, les attributs, les critères, la matrice qu'on met en place concernant le projet. Donc ça change la façon de penser que ça nous plaise ou non, et au final ça commence à dicter le type de recherche qui se fait au Canada, qui est financée par le gouvernement, provincial ou fédéral. Ça change donc la manière dont on effectue le suivi des projets et les avantages environnementaux. Un projet vert aura des implications sur la manière dont nous suivrons un projet, sur notre matrice de suivi de projets ».

On retrouve ces quatre facteurs de changement orientant les valeurs et les connaissances des individus sur la figure 5.

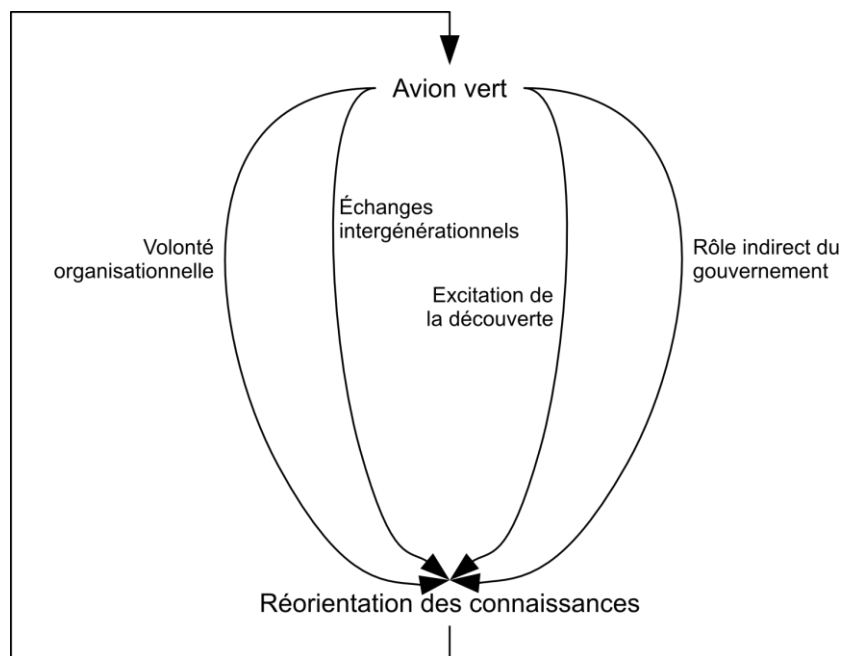


Figure 5. Les quatre facteurs d'impact de l'avion vert sur la réorientation des connaissances

3.3. Processus de formation des connaissances

Les projets liés à l'avion vert ajoutent de nouvelles contraintes pour les ingénieurs et les chercheurs du système de R&D. En se faisant, ils ouvrent également de nouveaux horizons possibles, en donnant la possibilité d'explorer de nouvelles pistes de solutions inexplorées jusqu'à présent.

« Tu poses des questions qui sont à peine considérées sans ça. Avec les projets verts, tu as des questions que tu ne te posais pas avant. Ça ajoute un niveau de contrainte, mais aussi de nouvelles possibilités. Si on ajoute une contrainte dans ta vie, comme ne plus rien jeter à la poubelle pendant une semaine, tu vas changer tes habitudes d'achat. La contrainte supplémentaire va te forcer à changer ton schéma de pensée. Quand on a plus de 2000 ingénieurs de conceptions, et qu'on leur donne une nouvelle contrainte, ils en font en général quelque chose de positif. Ces contraintes rajoutent de la créativité ».

On se retrouve avec une augmentation des contraintes imposées, dans un contexte de rationalité limitée des acteurs [SIM 55], les poussant donc à trouver une solution au-delà des précédentes contraintes.

Pour les systèmes de R&D ayant commencé leur intégration de l'avion vert, la dimension environnementale s'intègre dans tout le cycle de développement et de production, et devient une composante du processus de gestion de connaissances. « L'idéal, c'est de changer le processus de production de connaissances. Parce que si on veut s'améliorer, il faut changer les choses ». La dimension environnementale peut toucher tous les autres aspects que la conception elle-même, nécessitant de repenser le fonctionnement général du système de R&D dans une vision systémique, avec la gestion des connaissances comme mode de gestion. On peut illustrer cela à travers l'exemple suivant qui montre l'impact environnemental que peut avoir une pratique pourtant loin de la conception.

« Il y a toujours une teinte environnementale qui rentre dans le jeu. Je prends un exemple, le cas de l'usinage. Vous devez fabriquer un avion, vous utilisez un nouveau matériau, les conditions d'usinage varient, mais vous devez faire attention : qu'est-ce que vous allez faire et comment l'usinage va se faire ? Quelle sorte de produits, de lubrifiant vous allez utiliser durant l'usinage ? Cet usinage peut avoir un impact alors qu'avant on n'y pensait même pas. Avant, on achetait un produit, de l'huile, ça finissait dans l'égoût et puis s'en va.

Aujourd'hui ce n'est plus ça. C'est un petit exemple de rien du tout qui fait en sorte que même le gars qui est en méthode d'usinage, en méthode de fabrication est sensible à l'impact de sa façon de faire sur l'environnement total ».

Ces changements doivent toucher toutes les étapes du processus, dès la phase de conception initiale de l'avion, jusqu'à la fabrication, et même par la suite jusqu'à sa fin de vie.

« Je pense qu'avant, on s'en souciait pas. On s'en souciait pas. Il y avait des experts qui étaient appelés à développer une technologie. À rendre plus performant les moteurs par exemple. On ne se demandait pas si le moteur était plus bruyant, s'il était plus performant on était content ! Et même que des fois on s'en souciait du bruit, mais à la fin du processus et non pas au design, pas à la phase de design du produit. Maintenant, tous ces facteurs sont intégrés à la phase du design, quand on pense, qu'on imagine le produit. Mais, les discussions sont difficiles, elles sont complexes de dire ben à ce niveau-là : quelle pondération attache-t-on à chacun des critères ? Sachant que, quand on est sur du design, nos produits vont sortir dans 10/15 ans... pas facile ».

Ces changements doivent toucher tous les corps de métier, les disciplines pour qu'ils soient efficaces. Ils invitent à repenser le rôle des professionnels de l'aéronautique en général dans une perspective de travailleurs du savoir.

« Pour faire l'avion vert, à chaque étape de fabrication, il va falloir aller voir comment faire les choses, comment on peut les repenser. Mais l'ingénieur mécanique, il va toujours rester ingénieur mécanique, il va développer ce qu'il a à développer, mais en prenant des inputs nouveaux. Ce n'est pas plus multidisciplinaire, mais cela impacte sur chaque projet à prendre en considération la dimension environnementale. Il va falloir qu'il apprenne cet aspect vert. L'aspect vert, le but c'est de ne pas transférer à quelqu'un d'autre tes impacts environnementaux, mais de trouver une solution globale ».

On retrouve les questions environnementales aux frontières de ces deux dimensions telles que le présente la matrice de la figure 6.

Disciplines	...	✓	✓	✓	✓
	Ingénieur mécanique	✓	✓	✓	✓
	ingénieur acoustique	✓	✓	✓	✓
	Pilote	✓	✓	✓	✓
		Conception	Fabrication	Utilisation	Fin de vie
		Étapes de vie			

Figure 6. Matrice illustrant l'impact de l'avion vert sur les disciplines et les étapes de la vie de l'avion

On observe alors une modification du processus de production des connaissances sur ces deux dimensions, intégrant des experts en développement durable ou en environnement « que ce soit [de l'externe] ou des gens de l'interne [...] Ces gens complètent les études par de l'information qui n'auraient pas été envisagé autrement », mais touchant toutes les personnes. « L'ingénieur typique devient beaucoup plus conscient ».

La question de la formation en environnement se pose : est-elle nécessaire pour les acteurs du système de R&D ? « Est-ce qu'on a besoin d'envoyer nos ingénieurs tous prendre des cours de formation additionnelle ? » Peut-être moins pour les connaissances en tant que telles que pour saisir l'importance de cette nouvelle orientation, et des valeurs associées aux connaissances

environnementales et les modifications nécessaires dans le processus de gestion des connaissances. C'est d'autant plus nécessaire que la culture du monde ingénieur n'est pas forcément aussi ouverte au développement durable, car la formation dans ce domaine a longtemps fait défaut.

Ces modifications ont un effet bénéfique sur la motivation du personnel, contribuant à faciliter le partage, la création de savoir en équipe. « C'est vrai que c'est positif de participer à ces projets-là, de se dire que tu y contribues ».

Par ailleurs, ces connaissances doivent être transférées aux partenaires. « Il faut qu'on leur dise pourquoi on a décidé d'aller en composite, c'est quoi la technologie en composite, qu'est ce que cela prend comme nouveaux équipements, et qu'est ce que cela représente pour eux de travailler avec cela ». Cette dimension inter-organisationnelle est un élément important du changement de processus de gestion des connaissances lié à l'avion vert.

« En ce qui concerne les projets de R&D, oui les projets verts changent nos pratiques de travail. Nous sommes de plus en plus *lean*. Le gouvernement provincial finance [des consortiums de recherche], ce qui a amené la conscience environnementale de l'arrière du cerveau vers l'avant, vers la conception des avions et ça continuera à avoir des répercussions plus profondes sur la façon dont nous concevons de nouveaux avions. Peut-être pas modifier les avions existants parce que c'est 95% fixe, mais pour les nouveaux produits, je crois que ça aura une grande portée, un impact profond ».

Ces modes de formations des connaissances amènent à une nouvelle dynamique industrielle d'organisation du travail, où le développement des connaissances ne se fait plus uniquement au sein d'une organisation, mais au sein d'un réseau d'acteurs, lieu où le *ba* permettant la formation des savoirs prend place.

Conclusion

Au terme de cet article, on a traité des spécificités des connaissances environnementales, et leur impact sur le processus de formation des connaissances, entraînant une plus grande créativité et une nouvelle dynamique au sein de l'industrie étudiée.

Les résultats et l'analyse décrivent les connaissances environnementales liées aux éco-innovations comme trop souvent invisibles, parce que non observées, avec notamment d'importantes difficultés à faire saisir les ordres de grandeur. L'organisation des connaissances est différente, et nécessite une forme de subtilité des connaissances vertes. Lorsque ces connaissances sont plus complexes, elles nécessitent de nouveaux modes d'organisation pour faire relever leur plus grande multidisciplinarité.

L'orientation des connaissances, liée aux valeurs des individus, est modifiée par 1) la volonté organisationnelle, 2) les échanges intergénérationnels, 3) l'excitation de la découverte et 4) le rôle indirect du gouvernement.

Dans une dernière partie, on observe qu'en ajoutant de nouvelles contraintes, le processus de gestion des connaissances amène à de nouvelles solutions. La dimension environnementale s'intègre dans tout le cycle de développement et de production, et de nouveaux critères s'ajoutent à la phase de conception, permettant d'énergiser les « *ba* ». Finalement, l'ajout des enjeux environnementaux et des connaissances spécifiques qui y sont associées modifient la dynamique industrielle du secteur aéronautique en contribuant à transformer l'organisation du travail depuis la base et notamment à partir du système de R&D.

Une version initiale de cet article a été présentée lors à la conférence annuelle d'Aix-en-Provence de l'association pour la gestion des connaissances dans la société et les organisations (AGeCSO).

Bibliographie

- [ANT 11] Antonelli C., Handbook on the economic complexity of technological change, Edward Elgar Publishing, 2011.
- [ASH 93] Ashford N., « Understanding Technological Responses of Industrial Firms to Environmental Problems: Implications for Government Policy » dans K. Fisher et J. Schot (dir.), Environmental Strategies for Industry, p. 277-307, Island Press, 1993.
- [BEE 00] Beeby M., Booth C., « Networks and inter-organizational learning: a critical review », The Learning Organization, vol. 7, n° 2, p. 75-88, 2000.
- [BER 12] Berger P., Luckmann T., La construction sociale de la réalité, Armand Colin, 2012
- [BLU 14] Blum G., L'émergence des connaissances dans le secteur québécois de l'aéronautique. Une étude de l'innovation conduite par le concept d'avion vert, Thèse de doctorat, Université du Québec à Montréal, Québec, 2014.
- [BRE 97] Brezet H., Van Hemel C., Ecodesign: a promising approach to sustainable production and consumption, UNEP, Paris, 1997.
- [CAR 98] Carrincazeaux C., Lung Y., « La proximité dans l'organisation de la conception des produits de l'automobile », dans M. Bellet, T. Kirat et C. LARGERON (dir.), Approches multiformes de la proximité, Hermès, p. 241-265, 1998.
- [CHA 15] Chabot P., L'âge des transitions, PUF, Paris, 2015.
- [CHA 97] Charter M., Chick A., « Welcome to the first issue of The Journal of Sustainable Product Design », The Journal of Sustainable Product Design, n° 1, 1997.
- [COL 10] Collins H., Tacit & Explicit knowledge, The University of Chicago Press, Chicago and London, 2010.
- [CRÉ 99] Créplet F., « Le concept de 'ba': une nouvelle voie dans l'étude du management de la connaissance dans les entreprises... » Working paper, BETA – Université Louis Pasteur, Strasbourg. Consulté à l'adresse <http://www.beta-umr7522.fr/productions/publications/1999/9920.pdf>, 1999.
- [DEB 12] Debref R., « Innovation environnementale vs Éco-conception », dans B. Christophe et R. Pérez (dir.), Agrossources et écosystèmes: Enjeux sociétaux et pratiques managériales, Presses Univ. Septentrion, 2012.
- [DEN 12] Deniaud I., Lerch C., Caillaud E., « Stratégies d'éco-conception: du produit vers le service », dans 9th International Conference on Modeling, Optimization & SIMulation, Bordeaux, France, 2012.
- [ETA 04] ETAP, « À propos d'ETAP - Plan d'action en faveur de l'éco-innovation ». Consulté à l'adresse http://ec.europa.eu/environment/ecoap/about-action-plan/etap-previous-action-plan/index_fr.htm, 2004.
- [FUS 96] Fussler C., James P., Driving eco-innovation: A breakthrough discipline for innovation and sustainability. Pitman London, 1996
- [GLA 67] Glaser B. G., Strauss A. L., Discovery of Grounded Theory: strategies for qualitative research, Aldine, Chicago, 1967.
- [HUS 63] Husserl E., Idées directrices pour une phénoménologie (vol. 1). Gallimard, Paris, 1963.
- [KNI 09] Knight P., Jenkins J. O., « Adopting and applying eco-design techniques: a practitioners perspective », Journal of Cleaner Production, vol. 17, n° 5, p. 549-558, 2009.
- [LIN 85] Lincoln Y. S., Guba E. G., Naturalistic inquiry. Sage Publications Beverly Hills, 1985.
- [NON 94] Nonaka I., « A Dynamic Theory of Organizational Knowledge Creation », Organization Science, vol. 5, n° 1, p. 14-37, 1994.
- [NON 98] Nonaka I., Konno N., « The Concept of 'Ba' : Building a Foundation for Knowledge Creation », California Management Review, vol. 40, n° 3, p. 40-54, 1998.
- [NON 05] Nonaka I., Toyama R., « The theory of the knowledge-creating firm: subjectivity, objectivity and synthesis », Industrial and Corporate Change, vol. 14, n° 3, p. 419-436, 2005.
- [OAC 10] OACI, Resolution A37-19. Consulté à l'adresse http://legacy.icao.int/env/A37_Res19_en.pdf, 2010.
- [OCD 10] OCDE, L'éco-innovation dans l'industrie favoriser la croissance verte. OCDE, Paris, 2010.
- [POL 66] Polanyi M., The tacit dimensions. Garden City, NY: Doubleday, New York, 1966.
- [SCH 06] Schwartz D., « An Aristotelian View of Knowledge Management » dans Encyclopaedia of Knowledge Management, Idea Group Reference, Hershey, PA (USA), p. 10-16, 2006.

- [SIM 55] Simon H. A., « A behavioral model of rational choice ». *Quarterly Journal of Economics*, vol. 69, n° 1, p. 99-118, 1955.
- [STR 90] Strauss A. L., Corbin J. M., *Basics of qualitative research: grounded theory procedures and techniques*, Sage Publications, 1990.
- [ZHE 07] Zhegu M., *La coévolution des industries et des systèmes d'innovation : l'industrie aéronautique*, Thèse de doctorat, Université du Québec à Montréal, Montréal, Québec, 2007.