



HAL
open science

Comprendre la continuité d'un processus collectif d'innovation avec une théorie du véhicule : application au cas d'un projet collaboratif européen.

Guillaume Pérocheau

► To cite this version:

Guillaume Pérocheau. Comprendre la continuité d'un processus collectif d'innovation avec une théorie du véhicule : application au cas d'un projet collaboratif européen.. Gestion et management. Université de la Méditerranée - Aix-Marseille II, 2009. Français. NNT: . tel-00448758

HAL Id: tel-00448758

<https://theses.hal.science/tel-00448758v1>

Submitted on 20 Jan 2010

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.

UNIVERSITE AIX-MARSEILLE II - DE LA MEDITERRANEE
UFR DES SCIENCES ECONOMIQUES ET DE GESTION
ECOLE DOCTORALE DE SCIENCES ECONOMIQUES ET DE GESTION D'AIX MARSEILLE

LEST
LABORATOIRE D'ECONOMIE ET DE SOCIOLOGIE DU TRAVAIL

THESE
Pour obtenir le grade de
Docteur en Sciences de Gestion
Mention : Management Stratégique

Présentée et soutenue publiquement par

Guillaume Pérocheau
le 17 Novembre 2009

COMPRENDRE LA CONTINUITÉ
D'UN PROCESSUS COLLECTIF D'INNOVATION
AVEC UNE THÉORIE DU VÉHICULE :
APPLICATION AU CAS D'UN PROJET COLLABORATIF EUROPÉEN

JURY

Directeur de Thèse

Mme Ariel MENDEZ
Professeure à l'Université de la Méditerranée

Rapporteurs

Mme Caroline MOTHE
Professeure à l'Université de Savoie

M. Benoit WEIL
Professeur à l'Ecole des Mines ParisTech

Suffragants

Mme Valérie CHANAL
Professeure à l'Université Grenoble 2 - P. Mendès France

M. Gilles GUIEU
Professeur à l'Université de la Méditerranée



Remerciements

Je remercie Gaëlle pour son amour et sa confiance, et nos filles, Lorette et Salomé, leur joie et la fierté qu'elles me donnent. Je remercie également mes parents, la douceur et la force de Gilbert, la créativité et l'énergie de Martine. Je remercie Marion ma soeur, dont le courage est une source d'inspiration. Je remercie mes aïeux : Armand, Florent, Denise, Marie-Joseph, leur humilité et leur bonté me guident.

Je remercie Ariel Mendez, ma directrice de Thèse : son exigence bienveillante m'a forcé à sortir de la facilité. Je remercie également les chercheurs du LEST, avec une pensée toute spéciale pour les membres du séminaire ECI qui m'ont accueilli comme un ami. Je remercie aussi les personnels administratifs du LEST et les doctorants du LEST. Je remercie Damien Brochier pour le temps passé à me relire, et à me guider.

Je remercie Cédric Brémond et Alexandre Lorenzi de Toplink Innovation pour leur support durant cette recherche et leur amitié. Je remercie tous les membres du projet MEMORY sans qui cette recherche eut été impossible. Je remercie les chercheurs de l'équipe Deixis de Sophia-Antipolis de Télécom ParisTech, avec qui j'ai eu la chance de collaborer depuis 2006.

Je remercie également mes amis pour leur soutien durant ces quatre années, les quatre précédentes et les 60 futures : ceux de Hyères, de Vendée, de Nice, du Brésil, de Paris et d'ailleurs. Ils se reconnaîtront, et je les reconnaîtrai toujours.

Je remercie enfin les membres de ce Jury de Thèse de me faire l'honneur de lire ce travail.

Table des Matières

<i>Chapitre 0. Chapitre Introductif</i>	<i>9</i>
 <i>PREMIÈRE PARTIE.....</i>	<i>17</i>
<i> Le développement temporel de l'innovation : la question de la continuité du processus</i>	
 <i>Chapitre 1. Objet de cette recherche : le développement temporel d'un processus collectif d'innovation.....</i>	<i>21</i>
<i> (1.1) De quelle innovation parlons nous ?</i>	<i>23</i>
<i> (1.2) De la question du projet à celle du processus</i>	<i>27</i>
<i> (1.3) De la collaboration aux collectifs</i>	<i>37</i>
<i> (1.4) De la marche d'un projet au développement temporel d'un processus.....</i>	<i>46</i>
<i> (1.5) Conclusion</i>	<i>51</i>
 <i>Chapitre 2. Les Processus Collectifs d'Innovation</i>	<i>53</i>
<i> (2.1) Le MIRP : le voyage de l'innovation</i>	<i>56</i>
<i> (2.2) La Sociologie de l'Acteur-Réseau (SAR)</i>	<i>64</i>
<i> (2.3) La conception innovante.....</i>	<i>77</i>
<i> (2.4) Conclusion</i>	<i>90</i>
 <i>Chapitre 3. Les collectifs innovants</i>	<i>97</i>
<i> (3.1) Réseaux d'individus et innovation.....</i>	<i>100</i>
<i> (3.2) Communautés et innovation</i>	<i>107</i>
<i> (3.3) Conclusion</i>	<i>117</i>
 <i>Chapitre 4. L'analyse processuelle</i>	<i>119</i>
<i> (4.1) L'activité et son contexte.....</i>	<i>121</i>
<i> (4.2) Contextualisme et approches processuelles</i>	<i>125</i>
<i> (4.3) Du contexte aux ingrédients</i>	<i>131</i>
<i> (4.4) Les moteurs d'un processus</i>	<i>133</i>
<i> (4.5) Conclusion</i>	<i>140</i>

Chapitre 5. Cadre conceptuel et question de recherche	145
(5.1) <i>Question de recherche</i>	147
(5.2) <i>Les propositions théoriques</i>	150
(5.3) <i>Conclusion</i>	153
DEUXIÈME PARTIE.....	157
<i>Une recherche exploratoire hybride</i>	
Chapitre 6. Méthode et posture de recherche	159
(6.1) <i>Une démarche de connaissance pragmatique</i>	160
(6.2) <i>L'ancrage terrain de notre projet de recherche</i>	165
(6.3) <i>Construction d'une extériorité</i>	170
(6.4) <i>Un raisonnement en forme d'enquête</i>	175
(6.5) <i>Le dispositif d'observation de MEMORY</i>	185
(6.6) <i>Conclusion</i>	189
Chapitre 7. Opérationnaliser notre question de recherche	191
(7.1) <i>Les ingrédients du processus MEMORY</i>	195
(7.2) <i>Description du déroulement temporel du processus collectif d'innovation MEMORY</i>	215
(7.3) <i>Un jeu à trois moteurs et la métaphore de l'exploration</i>	230
(7.4) <i>Conclusion</i>	235
TROISIÈME PARTIE	237
<i>Le cas du processus MEMORY</i>	
Chapitre 8. Fondations de MEMORY	239
(8.1) <i>Le début du processus MEMORY</i>	240
(8.2) <i>La Séquence Fondations</i>	252
(8.3) <i>La bifurcation PCRD</i>	269
Chapitre 9. Du Consortium au Projet MEMORY	273
(9.1) <i>La Séquence Consortium</i>	274

(9.2) <i>La Séquence de Latence</i>	297
(9.3) <i>La bifurcation Projet MEMORY</i>	300
Chapitre 10. Le projet MEMORY de sa préparation aux premiers résultats	301
(10.1) <i>Sur le plan cognitif : conjonctions et nouvelles partitions</i>	302
(10.2) <i>Le fil des événements</i>	306
(10.3) <i>Les ingrédients dans cette Séquence</i>	323
(10.4) <i>Le véhicule dans cette séquence</i>	340
Chapitre 11. Vers le projet MEMORY V2	341
(11.1) <i>La bifurcation suite au départ d'Hector</i>	342
(11.2) <i>La séquence MEMORY V2</i>	347
(11.3) <i>Le véhicule au départ de cette séquence</i>	358
Chapitre 12. Les moteurs du processus MEMORY	359
(12.1) <i>Des moteurs téléologiques</i>	361
(12.2) <i>Les effets contradictoires des moteurs évolutionnistes</i>	364
(12.3) <i>Moteurs dialectiques : les couplages multiples des ingrédients</i>	369
(12.4) <i>Un jeu à trois moteurs et la métaphore du voyage de Christophe Colomb</i>	373
Chapitre 13. Discussion des résultats	385
(13.1) <i>Retour sur les propositions théoriques</i>	386
(13.2) <i>La théorie du véhicule</i>	391
(13.3) <i>Apports théoriques</i>	396
Chapitre 14. Conclusions	407
(14.1) <i>Enseignements théoriques</i>	408
(14.2) <i>Enseignements Managériaux</i>	412
Bibliographie	421

Chapitre 0. Chapitre Introductif

Cette thèse est issue d'un processus de connaissance qui commence en 2001, il y a huit ans de cela. A cette époque, nous sommes un praticien, consultant dans un petit cabinet de conseil en management de l'innovation. Avec nos collègues, nous accompagnons des industriels et des chercheurs dans le montage et la coordination de projets collaboratifs d'innovation. Les entrepreneurs et les chercheurs que nous rencontrons (qui sont parfois chercheurs *et* entrepreneurs) s'engagent dans des projets longs, complexes et passionnants. Le plus souvent, nous les suivons pendant plusieurs années avant de voir l'idée de départ se transformer en un objet réel, fonctionnant convenablement, pouvant être pris en main par des utilisateurs. Parfois, aussi, l'histoire s'arrête prématurément. Un financement n'est pas arrivé à temps, un prototype ne fonctionne pas, un partenaire clef a quitté l'aventure collective : les péripéties et les événements s'accumulent avec le temps, ils viennent nourrir l'histoire en cours, ils l'achèvent parfois.

Quand en 2005 nous nous engageons dans la rédaction de cette thèse, menée en parallèle de notre activité professionnelle, nous nous concentrons donc sur un questionnement concret, issu de notre expérience de praticien. Cette question, qui n'est pas encore une question scientifique, pourrait se traduire de la façon suivante : *"qu'est ce qui fait marcher les projets collaboratifs d'innovation" ?*

Ce questionnement s'enracine dans notre frustration de consultant : nous accompagnons des innovateurs, les aidons à formaliser leurs idées, à les évaluer, nous les aidons à trouver des partenaires, à répondre à des appels d'offre, à gérer des projets complexes, à trouver des débouchés pour leurs produits. Certains projets "marchent". D'une part, *ils fonctionnent au jour le jour*, ils produisent des résultats, ils règlent des problèmes. D'autre part *ils durent*, ils s'inscrivent dans le temps, assurent une continuité malgré les crises ou les périodes de stagnation apparentes. Et puis, d'autres projets ne marchent tout simplement pas : la coopération y est faible, conflictuelle, ou alors ces projets s'éteignent soudain, incapables de surmonter les épreuves de la réalité. Pourquoi certains projets "marchent" quand d'autres s'éteignent ? En 2005, nous n'avons pas d'explication formelle à cette question. En tant que praticien, nous n'avons pas non plus de méthode spécifique pour accompagner de tels projets, et nous nous contentons le plus souvent d'adapter les règles classiques de gestion de

1. Nous parlerons aussi de PCI pour Projets Collaboratifs d'Innovation

projet, en tentant d'y injecter un peu de souplesse. L'exercice de notre métier s'appuie principalement sur un ensemble de savoirs opérationnels, d'intuitions, d'exemples, de bonnes pratiques, et il doit beaucoup aussi à notre connaissance empirique des institutions de l'innovation, une connaissance concrète des rouages des financements, des appuis aux innovateurs et à leurs projets. Au début de cette thèse, nous avons donc la conviction que l'on peut et que l'on doit mieux comprendre *la marche* de tels projets si l'on veut mieux accompagner et soutenir cette marche.

Pour explorer cette question, nous nous appuyons dans cette thèse sur l'étude empirique du processus MEMORY, un processus qui nous est familier, puisque nous avons participé directement à celui-ci de 2003 à 2007. Ce processus est un matériau d'observation très représentatif du problème exposé plus haut : le processus a commencé lors d'un programme de recherche franco-belge fin 2001, il se poursuit dans un laboratoire en PACA, puis dans une Start-up d'Aix en Provence à partir de 2003 et continue sa marche au sein d'un consortium de huit organisations réparties dans quatre pays européens de 2005 à 2008. Le processus "marche", il converge peu à peu vers la fabrication d'un prototype, il agrège de nouveaux partenaires, des brevets sont déposés, des expériences menées. Et ce processus cumule les épreuves au cours du temps : une installation essentielle est démontée, un partenaire historique dépose le bilan, des expériences aboutissent à des résultats décevants. Pourtant, le processus MEMORY continue, il se perpétue dans le temps, il crée des connaissances, fait évoluer un concept, attire de nouveaux partenaires.

Le processus MEMORY a comme objectif de concevoir un nouveau type de mémoires informatiques : des mémoires eMRAM. Ces mémoires cumuleront les avantages des mémoire vives (rapides en écriture et en lecture) et ceux des mémoires mortes (elles conservent les informations, même lorsqu'elles ne sont plus alimentées). Notre participation à ce processus, avant et pendant la rédaction de cette thèse, nous a permis d'avoir un accès privilégié à un cas que nous décrivons de l'intérieur, sur une période de quatre années. C'est à partir de ce matériau que les concepts présentés dans ce travail ont émergé et c'est sur ce matériau que la thèse du véhicule a émergé.

Mais cette thèse doit également beaucoup à l'exploration théorique menée durant ces quatre dernières années, et à l'encadrement académique dont nous avons bénéficié en tant que doctorant au Laboratoire d'Economie et de Sociologie du Travail (LEST) à Aix en Provence. Notre recherche utilise des concepts issus de trois champs particuliers : les théories portant sur le processus d'innovation, la littérature portant sur les collectifs innovants (qu'ils soient vu comme des réseaux ou des communautés) et des recherches récentes portant sur l'analyse des processus en sciences sociales.

En particulier, nous avons eu la chance de participer de façon régulière à un séminaire scientifique pluridisciplinaire portant sur l'analyse des processus en sciences sociales (séminaire ECI du LEST). La thèse présentée ici doit beaucoup aux apports théoriques et méthodologiques de ce séminaire.

Dans cette démarche d'exploration hybride, à la fois théorique et empirique, observations sur le terrain et exploration de la littérature se sont alimentés dans un processus constant de raisonnement. Cependant, pour plus de clarté, les éléments théoriques et les éléments empiriques sont regroupés dans des parties distinctes.

La première partie de cette thèse fait donc le point sur les théories que nous avons mobilisées au cours de ce travail de recherche. Cette littérature est regroupée en quatre chapitres distincts, ce qui permet d'aller de la question de départ à un objet de recherche (CH1) que l'on peut situer à la croisée de trois champs scientifiques. Ces champs sont explorés séparément dans les trois chapitres suivants : les processus d'innovation (CH2), les collectifs innovants (CH3) et l'analyse processuelle (CH4). Cela nous permet de problématiser notre recherche et de faire des propositions de recherche (CH5). Pour restaurer l'importance du dialogue terrain / littérature mené durant cette recherche, les exemples donnés dans cette partie sont souvent issus du cas MEMORY lui-même : cela permettra au lecteur de se familiariser avec ce processus collectif d'innovation que nous décrivons dans la deuxième partie.

Dans le premier chapitre, il est rappelé que la question concrète "qu'est-ce qui fait *marcher* un projet collaboratif d'innovation" ne constitue pas une question de recherche à part entière. Mais à partir de cette question, on peut se replacer dans un cadre plus général abordé de différentes manières dans la littérature. Il faut rappeler, pour commencer, que l'innovation est par définition un *processus*, qui voit s'engager dans le temps de multiples acteurs. Le *projet* d'innovation n'est qu'un moment et une modalité d'action dans un *processus* d'innovation. Ensuite, on remarque que les projets collaboratifs posent nécessairement la question de l'action collective : les *collectifs d'individus*, leurs répartitions, leurs rôles dans de tels processus sont donc essentiels. Enfin, la "marche" de ces projets peut être vue de deux façons différentes : il y a la question de la coordination de l'activité, souvent abordée. Et il y a la question de la continuité de cette activité, thème plus rarement traité et qui sera au centre du travail présenté ici. Ce recadrage permet donc, à l'issue de ce **chapitre 1**, de délimiter un objet de recherche, qui est celui du développement temporel des processus collectifs d'innovation.

Dans le deuxième **chapitre 2**, différents corpus de plusieurs disciplines sont abordés (et en particulier la Sociologie de l'Acteur Réseau, la théorie CK de la conception, les travaux du Minnesota Innovation Research Program). Cette approche pluridisciplinaire a l'avantage d'éclairer de façon complémentaire l'objet de recherche. Une certaine vision des processus collectifs d'innovation se dessine alors : un processus collectif d'innovation est en grande partie imprévisible, il possède un versant social et un versant cognitif inextricablement liés, et il engage dans le temps des acteurs multiples et divers.

Nous analysons aussi l'apport essentiel des travaux portant sur les collectifs d'individus dans le **chapitre 3**. Malgré le fait que les théories portant sur les processus d'innovation affirment que ce processus est collectif, il font peu souvent référence aux concepts liés aux réseaux d'innovateurs ou aux communautés. Or, il est essentiel de comprendre la structure de ces collectifs, leurs généalogie, leur transformation et leurs apports tout au long du processus collectif d'innovation.

Le **chapitre 4** s'inspire directement des travaux menés au LEST dans le cadre du séminaire ECI sur les processus. En effet, nous avons constaté que la littérature portant sur les processus d'innovation utilise peu les concepts spécifiques à l'analyse processuelle, alors que cet apport est essentiel. Pour comprendre un processus, il faut prendre en compte un contexte large, qui change dans le temps : un processus peut alors être relié à de très nombreux éléments répartis sur diverses échelles d'analyse. Dans ce vaste réservoir, pourtant, certains éléments sont plus prégnants que d'autres. Ils sont mobilisés et assemblés dans le cours du processus. Ce sont des ingrédients. Au cours du processus, l'assemblage de ces ingrédients évolue, sous l'effet de principes génératifs du changement qualifiés de moteurs du processus. Ce chapitre nous fournit donc un ensemble de concepts, une "grammaire", qui va compléter notre cadre conceptuel.

Dans le **chapitre 5**, nous rapprochons les apports des trois chapitres précédents. Nous pouvons reformuler notre questionnement et proposer la question de recherche suivante : *"comment expliquer la continuité du raisonnement de conception, malgré la transformation du réseau socio-technique dans un processus collectif d'innovation ?"* Pour répondre à cette question, nous proposons le concept du véhicule, c'est à dire l'existence d'un assemblage d'ingrédients sociaux portant le processus au cours du temps. Cette thèse, construite au cours de notre exploration empirique, sera précisée plus tard. Mais elle s'appuie sur trois propositions théoriques, déduites de la littérature que nous avons abordée et que nous détaillons ici.

Le concept du véhicule n'est apparu qu'après plusieurs mois d'exploration, après que diverses hypothèses sur la "marche des PCI" ont été réfutées. Ce concept a été abduit après plusieurs cycles de raisonnement, puis il a été affiné grâce à une mise en forme de notre matériel empirique. **La deuxième partie** de cette thèse est consacrée à présenter cette démarche de recherche.

Dans le **chapitre 6**, nous décrivons donc notre méthode de recherche, fondée sur une participation observante dans le processus MEMORY. Nous discutons en particulier de ce statut particulier d'acteur / chercheur, qui nécessite de construire une extériorité par rapport à la situation vécue. Nous décrivons aussi quelles abductions nous ont mené par étapes successives au concept du véhicule, et rappelons le rôle des observations empiriques et des apports théoriques pour progresser dans ce qui pourrait être comparé à une véritable enquête. L'ensemble de cette démarche de connaissance peut être qualifiée de pragmatique et s'appuie sur une vision de la réalité inspirée du réalisme critique.

Le **chapitre 7** explique comment nous avons traité notre matériel empirique, afin de rendre intelligible le développement du processus collectif MEMORY. Nous expliquons donc comment, en procédant à un codage informatique de nos données, nous avons peu à peu isolé sept catégories distinctes d'ingrédients utilisés au cours du processus. Ensuite, grâce à la théorie CK de la conception, nous avons pu retracer le cheminement du processus sur son versant cognitif. Enfin, en procédant à un découpage temporel du processus, nous avons pu décrire les grandes séquences du processus MEMORY et y isoler les moments clés, les moments de changements intenses que l'on nomme des bifurcations.

La troisième partie de cette thèse est construite de façon chronologique. Elle permet de faire le récit du processus MEMORY, de suivre son évolution - et sa continuité - de Février 2003 à Décembre 2006. Chaque chapitre est consacré à un segment temporel particulier du processus. Dans chaque chapitre, on retrace le cheminement cognitif du processus en utilisant la théorie CK de la conception. Ensuite, après avoir exposé le fil des événements, on décrit les principaux ingrédients utilisés dans le segment temporel en question. Ensuite, on montre comment le véhicule de ce segment temporel a été mobilisé dans l'activité collective de conception. Cela nous permet de suivre l'évolution du véhicule tout au long du processus (ce qui change dans ce véhicule et ce qui demeure), et de montrer l'imbrication entre les versants sociaux et cognitifs du processus.

Le **chapitre 8** revient sur les fondations de ce processus, ou comment un concept de mémoire imaginé par un chercheur russe devient un brevet déposé par un laboratoire français, porté par une Start-up à Aix en Provence. A ce stade de MEMORY, le concept est encore peu détaillé et il pose

de nombreuses questions de recherche. Le véhicule qui porte ce processus est relativement "léger", et permet à un collectif de quelques personnes de commencer à concevoir une mémoire informatique d'un nouveau genre.

Le **chapitre 9** relate comment un consortium d'organisations se constitue en 2004 autour de ce projet, en réponse à un appel d'offre de la Commission Européenne. Le concept MEMORY est enrichi, il est expansé, on décrit des assemblages de matériaux candidats pour servir de base à la construction d'un futur prototype. Le véhicule s'élargit donc, et de nombreux ingrédients viennent s'assembler au noyau présent dans la séquence précédente. Pourtant, le processus semble s'arrêter durant 5 mois, et entre dans une période de latence. C'est le temps qu'il faut pour que la proposition de projet soit évaluée par la Commission Européenne. Si sur le plan cognitif, le processus évolue peu durant ce suspens, des ingrédients importants du véhicule évoluent, disparaissent, se lient différemment.

Le projet MEMORY ne commence qu'à partir de mars 2005 : Le projet est retenu et sera financé sur trois ans. Dans le **chapitre 10**, nous montrons comment le concept évolue à nouveau, comment il est décrit avec plus de partitions. Les concepteurs, désormais plus nombreux, proposent diverses pistes pour les matériaux candidats, pour leurs modes de dépôt, pour la conception des prototypes de mémoire, etc. Les tâches de recherche sont lancées, et de nouvelles connaissances apparaissent. Avec le financement de ce consortium, le véhicule s'est institutionnalisé, les ingrédients sont stabilisés et couplés plus fortement entre eux.

Le **chapitre 11** commence sur plusieurs coups de théâtre : les premiers échantillons de test ont des résultats décevants, et un porteur historique du processus quitte le projet. Pourtant, le processus continue. Après une bifurcation, il s'engage dans une nouvelle séquence de conception. Sur le plan cognitif, il y a eu des conjonctions, des concepts ont acquis un statut. Les concepteurs se consacrent donc à d'autres hypothèses, et de nouveaux prototypes sont programmés. Le véhicule perdure malgré ces crises : avec son institutionnalisation, il a résisté au départ d'ingrédients qui étaient essentiels en début de processus. Il a désormais les ingrédients nécessaires pour continuer l'effort de conception en cours.

Le but du **chapitre 12** est de relire cette étude de cas afin de comprendre la logique de développement du processus MEMORY. Nous utilisons pour cela les notions de moteurs. Nous constatons que, au cours du processus, trois moteurs transforment le véhicule et agissent de façon combinée. Pour mieux illustrer ce jeu à trois moteurs, nous utilisons la métaphore du voyage de Christophe Colomb vers les Indes.

Dans le **chapitre 13** nous rapprochons les observations empiriques menées sur le cas MEMORY avec les propositions théoriques issues de la littérature. Cela nous permet non seulement de les confirmer, mais aussi de les enrichir. Nous pouvons alors présenter dans le détail une théorie du véhicule, en en discuter la valeur. Notre recherche permet aussi de faire des apports aux courants scientifiques qui nous ont inspiré, et en particulier à la Sociologie de l'Acteur Réseau, à la théorie CK de la conception et à l'analyse processuelle. Nous sommes donc en mesure de détailler une théorie du véhicule

Le **chapitre 14** est la conclusion de cette thèse, qui nous permet de faire le point sur les contributions théoriques et managériales apportées par notre thèse. Nous proposons en particulier une série de recommandations, destinées aux institutions chargées de mettre en oeuvre des politiques de soutien à l'innovation, ainsi qu'aux praticiens de l'innovation.

Première partie

Le développement temporel de l'innovation : la question de la continuité du processus

Dans cette thèse, nous avons convergé d'une question simple, managériale, ancrée dans une réalité de praticien, au concept du véhicule de l'innovation. Ce concept a certes été échafaudé en partie sur le terrain, de façon inductive. Mais il s'appuie aussi sur divers champs de la recherche et se réfère explicitement à des travaux existants. Cette première partie est consacrée à faire le compte des apports théoriques que nous avons utilisé ici. Elle nous permet aussi de définir notre objet de recherche et de préciser quelle est la question de recherche traitée.

Dans un premier chapitre, nous expliquons comment notre question de départ, "qu'est-ce qui fait marcher un processus collectif d'innovation", nous positionne dans un objet de recherche particulier. En redéfinissant terme à terme les principaux concepts de cette question (marcher, projet, collaboratif, innovation), nous pouvons pointer des questions souvent traitées par ailleurs, ce qui nous permet de replacer notre travail dans un objet de recherche mieux balisé : celui **du développement temporel d'un processus collectif d'innovation**. Nous situons cet objet à la croisée de trois champs théoriques revus un à un dans les trois chapitres suivants : les processus d'innovation, les collectifs innovants et l'analyse processuelle.

Dans un deuxième chapitre, nous faisons la revue de trois courants ayant explicitement abordé l'innovation à la fois dans sa dimension collective (l'innovation est le fait d'individus nombreux, agissant collectivement) et dans sa **dimension temporelle** (l'innovation est un processus qui se déroule dans le temps). Ces courants sont les travaux du MIRP, la Sociologie de l'Acteur Réseau et la théorie CK de la conception. Malgré les nombreuses différences entre ces démarches, une certaine vi-

sion du processus semble se dégager, et en particulier sur l'imbrication entre une dimension sociale et une dimension cognitive de ce processus.

Dans le chapitre trois, nous faisons une revue des travaux scientifiques portant sur **l'analyse des collectifs**, vus tantôt comme des réseaux d'individus, et tantôt comme des assemblages de communautés. Le rôle de ces collectifs dans les processus d'innovation est essentiel et a fait l'objet de travaux dont nous devons tenir compte dans notre analyse : l'innovation est un processus durant lequel des connaissances sont créées, échangées, transformées, et il ne fait plus de doute que la cognition est encadrée dans une structure sociale, en particulier dans des collectifs d'individus.

Pour compléter notre cadre conceptuel, nous nous appuyons dans le chapitre quatre sur les travaux récents du LEST portant sur **l'analyse des processus en sciences sociales**. En effet, bien que la nature "processuelle" de l'innovation soit reconnue depuis longtemps, elle n'a pas été souvent analysée avec les outils conceptuels propres aux analyses de processus. Or, un processus d'innovation est avant tout un processus social : il se déroule dans un contexte riche, qui se déploie sur divers niveaux d'analyse, non linéaire, il est fait de séquences et son cheminement peut être l'objet de réorientations rapides, dites bifurcatives. Ce chapitre nous permet de constituer la grammaire des concepts que nous pourrions utiliser pour décrire l'innovation comme un processus social.

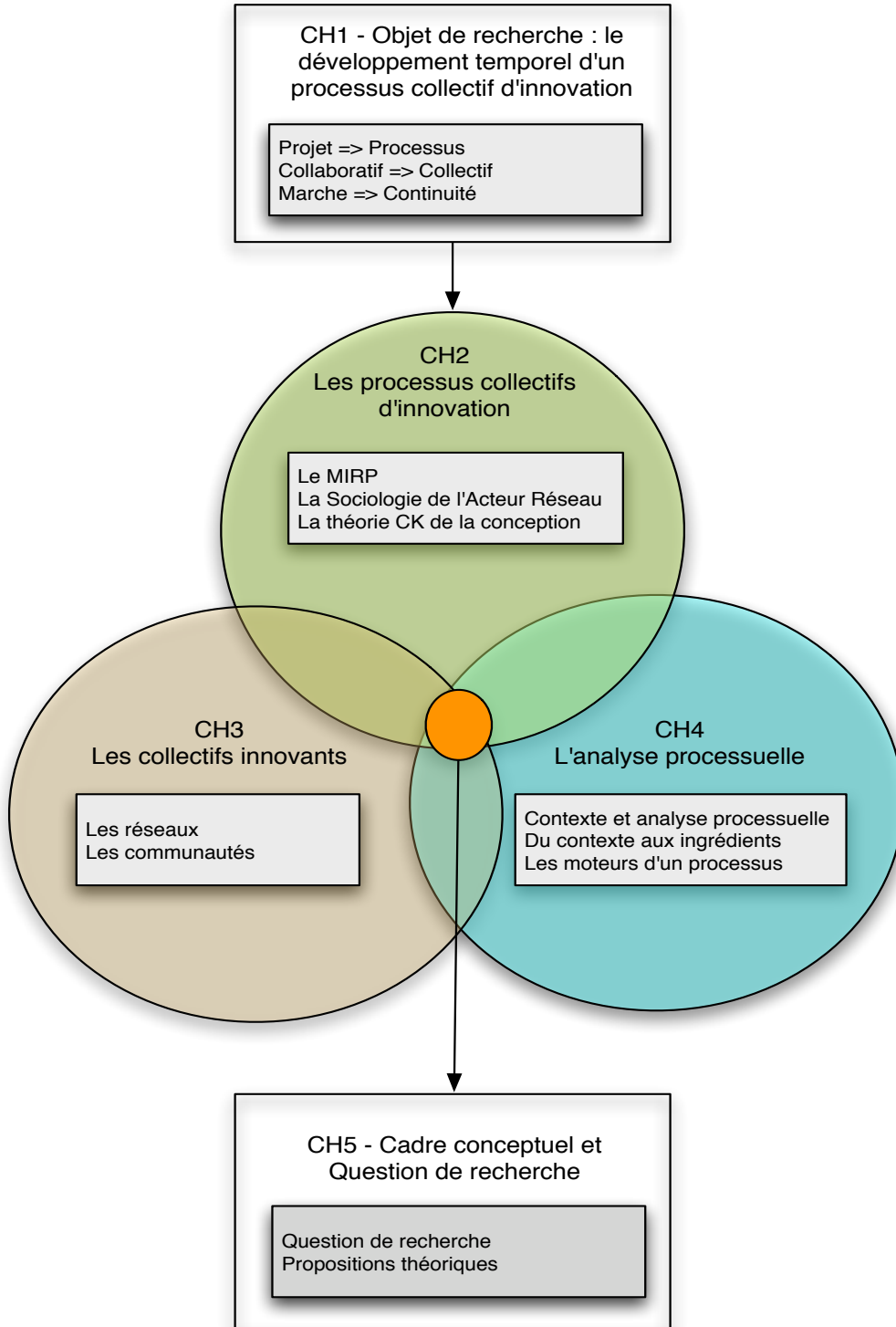
Finalement, le chapitre cinq nous permet situer notre questionnement de départ à la croisée de ces diverses influences, et de le reformuler en des termes issus de la littérature abordée ci-dessus. La question traitée ici est la suivante :

"Comment expliquer la continuité du raisonnement de conception malgré les transformations de l'assemblage des ingrédients mobilisé au cours du processus collectif d'innovation".

Pour traiter de cette question, nous nous appuyerons sur trois propositions théoriques issues de la revue de littérature présentée dans cette partie. Nous détaillons ici ces propositions.

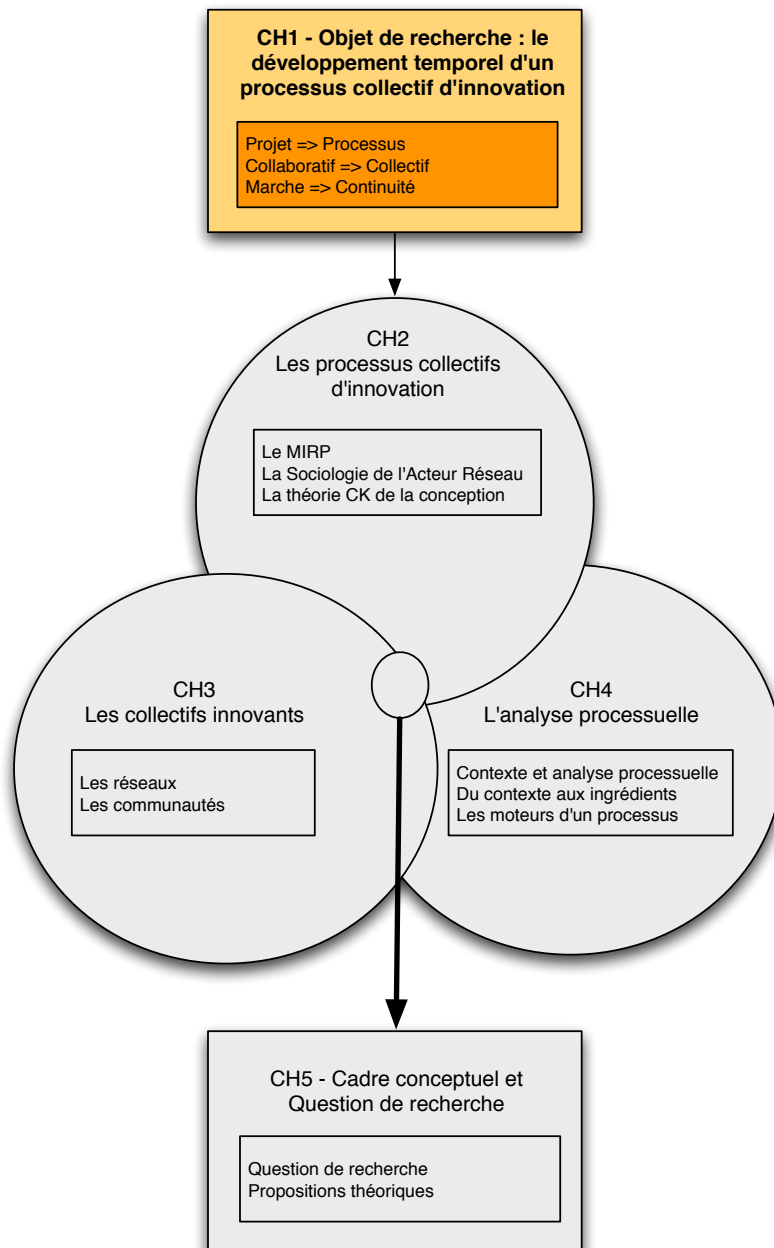
Graphiquement, la logique de cette première partie peut être présentée comme suit :

Schéma 1: Représentation graphique de la première partie



Chapitre 1. Objet de cette recherche :

le développement temporel d'un processus collectif d'innovation



"Qu'est-ce qui fait marcher un projet collaboratif d'innovation ?"

Cette question concrète est à l'origine du processus débouchant sur la rédaction de cette thèse. Cette question n'est pas un objet de recherche, mais elle est une clef qui permet d'entrer dans plusieurs champs déjà bien balisés par des chercheurs en sciences sociales. Ce premier chapitre est donc consacré à replacer la problématique exprimée ci-dessus dans un domaine, un champs d'investigation particulier traité de diverses manières dans la littérature. C'est aussi l'occasion de préciser un certain nombre de termes, de dire quelles sont les définitions retenues.

Pour définir cet objet, on peut prendre mot à mot les termes de la question posée. : "*Qu'est-ce qui fait marcher un projet collaboratif d'innovation ?*"

L'innovation pour commencer : terme polysémique, traité par de très nombreux champs des sciences sociales, doit être vue autant comme un *processus*, que comme un résultat de ce processus bien particulier (section 1).

Le **projet**, quant à lui, est un mode de gestion de l'activité très répandu, souvent imposé aux praticiens de l'innovation, mais dont l'adéquation avec le *processus* d'innovation est de plus en plus souvent remise en cause. C'est donc le rôle et la place de la gestion par projet dans le cours d'un *processus* d'innovation qui est problématique (section 2).

Le **collaboratif** est un terme dont il faut se méfier : le collaboratif est à la mode, mais le mot est souvent utilisé dans un sens général, et recouvre des réalités très différentes. Or, on peut distinguer la coopération de la collaboration par exemple. Compte tenu de l'importance des activités cognitives dans un processus d'innovation, nous proposons de nous consacrer à la dimension *collective* et *inter-individuelle* de l'innovation, sens que nous retenons pour aborder le côté "collaboratif" de l'innovation (section 3).

Enfin, un "**processus qui marche**" est un processus qui dure dans le temps, tout en produisant des changements. C'est donc la question de sa continuité dans le temps, malgré les changements, qui nous intéresse ici. Pour comprendre cette continuité, la description des chaînes de cause à effet n'est pas suffisante : il faut décrire et comprendre le développement temporel de ce processus (section 4).

En conclusion on constate qu'un PCI est un moment dans un processus collectif d'innovation, et que le fonctionnement, la "marche" d'un PCI s'inscrit directement dans le cadre du "**développement temporel du processus collectif d'innovation**", ce qui constitue l'objet de notre recherche. Cet objet est à la croisée des trois champs étudiés dans les trois chapitres suivants.

Section 1.1 De quelle innovation parlons nous ?

"Mais qu'est-ce qui fait marcher un projet collaboratif *d'innovation* ?"

Le premier terme que nous allons définir est celui d'innovation. L'innovation a été abordée dans de multiples champs des sciences sociales, et il est ainsi très compliqué d'en donner une seule définition. Pour reprendre l'expression de Le Masson, Weil et Hatchuel (2006), on pourrait voir l'innovation au "kaléidoscope des disciplines". Dans ce kaléidoscope, nous allons insister ici sur un double aspect de l'innovation : une innovation est un artefact (ou plusieurs), mais c'est aussi un processus.

Dès les années 1930, Schumpeter a proposé de distinguer 5 types distincts d'innovation :

- la fabrication de biens nouveaux (l'iphone de Macintosh ou la voiture à moteur hybride sont des exemples de ce type d'innovation au XXI ème siècle)
- l'emploi de nouvelles méthodes de production (le cas de Linux, fabriqué par une communauté de développeurs indépendants pourrait en être un bon exemple contemporain)
- l'utilisation de nouvelles matières premières (on pourrait penser par exemple au remplacement du plastique par des matériaux biodégradables dans la fabrication des sacs pour la grande distribution)
- l'utilisation d'une nouvelle organisation du travail (la mise en place d'un outil informatisé de gestion de la relation client s'appuie sur une réorganisation de la fonction commerciale de l'entreprise)
- la découverte de nouveaux débouchés

Dès cette première typologie, on remarque deux choses : l'innovation ne repose pas nécessairement sur des inventions ou des technologies. De plus, l'innovation porte sur des objets très différents (méthodes de production, produits, matières premières, etc.). Depuis Schumpeter, d'autres typologies sont couramment employées pour décrire divers types d'innovations

1.1.1 Différentes natures d'innovation ?

Classiquement, on distingue trois idéaux types d'innovation :

- l'innovation *produit*, qui consiste à commercialiser un objet nouveau (c'est le cas de la voiture à moteur hybride);

-
- l'innovation de *procédé*, qui consiste à fabriquer un produit existant selon de nouvelles techniques (ce sera la cas à chaque fois, par exemple, que l'on automatise en partie une chaîne de fabrication);
 - l'innovation *organisationnelle*, qui consiste à modifier l'organisation du travail, sans impliquer des technologies nouvelles (c'est en partie le cas de Linux, qui n'est plus fabriqué par une entreprise, mais par une communauté de développeurs indépendants).

Mais cette distinction classique est aujourd'hui remise en cause (Mothe, 1997). Prenons le cas emblématique de l'iPhone de Macintosh. Cet objet est un nouveau produit, intégrant une interface graphique et tactile, des fonctions de téléphonie, de lecteur de médias, de navigateur internet et d'ordinateur portable qui le distinguent des autres objets existant (ce n'est ni un téléphone, ni un ordinateur, ni un lecteur de médias). C'est donc une innovation produit. Mais son succès est aussi lié à une innovation organisationnelle, puisqu'il repose sur un accord inédit entre un fabricant de terminaux électroniques et des compagnies de télécommunication qui distribuent cet objet, ainsi que la mise en place d'un site Internet de distribution de contenus multimédias (Apple Store).

C'est ainsi que Boer et During (Boer and During, 2001) considèrent que toute innovation est en fait une nouvelle combinaison Produit/Marché - Technologie - Organisation, soit une combinaison des trois types d'innovation décrits plus haut. La typologie de base est donc abandonnée peu à peu, chaque catégorie (produit, technologie, processus) devenant une qualité, une dimension de toute innovation.

1.1.2 Différentes intensités d'innovation ?

Qu'y-a-t-il de commun entre un nouveau rasoir à quatre lames (qui se distingue donc des rasoirs à trois ou deux lames) et l'iPhone dont nous venons de parler plus haut, et qui réunit en un seul objet un téléphone, un navigateur Web, un lecteur multimédia et un ordinateur portable ?

Il existe une distinction classique entre l'**innovation incrémentale**, qui ne fait qu'ajouter une ou quelques caractéristiques à un objet classique (le rasoir), et l'**innovation radicale**, qui crée un couple produit/marché nouveau, modifie les usages, les équilibres dans un secteur (le iPhone).

Il existe d'autres classifications des innovations selon leur degré de nouveauté, l'impact qu'elle peuvent avoir sur les marchés, l'effort organisationnel qu'elles nécessitent. On pourrait par exemple citer la typologie de Abernathy et Clark (Abernathy and Clark, 1988), qui distingue deux axes de

discrimination de l'innovation : son influence sur les marchés existants, et son lien aux technologies et compétences existantes. En croisant ces deux dimensions, on obtient alors la matrice suivante :

Tableau 1: Quatre types d'innovation d'après Abernathy et Clark (1988)

	L'innovation repose sur des technologies et des compétences habituelles	L'innovation nécessite des compétences et des technologies nouvelles
L'innovation crée un marché nouveau	Innovation de Niche	Innovation Architecturale
L'innovation exploite un marché existant	Innovation régulière	Innovation Révolutionnaire

L'intérêt de distinguer l'intensité des innovations est de suggérer que, selon le cas, les implications pour la ou les organisations porteuses de ces innovations vont être différentes. Des innovations incrémentales, ou régulières, ne remettent pas en cause la base de connaissances, de compétences, de technologies maîtrisées par l'entreprise. Tandis que des innovations plus radicales, révolutionnaires, et plus encore architecturales, imposent de remettre en cause de nombreuses habitudes, connaissances, voies d'accès aux marchés, etc.

Derrière ces typologies, se dégage l'idée que l'innovation nécessite souvent la remise en cause des modèles organisationnels, la transformation des connaissances, des métiers, etc. **Bref, que l'innovation implique des changements.** L'innovation n'est pas seulement un résultat classable dans une typologie : c'est aussi un "processus", un phénomène qui se déroule dans le temps.

1.1.3 L'innovation : un processus et un résultat

L'innovation, en tant que substantif, peut désigner en français tantôt un artefact¹ (une organisation, une voiture, un usage, peuvent être des innovations) ou un processus (l'innovation est "le processus consistant à créer" une nouvelle organisation, une nouvelle voiture, un nouvel usage). Cet emploi du mot "innovation" est courant et on le retrouve dans des expressions telles que "*projet d'innova-*

1. Le terme artefact provient de la locution latine "arte factum", et signifie littéralement "quelque chose produit par l'homme". Cela permet de distinguer un résultat artificiel, produit par l'homme, d'un phénomène naturel (d'après le Dictionnaire en ligne du Centre National de Ressources Textuelles et Lexicales). C'est dans ce sens originel que nous employons ce terme, plus général par exemple que le terme de "produit".

tion" ou bien "travailler dans l'innovation" : un ingénieur R&D de chez Renault intervient *au cours d'un processus* visant la fabrication d'une nouvelle voiture... Mais il ne sera pas livré "dans" la voiture résultat de ce processus ! Travailler dans "l'innovation" c'est donc être acteur d'une certaine catégorie de processus.

Les définitions que nous avons abordées jusqu'ici concernaient principalement l'innovation en tant que résultat (le résultat constitue une innovation incrémentale ou radicale, organisationnelle et / ou produit, etc.). Mais le terme "innovation" **désigne souvent les processus d'innovation**, c'est à dire son déroulement dans le temps. Classiquement, on a souvent décrit l'innovation comme étant un processus linéaire : des connaissances fondamentales sont créées par des scientifiques, dans des laboratoires, via des activités de recherche. Ces connaissances transitent par des laboratoires de recherche appliquée, puis vers des services de développement. Elles servent à mettre en production de nouveaux objets, qui sont alors commercialisés par des services marketing. Cette vision linéaire d'un processus d'innovation est critiquée depuis plusieurs années (Rosenberg and Kline, 1986). Par exemple, dans le Chain Linked Model (*ibid*) il existe encore des phases typiques dans un processus d'innovation, mais il y a aussi des boucles de rétroaction entre ces phases. De plus, dans ce modèle, les connaissances ne sont pas seulement à l'origine du processus (via la recherche) : à tout moment, et à chaque phase du processus d'innovation, des connaissances et des technologies sont nécessaires. L'innovation, comme processus, n'est donc pas simplement une trajectoire allant des connaissances à des artefacts. C'est un processus non linéaire, pouvant faire des boucles, un processus constamment irrigué de connaissances.

L'innovation dans un "projet collaboratif d'innovation" présente ce double aspect. Bien entendu, un PCI est dit "d'innovation", parce que le plus souvent il s'est fixé pour objectif de réaliser un ou plusieurs artefacts innovants. Mais un PCI est aussi dit "d'innovation" **parce qu'il est une façon d'organiser l'activité dans le temps**, entre individus, de façon à gérer un processus qui permettra de créer un ou plusieurs artefacts. C'est ce sens là qui nous intéresse dans cette thèse : l'innovation comme processus, comme phénomène se déployant dans le temps.

Section 1.2 De la question du projet à celle du processus

*"Mais qu'est-ce qui fait marcher un **projet** collaboratif d'innovation ?"*

Les PCI proposent d'organiser le processus d'innovation en mode projet. Dans le cadre des consortia formés en réponse aux appels d'offre de l'Agence Nationale de la Recherche (ANR) ou du Plan Cadre de Recherche et Développement (PCRD) par exemple, il est demandé explicitement aux industriels, aux PME, aux laboratoires, de se conformer à une gestion canonique en mode projet. Quelles sont les caractéristiques de ce mode de gestion ? Est-il compatible avec les caractéristiques des processus d'innovation ?

1.2.1 La gestion de projet

Un projet est une création collective, organisée dans le temps et l'espace, soumise à une triple contrainte (Garel et al., 2003) :

- le temps (le projet a un début et une fin programmée)
- les ressources (l'activité doit être réalisée avec un montant fini de ressources, qu'elles soient humaines, financières ou techniques)
- les spécifications techniques (l'activité doit produire un résultat conforme à certains impératifs techniques).

De ce fait, le projet a un certain nombre de caractéristiques (voir encadré suivant).

Selon Garel (Garel, 2003), c'est seulement à partir des années 1950 que des acteurs, des outils et des pratiques spécifiques à ce mode de gestion se sont érigés en un véritable modèle, justement sous l'impulsion de grands projets étatiques, tels que ceux liés à la conquête spatiale. Des institutions telles que le Project Management Institute (le PMI, créé en 1969), ont contribué à mettre au point et à diffuser des outils spécifiques à la gestion de projets. Cet institut a finalement réuni un véritable corpus dédié à la gestion de projet : le Project Management Body of Knowledge (PMBOK). Ce PMBOK inspire aujourd'hui encore des milliers de consultants et d'ingénieurs spécialisés dans la gestion de projet.

Encadré 1 : Les caractéristiques d'un projet selon Midler (Midler, 1996)

Le projet se définit comme une activité :

- 1 visant à atteindre un **but global** en réponse à un besoin exprimé avec plus ou moins de clarté (par exemple, "marcher sur la Lune" est un objectif plus précis que "améliorer les conditions de travail"). Il y a donc derrière le projet un engagement pour atteindre un résultat pré-défini;
- 2 **spécifique**, c'est à dire singulière, non routinière. L'organisation en projet suppose que l'on veut réaliser un objet, un service, une prestation unique, non reproductible;
- 3 **combinatoire**, pluridisciplinaire, le projet devant intégrer une grande diversité de contributions.;
- 4 **soumise à l'incertitude**, qui par définition est associée à une activité qui va structurer une réalité à venir;
- 5 **s'inscrivant dans une temporalité bornée, irréversible et historique** : un projet a un début et une fin annoncée (des bornes). De plus, à mesure de son avancée dans le temps, les décisions "gèlent" les possibles, rendant les retours en arrière impossibles (irréversibilité), le futur du projet étant alors lié à son passé, aux chemins qui ont été pris (c'est son caractère historique).
- 6 **soumise à des variables exogènes**, le projet restant un système ouvert, sensible aux influences des événements et ou des acteurs extérieurs à l'entreprise.

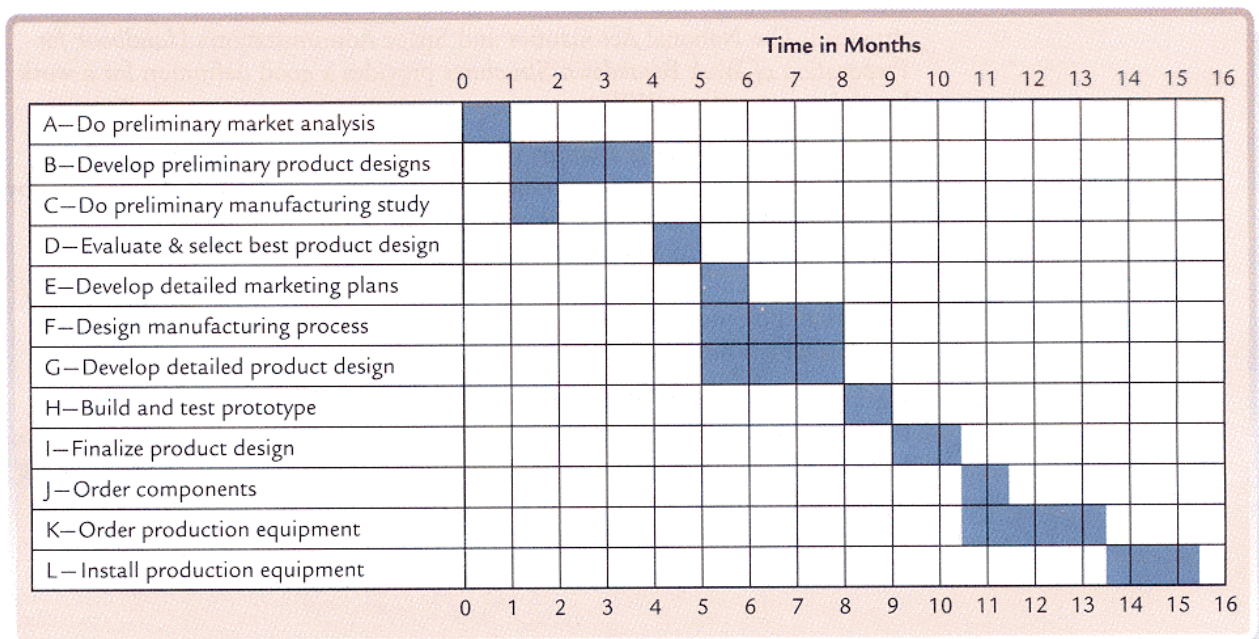
Les fondements de la gestion de projet classique sont les suivants :

- un **découpage de l'activité** en chantiers (ou *work packages*), ou en tâches distinctives. On utilise souvent pour ce faire la méthode du PMBOK : la *Work Breakdown Structure* (WBS). Chaque chantier étant alors placé sous la responsabilité d'un acteur (individu, équipe, entreprise), se voit allouer des ressources et des objectifs en terme de délais et de résultats. Par exemple, sur un projet informatique, on aura très souvent un chantier "analyse fonctionnelle", chargé de recenser les besoins des utilisateurs, un chantier "développement", chargé de produire le logiciel, ou encore un chantier "validation", chargé de vérifier que le logiciel développé correspond bien aux spécifications issues du chantier "analyse fonctionnelle";
- une **planification** de l'activité dans le temps : les tâches à réaliser doivent suivre une certaine logique. Il existe un "chemin critique", pour le projet, qui doit, avant de passer à une phase ulté-

rière, clôt le chantier précédent. Par exemple, dans le cas des projets informatiques, il est théoriquement nécessaire de clôturer les spécifications avant de commencer le développement du logiciel répondant, justement, à ces spécifications (le chantier "développement" suit le chantier "analyse fonctionnelle"). L'outil le plus populaire de la planification de projet est le célèbre diagramme de Gantt¹, qui permet d'avoir une représentation visuelle de l'ordonnancement logique des tâches dans le temps (voir figure suivante);

- une **organisation du pilotage de l'activité** : on met en place une direction du projet, chargée de contrôler l'avancée du projet, de mesurer les écarts entre ce qui avait été planifié et ce qui est réalisé, de mettre en place des mesures correctrices, de procéder aux arbitrages, d'allouer des ressources et de rendre compte de l'avancée du projet à ses commanditaires. On distingue aussi communément, la **maîtrise d'oeuvre de la maîtrise d'ouvrage**. Pour prendre l'exemple du bâtiment, la maîtrise d'ouvrage est représentée par le propriétaire assisté de son architecte, tandis que la maîtrise d'oeuvre est représentée par l'entrepreneur de travaux (en fait, le chef de projet) qui coordonne l'activité des différents corps de métier participant à la construction de l'édifice.

Schéma 2: Une exemple fictif de Diagramme de Gantt.



1.2.2 La gestion des projets d'innovation

1. le diagramme porte le nom de son inventeur, Henry Laurence Gantt, qui créa cet outil en 1910

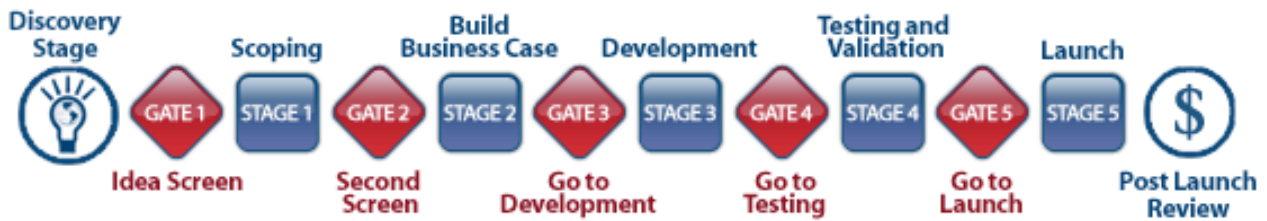
a) Des méthodologies spécifiques pour les projets

d'innovation

Depuis de nombreuses années, certains auteurs pensent que les projets visant à l'élaboration d'objets innovants peuvent être rendus plus efficaces en suivant un certain nombre d'étapes logiques et pré-définies. C'est par exemple le sens du travail de Cooper (Cooper, 1976, Cooper, 1990) qui aboutit à son célèbre Stage Gate Model™, devenu depuis marque déposée et exploité par le cabinet de conseil Product Development Institute Inc., fondé par Cooper lui-même. Pour améliorer les chances de succès du lancement d'un produit nouveau, Cooper préconise de suivre des phases (Stages) séparées par des ponts (Gates) qui sont l'occasion de faire un certain nombre de choix de type "GO/KILL", c'est à dire de trier parmi les idées proposées au départ. De cette façon, et partant d'un premier "stock" d'idées, les idées ayant le plus de potentiel sont évaluées, ce qui permet de limiter les investissements en amont, de ne pas lancer des projets sur des idées n'ayant pas de bon potentiels commerciaux et / ou une bonne faisabilité technique. L'enchaînement de ces phases et ponts est le suivant (source : <http://www.prod-dev.com/stage-gate.shtml>) :

- Discovery Stage : phase durant laquelle des idées innovantes sont générées et listées.
- Stage 1 - Scoping : une évaluation rapide des idées est réalisée, en fonction de leurs perspectives commerciales, de leurs impacts technologiques.
- Stage 2 - Build Business Case : La faisabilité technique et commerciale des projets candidats est évaluée de façon plus précise, en particulier en élaborant des ébauches de planification des projets.
- Stage 3 - Development : Pour les projets retenus, le plan de développement est détaillé, les étapes de fabrication sont décrites, les budgets sont évalués.
- Stage 4 - Testing and Validation : on valide le projet finalement retenu, le processus de production, les retombées commerciales, les retours des clients potentiels.
- Stage 5 - Lancement : la production et la commercialisation du produit nouveau est lancée.

Schéma 3: Le Stage Gate Model™ (source : <http://www.prod-dev.com/stage-gate.shtml>)



On est frappé par les similitudes entre ce type de gestion de projet et le modèle linéaire de l'innovation. Ici, l'activité est organisée pour parcourir un chemin allant des idées à des objets commercialisables. Ainsi, le processus devant suivre un certain nombre de phases connues d'avance, il semble logique d'organiser ce type de travail en mode projet (le découpage en tâches, la planification, sont des éléments clefs de la gestion par projet).

b) Un modèle défendu par les institutions

Aux Etats-Unis, le succès des méthodes de gestion de projet fut tel que les administrations fédérales ont pris l'habitude d'imposer que les réponses à certains appels d'offre recourent à une présentation projet utilisant des outils comme les WBS ou les GANTT (Garel, 2003).

Ce succès des méthodes de gestion de projet s'est également répandu en Europe, jusqu'au niveau des institutions en charge de promouvoir l'innovation. Ainsi, la Direction Générale de la Recherche de la CE, dans ses appels à projets du PCRD, demande explicitement aux consortia répondants de décrire leurs PCI en utilisant les outils de type PMBOK décrits plus haut. L'encadré ci dessous est un extrait du document "Guide for Applicants- Collaborative projects" qui est envoyé aux porteurs de projets collaboratifs désirant soumettre une proposition dans le cadre du 7ème PCRD (nous avons fait ressortir en gras les termes propres à la gestion de projet que nous avons abordés plus haut) :

Encadré 2 : Extrait du Guide pour les projets candidats au 7ème PCRD.

A **detailed work plan** should be presented, broken down into **work packages** (WPs) which should follow the logical phases of the implementation of the project, and include consortium management and assessment of progress and results. (Please note that your overall approach to management will be described later, in section 2).

Please present your plans as follows:

- i) Describe the overall strategy of the work plan (maximum length: 1 page).
- ii) Show the **timing of the different WPs** and their components (**Gantt chart** or similar)
- iii) Provide a **detailed work description broken down into work packages**:
 - Work package list (please use table 1.3a);
 - Deliverables list (please use table 1.3b);
 - List of milestones (please use table 1.3c);
 - Description of each work package (please use table 1.3d);
 - Summary effort table (please use table 1.3e)
- iv) Provide a **graphical presentation** of the components showing their interdependencies (**Pert diagram** or similar)
- v) Describe any significant risks, and associated contingency plans.

Note:

- The number of work packages used must be appropriate to the complexity of the work and the overall value of the proposed project. **The planning should be sufficiently detailed** to justify the proposed effort and allow progress monitoring by the Commission.

Au niveau français, si l'on se penche par exemple sur les appels à projets de R&D publiés dans le cadre du dispositif "pôles de compétitivité", on trouve la même orientation, et le même type d'exigence pour les projets candidats. Par exemple, dans l'appel publié en Février 2008, on peut lire dans le cahier des charges l'extrait suivant :

"[...] *une description détaillée du projet (30 pages maximum), au format libre, précisant notamment : [...] - le contenu détaillé des travaux envisagés sous forme de « fiches de lots » (ou*

équivalent), les responsabilités de chaque partenaire, le déroulement et le phasage des travaux, avec l'identification de points éventuels d'arrêt du programme [...]"

Les projets collaboratifs d'innovation sélectionnés dans le cadre de ces appels d'offre doivent donc passer sous les fourches caudines des règles de la gestion de projet et présenter leurs travaux selon les règles des WBS, des Gant, de l'organisation en mode projet.

1.2.3 L'innovation est-elle compatible avec la gestion de projet ?

Pourtant, avec des visions moins linéaires du processus d'innovation, les notions traditionnelles de gestion de projet sont remises en cause. En effet, on peut se demander si l'innovation elle-même est un processus suffisamment prédictible et descriptible, pour se plier à l'exercice de découpage et de planification imposé par les projets.

a) Peut-on planifier l'innovation ?

Le postulat de la gestion par projet est qu'il est possible de décrire avec une certaine précision quel sera le cours à venir du projet (Gantt), quelles seront ses étapes (WBS) et quelles ressources seront nécessaires à la réalisation des tâches ainsi prévues. Latour (Latour, 2003) prend le parfait contre pied de ce postulat en affirmant au contraire que *"vouloir gérer une innovation en exigeant de l'innovateur qu'il puisse dresser une liste complète des éléments dont il doit pouvoir chiffrer les probabilités revient à lui demander soit de ne plus innover soit de mentir [...]* Sous prétexte qu'il s'agit d'une innovation et non d'une invention, on croit que le processus de recherche peut passer de la glorieuse incertitude de la science à l'application d'une idée déjà formée dans la réalité [...] Quant à administrer une innovation en lui demandant de suivre le chemin qu'elle avait prévu à l'avance cela revient à demander aux innovateurs de ne pas innover. " (Latour, 2003 p15).

Pour Latour il y a donc, dans le mode classique de gestion de projet, une réelle incompatibilité avec le déroulement d'un processus d'innovation. D'une part parce qu'il est **impossible de connaître l'état futur du monde**, donc de planifier l'activité, et d'autre part parce que, **suivre un chemin tracé d'avance, est fondamentalement contraire à l'idée d'innovation**, l'innovation devant au contraire explorer, apprendre chemin faisant, se réorienter en fonction des aléas et des découvertes. L'innovation n'est pas un processus linéaire, mais plutôt tourbillonnaire. Nous aurons l'occasion de revenir plus loin sur la vision du processus d'innovation selon la Sociologie de l'Acteur Réseau

(SAR) introduite par Latour et ses collègues. Mais à ce stade de notre exposé, soulignons que le cheminement de l'innovation, pour certains auteurs, n'est pas nécessairement compatible avec la Gestion de Projet.

b) Un projet sans objectif ?

Pour d'autres auteurs (Lenfle and Midler, 2003), le débat reste ouvert. Certes, l'innovation remet en cause certains fondements de la gestion de projet classique, comme par exemple :

- les projets d'innovation sont souvent **ambigus** d'un point de vue stratégique, car ils proposent des produire des objets nouveaux, qui viennent modifier l'ordre établi (lorsque la société Apple lance ses premiers lecteurs de mp3 portables, elle ne sait pas qu'elle va contribuer à modifier le secteur de la production musicale dans le monde);
- dans l'innovation, il n'y a souvent **pas de demande explicite** de la part des futurs consommateurs. Il est donc difficile de définir une demande *ex ante*, servant d'objectif stable pour le projet;
- de ce fait, il est difficile de **définir a priori les résultats** du projet, ses livrables;
- de plus, les projets d'innovation reposent souvent sur des **connaissances nouvelles**, non stabilisées, qui vont être explorées en cours de projet. On a donc du mal à définir les ressources sur lesquelles le projet pourra compter;
- enfin, dans l'innovation, **l'horizon temporel est contingent**. Il est difficile, lorsque l'on se lance dans l'exploration d'un champ nouveau, de déterminer *a priori* quelles sont les échéances, quels sont les livrables à court terme ou les résultats à plus long terme.

Cependant, si l'on se réfère à présent aux caractéristiques d'un projet selon Midler (Midler, 1996) rappelées dans l'encadré 1, on constate que seule la caractéristique 1 (l'activité projet vise à atteindre un **but global** en réponse à un **besoin exprimé**) est fondamentalement remise en cause par ces remarques. Pour le reste, le mode projet correspond à la nature de l'innovation : le projet d'innovation est bel et bien singulier et unique, il combine des contributions pluridisciplinaires, il est soumis à l'incertitude, il est soumis à des variables exogènes, etc.

Dans ces conditions, à la différence d'un projet classique de développement, on ne tente pas de converger vers la réalisation du but défini *a priori* : "*le projet doit être ici compris comme l'organisation de l'exploration d'un nouvel espace de conception dans lequel ni les concepts ni les connaissances ne sont clairement définis, dans un cadre temporel lui aussi à préciser*" (Lenfle, 2003). De ce fait, dans un projet d'innovation, **les objectifs à atteindre vont se préciser peu à peu.**

c) Plusieurs sortes de projets : R,D ou Innovation ?

Pour certains auteurs, on peut penser que parmi ce que l'on appelle généralement des "projets d'innovation", se cachent divers types de projets. La distinction introduite par Lemasson, Weil et Hatchuel (Le Masson et al., 2006) entre l'innovation, la recherche et le développement (voir encadré ci dessous) est selon nous très utile, car elle nous montre que ces trois termes désignent des activités de nature différente... Et que par conséquent, la gestion par projet est plus ou moins bien adaptée selon le processus mené.

Encadré 3 : Les activités de la RID selon Lemasson, Weil et Hatchuel (2006)

On passe de la R&D à la RID, en distinguant trois activités définies de la façon suivante :

- **La Recherche (R)** est un processus contrôlé de **production de connaissances**. Elle s'appuie sur des dispositifs techniques et des processus de production servant à renforcer la validité, la robustesse de ses résultats. Elle cherche à répondre à des questions de recherche autonomes, ou issues de concepteurs;
- **Le Développement (D)** est un processus de spécification contrôlée. Il active des compétences et des connaissances **existantes** afin de spécifier un système, qui doit répondre à des critères bien définis et dont la valeur a déjà été clairement conceptualisée, voire évaluée;
- **L'Innovation est une activité de Conception Innovante (I)**. Elle a pour mission d'explorer un champ nouveau, de proposer des concepts d'objets ou de services nouveaux, de les étendre, de dialoguer avec la R et le D.

Selon ces auteurs, ces trois types d'activités doivent reposer sur des principes de gestion différents. La fonction D a pour but la réalisation d'un objectif (la réalisation d'un produit, basée sur un cahier des charges stable), elle s'appuie sur des ressources identifiées (en particulier des connaissances) réunies dans des équipes projet. Son horizon temporel est fixé par les jalons standards du projet. **Bref, un processus de développement se prête parfaitement à une gestion de projet classique, avec planification, lotissement, pilotage, etc.**

En revanche, pour des processus de Conception Innovante (I) ou de Recherche (R), il faut adopter des principes de gestion qui se distinguent en partie de la gestion de projet classique. **Empiriquement**, Aggeri et Segrestin (Aggeri and Segrestin, 2007), grâce à une étude de cas sur le développe-

ment de la Laguna II par Renault ont d'ailleurs montré que l'application des méthodes récentes de gestion de projets (simulations numériques des prototypes, gestion multi-projets, co-développement avec les fournisseurs) appliquées à des projets visant à mettre au point des objets très innovants pouvaient avoir des effets négatifs sur les résultats obtenus.

La question qui se pose donc aux projets collaboratifs d'innovation est de savoir s'ils correspondent à un processus de type R, D ou I, (voir s'ils sont un assemblage des trois), afin de savoir si oui ou non les méthodes habituelles de gestion de projet peuvent s'appliquer. Ces travaux nous suggèrent aussi que dans des projets où l'activité de conception innovante est importante, il nous faudra trouver d'autres moyens de gérer l'activité. **Or, les modèles de gestion propres à ce type de processus restent en grande partie à inventer** (Weil and Hatchuel, 2003). Les méthodes de gestion de projets d'innovation devraient prendre en compte la nature contingente, exploratoire et imprévisible des processus d'innovation.

A partir de cette réflexion sur le "projet d'innovation", nous pouvons donc opérer un premier glissement sémantique : questionner un projet d'innovation, c'est aussi questionner la place du projet **dans un processus d'innovation**. Le projet n'est qu'un moment de ce processus. Pour comprendre les difficultés rencontrées par les PCI, et pour comprendre ce qui fait "marcher" ces projets, il nous faudra aussi comprendre comment fonctionnent les processus d'innovation, comment les projets d'innovation s'intègrent dans le cours de tels processus. La question est d'autant plus importante que la plupart des PCI sont construits sur des objectifs innovants, situés au-delà de l'état de l'art. Le plus souvent, ce ne sont pas de simples projets de développement (D) et ils comportent une part de recherche (R) et de conception innovante (I). Ils s'inscrivent donc dans des processus non linéaires, complexes, pas aussi prédictibles que la logique "projet" pourrait l'exiger.

Section 1.3 De la collaboration aux collectifs

"Mais qu'est-ce qui fait marcher un projet collaboratif d'innovation ?"

Dans un livre consacré aux partenariats d'innovation (Fréchet, 2004), Marc Fréchet intitule un chapitre d'une dizaine de pages : "les inséparables : innover-coopérer", dans lequel il rappelle que l'innovation nécessite nécessairement une action collective. Une innovation (en tant qu'artefact) ne réussira que si de nombreuses parties prenantes adhèrent à cet objet nouveau, participent à son élaboration. Ce constat, et la façon dont il est énoncé, imposent deux remarques : d'une part, lorsque plusieurs acteurs participent au même processus, certains auteurs parlent de collaboration (un "projet collaboratif") ou de coopération (les inséparables "innover - coopérer"). D'autre part, l'innovation coopérative (ou collaborative) est en quelque sorte un pléonasme, puisque l'innovation, par nature, implique la participation d'un grand nombre d'acteurs... Ce qui est d'autant plus vrai que nous nous intéressons ici à un projet *collaboratif* d'innovation !

1.3.1 Une agrégation d'organisations

Un PCI est porté par un consortium d'organisations : laboratoires, entreprises, industriels, joignent leurs efforts pour un temps donné, dans le cadre d'un projet. On peut donc analyser un PCI en se référant à la littérature portant sur les Réseaux Inter Organisationnels d'Innovation (RIOI), c'est à dire à l'agrégation d'organisations dans le cadre de projets innovants.

La forme, la configuration ou les caractéristiques de ces RIOI sont des objets de recherche en soi, traités par de nombreux auteurs. D'un point de vue macro économique pour commencer, les RIOI semblent augmenter en nombre dans le monde depuis une trentaine d'années (Gulati and Gargiulo, 1999, Hagedoorn et al., 2000). Devant l'ampleur prise par ce phénomène, de nombreux efforts ont été faits pour classifier ces RIOI, en dresser des catégories, établir des taxonomies (Freeman, 1991, Snow et al., 1992, Grandori, 1997, Belussi and Arcangeli, 1998). Le "*projet conjoint de recherche*", forme ressemblant aux PCI qui nous intéressent ici, est d'ailleurs l'une des formes possibles d'un RIOI selon Freeman (1991).

Mais ces RIOI évoluent dans le temps et ne sont pas des configurations stables, ce qui limite l'intérêt des taxonomies où des "*préoccupations morphologiques prennent le pas sur une vision davantage processuelle*" (Desreumaux, 2001). On trouve donc aussi des études nombreuses tentant de comprendre l'évolution de ces RIOI, en fonction d'un certain nombre de variables. Par exemple, les conditions d'origine des RIOI, et l'influence de ces conditions ont été analysées (Doz et al.,

2000Doz, Olk & Ring 2000) : il semble qu'elles n'ont pas d'impact clair sur le cheminement des RIOI. D'autres se sont intéressés à l'influence de la structure même de ces RIOI : l'intensité des liens entre partenaires organisationnels, la forme prise par le réseau, etc. (Gulati & Gargiulo, 1999). Ils montrent ainsi que l'évolution des RIOI est liée à des facteurs structurels, que le réseau évolue en fonction des liens passés, et des liens tissés entre eux par les membres du réseau. Le principal reproche que l'on pourra faire à ces approches est qu'elles privilégient des analyses au niveau inter-organisationnel, sans toujours chercher à comprendre quelle est l'origine et la nature de ces liens entre organisations.

En particulier, il semble que les liens entre individus, répartis entre diverses organisations, soient décisifs pour comprendre les RIOI et leur évolution. Les relations inter-organisationnelles se construisent au cours du temps, en fonction des expériences vécues par les acteurs individuels (Van de Ven and Ring, 1994, Cherni and Frechet, 2006). Les PCI sont alors des moments de mise à l'épreuve des RIOI, durant lesquels **les acteurs individuels s'engagent mutuellement dans des actions communes**, et ont l'occasion d'évaluer leurs attentes mutuelles, les résultats de leurs coopérations, au-delà des contrats formels.

En fait, il n'est pas nécessaire de "naturaliser" un niveau d'analyse par rapport à un autre. Comme le montrent M. Grossetti et M-P. Bès (Grossetti and Bès, 2001), réseaux inter-individuels et réseaux inter-organisationnels d'innovation sont fortement encastrés l'un dans l'autre. Par exemple, les relations entre deux amis peuvent donner naissance à une coopération entre deux organisations, cette relation inter-organisationnelle pouvant même "survivre" à l'amitié entre les deux initiateurs de la coopération. Et inversement, des liens inter-individuels forts peuvent émerger dans le cadre d'un arrangement institutionnel, comme dans un réseau scientifique, une coopération, un RIOI d'une forme ou d'une autre.

Cette littérature sur les RIOI nous enseigne que la "collaboration" inter-organisationnelle est fondée sur des relations entre individus, qui sont la matière première de ces collaborations : c'est dans ces relations inter-individuelles que s'ancrent les choix des partenaires, que se construisent les attentes et les objectifs communs, que les résultats sont évalués. Inversement, la structure relationnelle du réseau d'individus est encastrée dans la structure organisationnelle portant le PCI : les individus participant à un PCI sont répartis dans plusieurs organisations, ils subissent et surmontent les frontières organisationnelles existant dans le RIOI. On pourrait parler ici de collectifs d'individu distribués (entre plusieurs organisations).

Dans cette thèse, nous accordons une grande importance au niveau inter-individuel, à ce qui se passe entre les individus, au cours des processus d'innovation. D'abord parce que, nous venons de le voir, les relations inter-organisationnelles sont indissociables de ce qui se passe "à hauteur d'homme". Mais aussi - et surtout - parce que l'innovation est une activité cognitive, qui manipule des connaissances, et que ces connaissances naissent, circulent et évoluent au niveau inter-individuel. Dans le point suivant, nous faisons une revue de ce que l'on sait de l'importance des connaissances dans les processus d'innovation. Cela nous permet d'affirmer à quel point le niveau inter-individuel de la collaboration est essentiel pour nous.

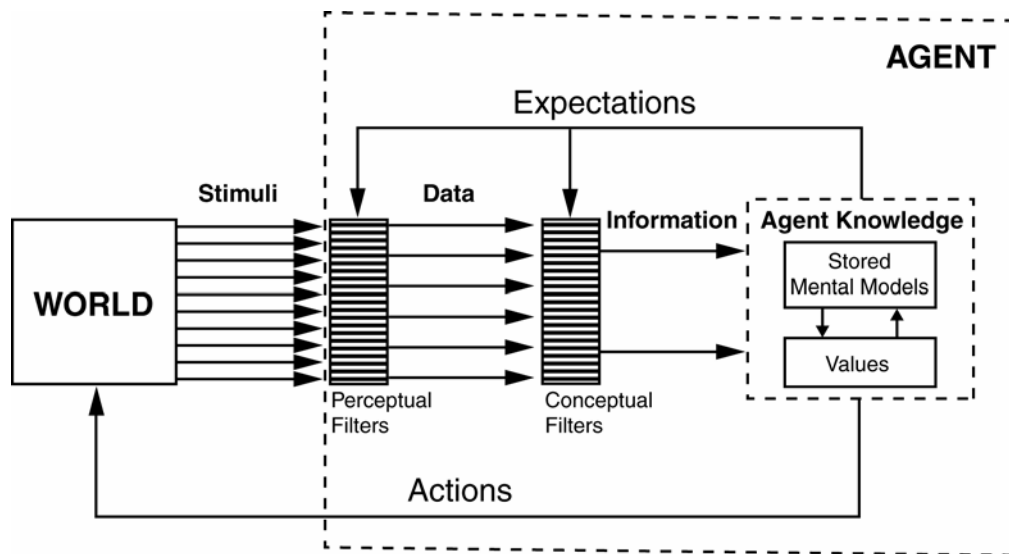
1.3.2 L'importance des connaissances

Pour mieux comprendre ce point, il nous faut comprendre quelle est la nature de la "connaissance", quelle est son importance dans l'innovation.

a) Données, Informations et Connaissances

Rappelons en préambule que l'on peut distinguer les données, de l'information et des connaissances. Pour reprendre les définitions proposées par les économistes Boisot et Canals (Boisot and Canals, 2004), on pourra dire que les données sont obtenues après un traitement des innombrables stimuli issus du monde qui entoure l'agent. Tous les stimuli ne sont pas pris en compte par un agent : il y a un filtre perceptuel qui permet de ne garder qu'une part de ces stimuli sous forme de **données** (data). Ces données sont à leur tour interprétées par l'agent au travers d'un filtre conceptuel. Ce filtre est lié aux croyances, aux attentes, aux intérêts de l'agent sur le monde à un moment donné. Ce filtre permet alors à l'agent d'extraire des **informations** depuis cette masse des données, les informations étant en raisonnement avec les attentes, les croyances, les intérêts de l'agent. Les informations peuvent être considérées comme étant, à un moment donné, la part utile des données pour l'action de l'agent. Dans ce modèle, c'est cet ensemble de croyances, de valeurs, de schémas qui constitue les **connaissances**.

Schéma 4: "l'agent dans le monde" selon Boisot et Canals (2004)



Les connaissances sont donc un assemblage complexe qui justement permet de traiter le monde, de filtrer stimuli, données et informations. Le rôle des connaissances est central dans une telle boucle, puisque ce sont ces connaissances qui, en pesant sur les filtres perceptuels et conceptuels, déterminent en grande partie le rapport de l'agent au monde.

b) Divers types de connaissances

Comme le rappelle Amandine Pascal (Pascal, 2006), on peut distinguer dans la littérature une double typologie descriptive de la connaissance :

- d'une part, la dimension individuelle ou collective de la connaissance : la connaissance peut être liée à des talents, des compétences intellectuelles (ou physiques) individuelles, mais elle peut aussi être activée et mobilisée par des groupes, des équipes, des organisations, etc. On pourra par exemple distinguer en partie les connaissances d'un ingénieur (sa formation, son expérience, ses savoir-faire) des connaissances de l'organisation à laquelle il appartient (les bases de données, les processus organisationnels, les brevets, etc.).
- d'autre part, la dimension explicite ou tacite de la connaissance : cette distinction a été popularisée en gestion par les chercheurs japonais Ikujiro Nonaka et Hirotaka Takeuchi (Nonaka and Takeuchi, 1995). Les connaissances explicites sont codifiées, stockées, transmises, tandis que les connaissances tacites sont liées à des savoir-faire, des pratiques, des tours de main. Ces connaissances tacites sont souvent informelles, non codifiées, et difficilement transférables. Par exemple, le mode d'emploi d'une installation technique, sa documentation, ses procédures écrites, qui sont

des connaissances explicites, diffèrent des connaissances tacites des ouvriers spécialisés qui savent faire marcher cette installation, qui sont souvent non codifiées, fruit de l'expérience, et difficilement transférables, à moins d'un long apprentissage.

Cependant, ces diverses dimensions ne sont pas exclusives et pour certains auteurs, elles sont intrinsèquement liées. Par exemple, la distinction entre connaissance tacite et connaissance explicite est habituellement attribuée à Michael Polanyi (Polanyi, 1958). Or, pour cet auteur, les connaissances tacites sont partout et se mêlent aux connaissances explicites. Ce dernier donne l'exemple du marteau : celui qui sait se servir d'un marteau peut expliciter son fonctionnement (tenir le marteau par le manche, maintenir le clou, frapper le clou avec la cognée, etc.). Pourtant, pour enfoncer réellement un clou, il y a une part de savoir faire, de connaissance tacite nécessaire à l'utilisation du marteau. On ne peut pas se concentrer seulement sur la tenue du marteau, l'angle de frappe, la force, l'angle du clou, (bref, ne compter que sur les connaissances explicites) sans risquer de louper le dit clou. Pour parvenir à planter le clou, le marteau devient plutôt une extension de la main, et une grande part de son utilisation demeure tacite (non conscientisée, explicitée) pour le bricoleur. Connaissances tacites et explicites sont donc ici intrinsèquement liées.

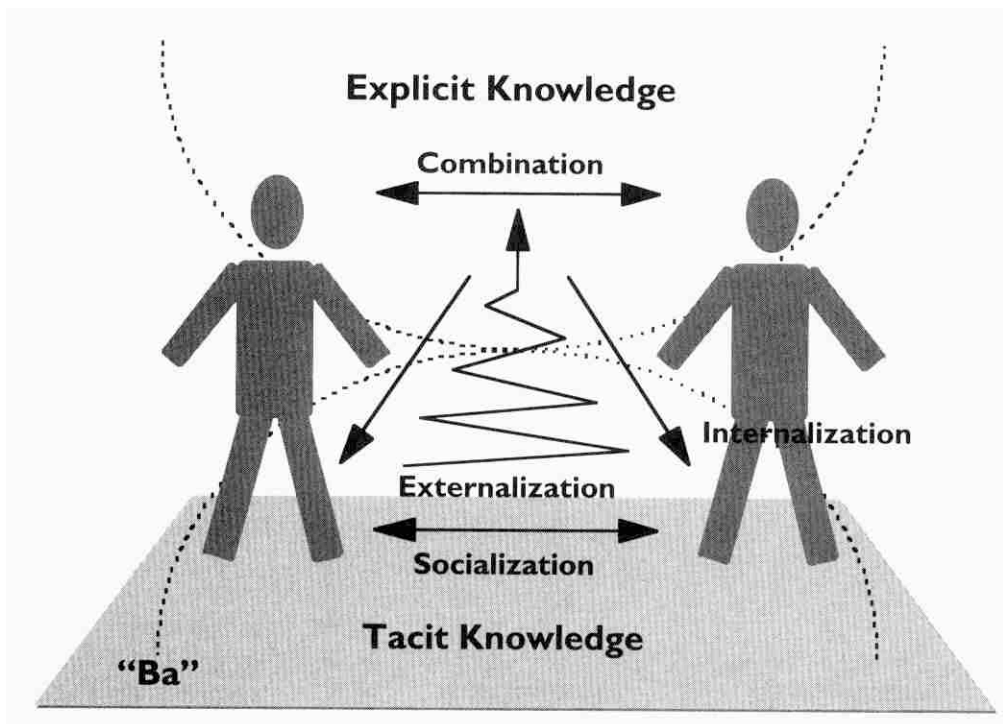
Plus proche de nous, Cook et Brown (Cook and Brown, 1999) précisent que ces quatre aspects de la connaissance (explicite, tacite, individuelle et collective) sont bien des formes différentes de la connaissance détenue, possédée, mais qu'elles ne suffisent pas à désigner tout ce qui est su. Ils introduisent donc une cinquième catégorie de connaissance, le "knowing", qui désigne cette part de savoir qui ne se révèle que dans l'action. Pour mieux comprendre ce knowing, les auteurs développent l'exemple du vélo. Il existe une connaissance explicite correspondant à la pratique du vélo : on peut expliquer la position sur la machine, le fonctionnement du pédalier, des freins, etc. Mais cette connaissance ne suffit pas pour un novice à faire du vélo. Il existe donc, parallèlement, une connaissance tacite liée à la pratique du vélo. Cette connaissance s'acquiert en pratiquant le vélo, elle est en quelque sorte inscrite dans le corps du cycliste. Pourtant, si l'on demande à un cycliste amateur de quel côté on doit tourner le guidon du vélo pour rétablir l'équilibre de la machine si celle-ci penche à droite, nombre d'entre eux ne pourront répondre... Alors que, en situation réelle de déséquilibre, ils sauraient parfaitement réaliser l'ensemble des mouvements coordonnés pour ne pas chuter. Cette connaissance là, qui ne s'exprime et n'existe que dans le cadre de l'action est nommée "knowing" par les auteurs. Ce n'est pas une connaissance "possédée", mais une connaissance "agit".

c) Les connaissances et l'innovation

Dans les années 80, des entreprises japonaises comme Honda, Toyota ou SONY rencontrent de grands succès sur les marchés internationaux, grâce à leur faculté à lancer sur le marché des produits innovants à un rythme soutenu. Selon des chercheurs japonais (Takeuchi and Nonaka, 1986), ce succès est dû aux processus cognitifs originaux mis en place dans les entreprises japonaises, processus qui donnent une place à part entière aux connaissances tacites, là où, par tradition, les entreprises occidentales privilégient les connaissances explicites. Ces processus permettent de maintenir une diffusion importante des connaissances dans l'entreprise, connaissances qui servent de socle aux activités d'innovation.

Les constats de Nonaka et Takeuchi s'appuient sur un double cadre théorique : d'une part, le modèle SECI de la conversion des savoirs, et d'autre part le concept du "Ba" (Nonaka and Kono, 1998).

Schéma 5: Le Ba et la conversion des connaissances (ibid)



Le "Ba" est un concept japonais qui n'a pas d'équivalent dans les langues occidentales. Il désigne, selon les auteurs, un *espace émergent de relations partagées*. Cet espace est à la fois physique et mental et sert de fondation à la création de connaissances. En s'engageant dans un Ba, un individu transcende ses propres limites cognitives. A partir de ce Ba, des connaissances vont émerger, se partager, se transformer et se combiner selon un cycle.

Le cycle de conversion des connaissances est nommé SECI, qui est l'acronyme des quatre modes de conversion de connaissances proposés par les auteurs : Socialisation (S), Externalisation (E), Combinaison (C) et Internalisation (I). Nous décrivons ci dessous ces quatre modes :

- **Socialisation** : décrit le partage de connaissances tacites entre individus. Ce partage nécessite l'existence d'activités conjointes. Les auteurs insistent ici sur la proximité physique, nécessaire selon eux pour que cet apprentissage des connaissances tacites puisse avoir lieu.
- **Externalisation** : c'est l'expression des connaissances tacites et leur traduction dans une forme compréhensible. Les auteurs insistent ici sur le rôle des images, des métaphores, des histoires, pour rendre ces connaissances plus explicites.
- **Combinaison** : A ce stade, les connaissances rendues explicites peuvent être combinées pour créer des ensembles plus complexes. La combinaison s'appuie sur trois mécanismes. Premièrement, l'organisation doit capter et intégrer ces connaissances (via des bases de données par exemple). Deuxièmement, ces connaissances sont disséminées, au travers de réunions, de présentations. Enfin, elles sont éditées, inscrites sous des formes autorisant leur diffusion (plans, rapports, etc.)
- **Internalisation** : Finalement, ces connaissances nouvelles vont se banaliser, se convertir en connaissance tacite pour l'organisation. Cela passe par la formation, la participation à des projets utilisant ces connaissances nouvelles, etc.

La vision de ces auteurs, en particulier au travers du concept du Ba, montre un cycle de création et de diffusion des connaissances qui est intimement lié aux institutions sociales dans lesquelles ont lieu les apprentissages. En outre, ils insistent plusieurs fois sur **l'importance des liens individuels et de pratiques partagées entre individus**, réunis dans un ensemble qui les "transcende" (le Ba).

1.3.3 *Les collectifs innovants*

Travail collaboratif, logiciel collaboratif, projet collaboratif : le "collaboratif" est un terme à la mode en management ou en sciences de l'information, chez les praticiens comme chez les chercheurs. La force des organisations, des projets, des entreprises, ce ne sont pas des individus, des stars, des managers, des entrepreneurs : ce sont les collectifs d'individus, des individus qui agissent ensemble. Il nous semble pourtant que le terme de "collaboratif" devrait être utilisé avec précaution. En effet, dans certaines disciplines des sciences humaines, la **distinction entre collaboration et coopération est essentielle**.

Par exemple, pour Dillenbourg (Dillenbourg, 1999), la **collaboration** implique une **situation** dans laquelle les pairs (c'est à dire les collaborateurs) ont peut d'asymétries entre eux (ils sont sur un même niveau hiérarchique par exemple). Dans cette situation, ils **interagissent de façon synchrone**, partagent des objectifs communs, construisent la compréhension commune qu'ils ont d'un problème.

En revanche, dans la **coopération**, il existe une division ex-ante du travail, chaque coopérateur travaillant sur une partie du problème, parfois de façon **asynchrone**. Nul besoin dans ce cas de partager un objectif commun. Ce sont des mécanismes de coordination qui vont rassembler les pièces du puzzle réalisées de façon relativement indépendantes par ailleurs. Il n'y a pas nécessairement de situation partagée.

Que se passe-t-il dans un PCI ? Sommes-nous dans une situation de collaboration ou de coopération ? Si l'on se tient aux définitions restrictives que nous venons de donner, il est possible que, dans un PCI, certains acteurs collaborent (les chefs de projets se rencontrent régulièrement, échangent de façon synchrone, sans asymétries, partagent une définition commune de leur projet), tandis que d'autres coopèrent (le projet est séparé en lots, des ingénieurs, des techniciens, des chercheurs travaillent de façon autonome sur ces divers lots, en fonction de la planification du projet).

Il nous faut donc nous méfier du mot collaboratif : derrière ce terme à la mode, se cachent des réalités très diverses, qui ne correspondent pas nécessairement à la définition stricte de la collaboration donnée par certains chercheurs. Pourtant, il est indéniable que les participants à un PCI vont mener un **processus collectif, c'est à dire impliquant un grand nombre de participants**. Derrière le

"collaboratif", il nous faudra donc prêter une attention particulière aux collectifs, c'est à dire aux agrégations d'individus réunis à l'occasion des PCI.

La littérature s'intéressant au rôles des individus et des agrégations d'individus dans un processus d'innovation est très vaste (le "Ba" évoqué plus haut en est un exemple). Il existe deux façons de considérer ces assemblages d'individus.

- **Le réseau**, étymologiquement, décrit la structure d'un tissu ou d'un filet, sa trame concrète. Le terme est également utilisé en géographie pour décrire le dessin général des voies de chemins de fer ou des routes. Un « réseau d'individus » désigne donc la structure prise par les relations entre ces individus : on peut décrire les noeuds (position, poids, etc.), les liens (leur longueur, leur nature, leur force, etc.), et la forme générale du filet ainsi construit (densité, taille, centralité, trous, etc.).
- **La communauté**, étymologiquement, désigne ce qui est mis en commun (comme dans un mariage) ou la participation en commun à quelque chose (comme une « communauté de peine" ou "de prière"). Le terme « communauté d'individus » met donc l'accent sur ce qui est partagé (mis en commun) par un ensemble d'individus, que ce soit des règles, un projet ou des ressources et qui est source d'identité pour chaque individu de la communauté.

Cependant, il est possible de décrire une agrégation d'individus en employant l'une et / ou l'autre de ces approches. Par exemple, une **communauté** de chercheurs regroupés dans un même laboratoire, participant à un même projet scientifique, partageant un même champs d'investigation, peut aussi être décrite structurellement, selon les grilles de lecture des **réseaux** d'individus : il y a des liens entre les membre de cette communauté, on peut en dessiner la structure, etc.

Pour cette raison, et pour désigner ces "agrégations" avec un terme ne faisant par directement référence à l'une ou l'autre de ces approches, **nous parlerons par la suite de "collectifs" dès lors que nous parlerons de façon générique d'une agrégation, d'un ensemble d'individus**. Ainsi, nous proposons de faire un deuxième glissement sémantique par rapport à notre question de départ. Pour comprendre la "marche d'un processus **collaboratif** d'innovation", compte tenu de l'importance des collectifs dans de tels projets, il nous faudra comprendre la place et le rôle de ces collectifs, souvent éclatés entre diverses organisations, dans le cours d'un processus **collectif** d'innovation.

Section 1.4 De la marche d'un projet au développement temporel d'un processus

*"Mais qu'est-ce qui fait **marcher** un projet collaboratif d'innovation ?"*

Par définition, le verbe "marcher" évoque deux sens différents. Il désigne l'action de se mouvoir, de progresser, d'avancer (la marche à pied, la marche de la science, marcher dans la bonne direction) et il désigne le fonctionnement selon un mécanisme précis (mon téléviseur marche ou ne marche pas). Il y a donc deux façons complémentaires de considérer la "marche" d'un projet :

- Il y a la question du "fonctionnement" du projet, ce qui nous renvoie à des questions de coordination de l'activité. Celle-ci est problématique dans un PCI puisqu'elle est distribuée sur plusieurs organisations, et que pourtant, cette activité distribuée doit produire des résultats. Un projet qui "marche" est un projet dans lequel une certaine coordination du travail est réalisée, un projet dans lequel le matériau fabriqué dans un laboratoire en Allemagne est intégré sur une chaîne de montage en Italie, pour réaliser un prototype testé en France.
- Il y a aussi la question de la continuité de l'activité : un projet qui "marche" c'est un projet qui ne s'arrête pas, qui passe d'une étape à l'autre. On est alors plus enclin à parler de processus que de projet, puisque c'est sur le temps que la continuité peut se constater. En ce sens, un projet qui marche, un projet "en marche" pourrait on dire, c'est un projet qui s'insère dans un processus d'innovation, un processus qui continue, qui surmonte les obstacles.

Bien entendu, ces deux approches sont complémentaires. La coordination des activités est aussi temporelle : un PCI dure plusieurs années, et au sein d'un même chantier, il peut y avoir d'importants décalages temporels. En reprenant l'exemple ci-dessus, le matériau peut-être fabriqué aujourd'hui en Allemagne, assemblé dans six mois, testé dans un an. La coordination de cette activité va donc s'étaler sur un an. Une année durant laquelle il peut se passer bien des choses.

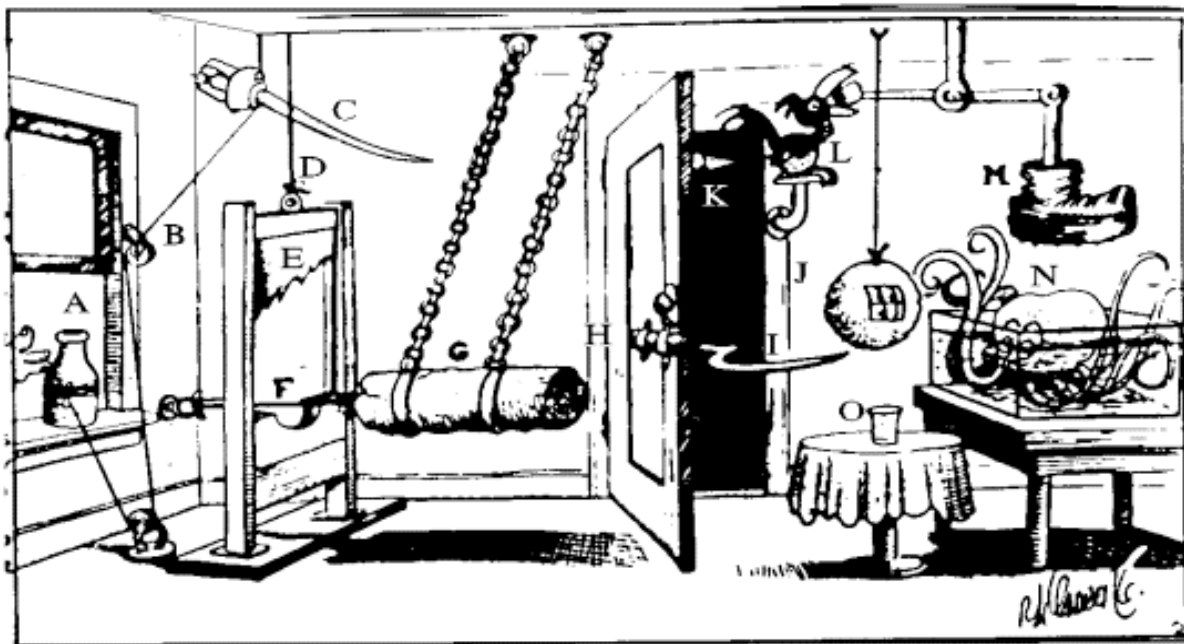
C'est cependant le deuxième sens de la marche qui nous intéresse ici (la marche comme continuité dans le processus), car il se rapproche le plus de notre questionnement initial. A la source de notre étonnement, il y a le constat que des projets durent, continuent, surmontent des épreuves, alors que d'autres stoppent leur marche. Dans cette perspective temporelle, un projet qui "marche" est un projet qui avance, qui se déploie dans le temps (qui continue) en produisant des résultats (des chan-

gements) : de nouvelles connaissances, des artefacts, des changements organisationnels, etc. Si l'on souhaite comprendre "la marche" d'un projet, nous devons pouvoir rendre intelligible cette continuité, ce prolongement malgré les changements.

1.4.1 Entre Rube Goldberg et Shakespear

Pour comprendre la continuité d'un processus, il nous faut "rendre intelligible" son développement dans le temps. Nous suivons ici Coninck et Godard (Coninck (de) and Godard, 1990) lorsqu'ils remettent en cause des visions trop simplistes de la causalité expérimentale dans les études de processus. Par causalité expérimentale, nous entendons des approches logiques et fermées de la causalité, où a) cause b) si a) est antérieur à b), et que la probabilité de b) sachant a) est plus forte que la probabilité de b). Appliquée à une étude de processus, ce type de causalité impose de remonter des chaînes de cause à effet, comme une cascade de dominos ou une machine infernale à la Rube Goldberg (voir ci-dessous).

Illustration 1: Une machine à la "Rube Goldberg"



Dans une telle machine, le résultat final du processus (le verre d'eau placé à droite du schéma, au point O, va se remplir) est lié à une chaîne de causalités qui commence au point A avec la chute d'une bouteille de lait. Ce processus continue tant que cette chaîne de causalité fonctionne. Si la ballon placé au point J ci dessus n'éclate pas, le processus s'arrête.

Appliqué à un processus d'innovation, cela impose de réaménager le passé, quitte à le simplifier, de façon à ne tirer que les fils de causalité qui nous intéressent afin de pouvoir dire par exemple : "tel projet a réussi, a produit un objet nouveau et séduisant, parce que, quatre ans auparavant, telle décision a été prise, qui a provoqué telle action, etc...". Cette approche est impossible à tenir. D'une part parce que **l'antériorité ne garantie rien sur le lien causal** (ce n'est pas l'achat massif de cartes de Noël début décembre qui provoque Noël le 25, malgré l'antériorité de l'un et la forte corrélation des deux) et d'autre part parce qu'à mesure que l'on s'enfonce dans le passé d'un événement, les chaînes de causalité foisonnent.

Par exemple, si je veux expliquer le processus ayant causé le dépôt de bilan d'une entreprise, je vais pouvoir identifier plusieurs causes, et plusieurs chaînes de causalité s'entremêlant : un client défaillant ayant cumulé des créances, un nouveau concurrent ayant capté peu à peu des parts de marché, la lassitude croissante de la direction, des fluctuations néfastes des coûts des matières premières, etc. Vouloir expliquer l'événement final (le dépôt de bilan) en ne tirant qu'un seul fil (l'arrivée d'un concurrent) va appauvrir l'analyse. Le passé ne ressemble pas à un fil mais à une pelote inextricable.

Il y a donc la tentation inverse à la causalité expérimentale : **décider que le processus n'a pas de sens, pas de logique particulière**. En effet, à mesure que le processus avance, il y a un foisonnement des acteurs, des événements, des causalités. Ne risque-t-on pas, en cumulant les détails, d'obtenir une vision "Shakespearienne" du déroulement du processus, "*une histoire racontée par un fou, pleine de bruit et de fureur et qui ne signifie rien*"¹ ?

1.4.2 Quelles logiques temporelles peuvent rendre un processus intelligible ?

Nous souhaitons rendre intelligibles les processus, tout en refusant des principes trop simples de causalité. Coninck et Godard (1990) ont tenté de repérer quels étaient les moyens utilisés par divers scientifiques spécialisés dans les études biographiques pour rendre intelligibles leurs objets d'étude. Ils ont ainsi mis à jour trois grands modèles de "**formes temporelles de causalité**". Bien entendu, les auteurs se sont principalement référés à des processus biographiques, et non des processus collectifs comme nous le faisons ici. Cependant, ces modèles s'appuient sur des causalités complexes

1. extrait de Macbeth

et permettent de dépasser des causalités expérimentales et linéaires que nous avons critiquées plus haut. Il nous permettent donc de mieux comprendre quels sont les moyens logiques dont dispose un chercheur pour interpréter un itinéraire, que ce soit celui d'une vie ou celui d'un collectif.

a) le modèle archéologique

Pour rendre compréhensible une biographie, on peut chercher à repérer un point initial dont tout découle : un moment fondateur, un traumatisme, une mission, etc. Par exemple, c'est ce que l'on aura tendance à faire en interprétant le parcours d'un individu selon une grille psychanalytique, en considérant que ce qui explique son destin, la répétition par exemple des mêmes erreurs, c'est l'existence d'un traumatisme dans l'enfance (désire refoulé par exemple).

On retrouve aussi ce type de logique dans des interprétations "balistiques" de processus organisationnels, où l'on tente d'expliquer par exemple l'évolution d'un réseau d'entreprises en prenant principalement en compte les conditions de départ (Doz and Baburoglu, 2000). On suppose alors que toute la trajectoire découle de l'impulsion initiale, comme la trajectoire de l'obus dépend essentiellement de la puissance et de l'inclinaison du canon et du poids du projectile.

L'individu, ou l'entreprise, ou le réseau dont on interprète l'évolution selon un modèle archéologique sont des agents "hantés par le passé" pour reprendre le mot de Coninck et Godard. Tout leur destin est déterminé dans des instants fondateurs, qui se sont inscrits en eux de façon indélébile. Les modèles de causalité "archéologiques" sont donc principalement endogènes, en ce sens que les événements et les agents extérieurs ne peuvent pas modifier leur trajectoire.

b) le modèle structurel

Une logique, quasiment opposée à celle-ci, suppose qu'il existe au contraire des logiques temporelles externes aux agents, préexistantes à celles-ci, et qui contraignent les itinéraires particuliers des individus, ou encore des organisations. Les agents sont pris dans des structures, et leurs parcours ne font que refléter des rythmes externes : l'individu est pris dans les temporalités de son temps, de sa génération, l'entreprise est prise dans les temporalités de cycles économiques mondiaux qu'elle ne maîtrise pas.

Pour comprendre la trajectoire d'une entreprise située dans le domaine des biotechnologies par exemple, on pourra lier la réussite de son processus de développement au secteur des biotechnologies dans son ensemble. Cette entreprise n'est alors qu'une "participante" à l'émergence d'une nouvelle "grappe d'innovations", venant remplacer un autre secteur vieillissant, moins innovant, pour

reprendre une lecture par les cycles d'innovation à la Schumpeter. Elle ne fait alors que subir les effets de cycles temporels longs, qui la traversent, s'expriment au travers de sa trajectoire particulière.

On est donc plutôt dans des modèles de type "exogène", où le processus que l'on tente d'expliquer n'est qu'une résultante de temporalités extérieures, un noeud où s'expriment des forces issues de structures qui encadrent ce processus particulier.

c) le modèle de cheminement

Enfin, il existe un autre modèle, celui qualifié de "cheminement" par Coninck et Godard (1990), où ce qui importe **est la description du processus en lui-même**, souvent fait de temps stables et de transitions. Dans ce modèle de cheminement, on se situe entre les deux modèles décrits plus haut (endogène versus exogène). Le déroulement du processus est donné par des éléments à la fois internes et externes à ce processus. Les protagonistes de ce processus, soumis à des temporalités externes, agissent également en fonction de contraintes et de ressources qui leurs sont propres.

1.4.3 Le développement temporel d'un processus d'innovation

Les modèles de Coninck et Godard sont issus d'études portant sur des processus biographiques. Ils visent à rendre compte de la logique temporelle de processus individuels. Si ces modèles ne sont pas directement applicables à un processus collectif (comme un processus d'innovation), ils nous montrent que la continuité d'un processus ne peut pas se réduire à la simple description de chaînes de cause à effet. En s'inspirant de leur travail, on pourra dire que pour comprendre la continuité d'un processus, il faut rendre intelligible leurs "formes temporelles de causalité". Pour plus de clarté dans le débat, nous proposons de parler plus simplement de rendre intelligible le "développement temporel" de ces processus.

On effectue donc un troisième glissement par rapport à notre question de départ. Nous comprenons que la "**marche**" d'un processus, c'est son **développement dans le temps**. Ce développement peut être rendu intelligible, il peut correspondre à diverses logiques, et ne peut se réduire à la description de chaînes causales.

Section 1.5 Conclusion

L'innovation dont il est question dans un PCI est un processus, autant que le résultat de ce processus. Un PCI est une façon d'organiser une activité dans le temps, dans le but de produire de nouveaux artefacts. Comment ? En mettant en place une gestion en mode projet.

L'une des bases de la gestion en mode projet est la planification du travail à effectuer. C'est sur la base de cette planification *a priori* que le travail est divisé et réparti entre partenaires. C'est probablement là une des sources de l'inquiétude et des difficultés rencontrées par les praticiens : le processus d'innovation peut-il se plier aux contraintes de la gestion en mode projet ? Et en particulier, le déroulement à venir du processus d'innovation est-il prédictible ? En effet, par définition, un processus d'innovation est un processus exploratoire, dont les objectifs se précisent chemin faisant : son déroulement à venir est en partie inconnu. La planification d'un projet d'innovation est donc au mieux inutile, au pire contre-productive. La marche d'un PCI pose donc la question de l'adéquation projet / processus. Comprendre cette marche impose donc de replacer le *projet* dans le cours d'un *processus* d'innovation?

Mais les PCI ont une autre caractéristique essentielle : ils sont collaboratifs ou, pour employer un terme moins connoté, ils sont collectifs : ils reposent sur le travail de nombreux individus, répartis dans diverses organisations, qui mènent des activités où l'échange et la transformation de connaissances sont essentiels. On peut décrire ces collectifs de façon structurelle, par les théories relatives aux réseaux sociaux, ou bien s'intéresser à l'oeuvre commune de ces collectifs, en faisant référence à la littérature sur les communautés. La particularité du **collectif** dans un PCI, c'est qu'il est réparti dans plusieurs organisations. Comprendre un PCI impose donc de comprendre la place et le rôle de ces *collectifs* répartis d'individus dans le processus d'innovation.

Enfin, la "marche" du PCI, sa continuité dans le temps, ne peut pas être réduite à des principes de causalité. Un processus ne marche pas comme une construction de dominos, où la pièce qui chute entraîne la suivante dans une longue réaction de cause à effet. Comprendre la marche du processus, c'est comprendre les logiques temporelles qui permettent son *développement*, comprendre comment des changements apparaissent, et comment malgré ces changements un processus se perpétue dans le temps.

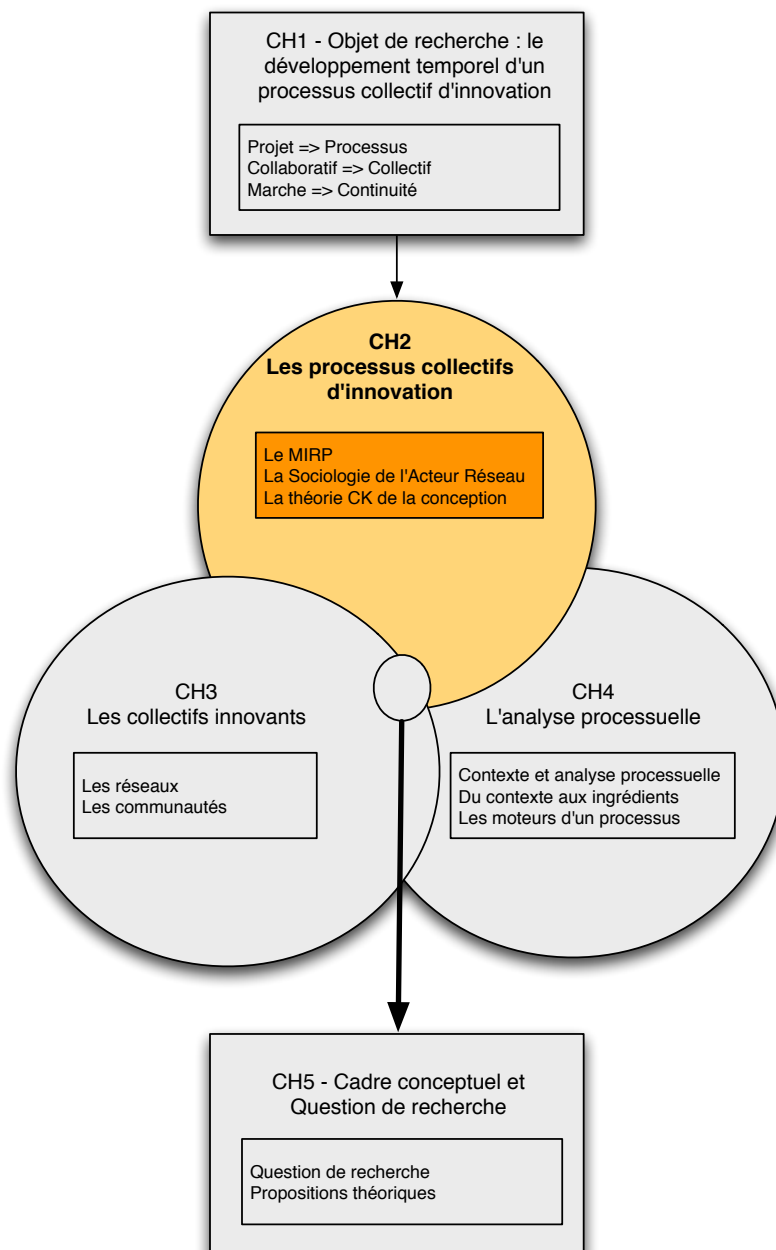
Pour mieux comprendre la "marche des PCI", nous proposons donc de replacer notre questionnement dans le cadre théorique du "**développement temporel d'un processus collectif d'innova-**

tion". Par processus collectif d'innovation, nous faisons plus spécifiquement référence à un processus d'innovation dont l'un des stades sera la constitution d'un consortium d'organisations regroupées dans le cadre d'un projet financé. Cet objet de recherche se situe à la croisée de trois champs de recherche :

- Les théories du processus d'innovation (CH2) nous éclairent sur les spécificités du développement de l'innovation dans le temps.
- Les théories portant sur les collectifs innovants (CH3) nous aident à comprendre la place et le rôle des innovateurs multiples, agrégés en collectifs, au cours du processus d'innovation.
- Les analyses processuelles (CH4) nous fournissent des concepts permettant de mieux comprendre ce qu'est un processus en sciences sociales.

Le croisement de ces trois champs nous permettront d'apporter un éclairage pluridisciplinaire sur notre objet de recherche.

Chapitre 2. Les Processus Collectifs d'Innovation



Dans le chapitre précédent, nous avons déjà évoqué les modèles classiques, présentant l'innovation comme un processus linéaire. Nous avons également parlé de la remise en cause de ce modèle, en évoquant le Chain Link Model (Rosenberg and Kline, 1986), qui montrait que l'enchaînement des diverses phases du processus pouvait être beaucoup plus complexe, en comportant des boucles de rétroaction entre les divers espaces de production scientifique, de développement, de marketing, etc. Nous savons donc que le développement temporel d'un processus collectif d'innovation échappe à un enchaînement typique et linéaire.

Cependant, le modèle de Klein et Rosenberg articule des "fonctions" (le marketing, la recherche, la production, le développement). Il ne se situe pas explicitement au niveau des individus, au niveau de ceux qui échangent, construisent et manipulent des connaissances. Dans le cadre de nos définitions, ce modèle ne se situe pas au niveau des *collectifs*.

Nous proposons donc ici une revue de travaux scientifiques **intégrant à la fois la dimension temporelle et collective des processus d'innovation**. Cette revue pluri-disciplinaire est consacrée principalement à trois corpus : ils ont tous les trois en commun de reposer sur des études empiriques nombreuses, de proposer des modèles conceptuels, voire des théories explicatives des processus d'innovation, et tous trois ont fait l'objet de nombreuses contributions et se sont enrichis depuis plusieurs années. Nous avons donc là une matière importante, fondée sur des approches différentes, ce qui nous permettra au final d'avoir une vision riche du développement des processus collectifs d'innovation.

Ces corpus ont été initiés par les institutions suivantes :

- Le Minnesota Innovation Research Program (MIRP), et ses réflexions sur le « voyage de l'innovation » (section 1),
- Le Centre de Sociologie de l'Innovation de l'école des mines, et sa sociologie de la traduction, aussi nommé Sociologie de l'Acteur Réseau (SAR) ou Actor Network Theory (ANT) en section 2,
- Le Centre de Gestion Scientifique de l'école des mines, et son travail sur les processus de conception innovante et l'un de ses fondements, la théorie CK de la conception (section 3).

Dans la suite de ce chapitre, présentons ces trois corpus. Ensuite, nous montrons quelle vision des processus collectifs d'innovation se dégage, et ce que l'on apprend sur leur développement tempo-

rel. Nous constatons alors qu'un processus collectif d'innovation peut être compris sous deux angles complémentaires : un angle cognitif et un angle social, tous deux intrinsèquement liés.

Section 2.1 Le MIRP : le voyage de l'innovation

2.1.1 *Prémices et définitions*

A la base de la réflexion du MIRP sur le processus d'innovation, il y a le constat de Andrew H. Van de Ven (Van de Ven, 1986) sur les problèmes principaux qui se posent dans la gestion de l'innovation. Ces problèmes seraient de 4 ordres et sont détaillés ci dessous :

- 1 un problème humain de **gestion de l'attention**, parce que les individus et les organisations sont principalement conçus pour se concentrer sur leurs pratiques existantes, et non sur le développement d'idées nouvelles. Plus une organisation est compétitive, plus il est difficile d'atteindre le seuil à partir duquel des individus passent à l'acte et prennent en compte des idées, des besoins ou des opportunités nouvelles. Il fait ici référence à la notion du seuil de non satisfaction qu'il faudrait franchir pour pousser des individus à prendre des décisions. Cette notion est illustrée par la célèbre parabole de la grenouille, empruntée à l'anthropologue américain Gregory Bateson : si on met une grenouille dans une casserole d'eau bouillante, elle saute hors du récipient pour ne pas mourir. Mais si on la met dans une casserole d'eau froide, placée sur un feu doux... La grenouille va se laisser cuire peu à peu jusqu'à la mort.
- 2 un problème de **processus pour transformer des idées en valeurs réelles** (*good currency*), pour qu'elles s'implémentent, s'institutionnalisent. L'invention, la création d'une idée, peut être une activité individuelle. L'innovation, c'est à dire son implémentation, est collective. L'activité sociale qui pousse les idées, la transforme en valeur, est donc capitale. Sur ce point, Van de Ven se réfère aux travaux de Donald Schon (1971) ayant porté sur l'émergence des politiques publiques, et qui montre que pour qu'une idée devienne action, elle doit devenir au fil du temps un enjeu central de débats afin d'être légitimée.
- 3 un problème structurel pour **gérer les nombreuses relations particulières** qui émergent de la prolifération des idées, des individus et des transactions à mesure qu'une innovation se développe dans le temps. Pour transformer une idée en une réalité concrète, on a besoin de mobiliser de multiples disciplines, fonctions et ressources. Si bien que les individus perdent, depuis leur position, la vision globale de l'effort global : l'innovation s'est morcelée au cours du temps. Son implémentation est devenue complexe, elle concerne de multiples acteurs. Comment peut-on rassembler ces pièces éclatées du puzzle ?

4 Enfin, il y a un problème stratégique de **gouvernance institutionnelle** : l'innovation modifie la structure même et les pratiques des environnement institutionnels dans lesquels elle se déploie. Le problème est de créer dans le contexte institutionnel une infrastructure pouvant faire office de support à l'innovation. Van de Ven fait ici référence aux liens nécessaires entre une organisation porteuse d'une innovation et les institutions présentes dans son environnement. Il met l'accent sur l'influence du contexte, qu'il va falloir dans de nombreux cas modifier pour accueillir et soutenir une innovation.

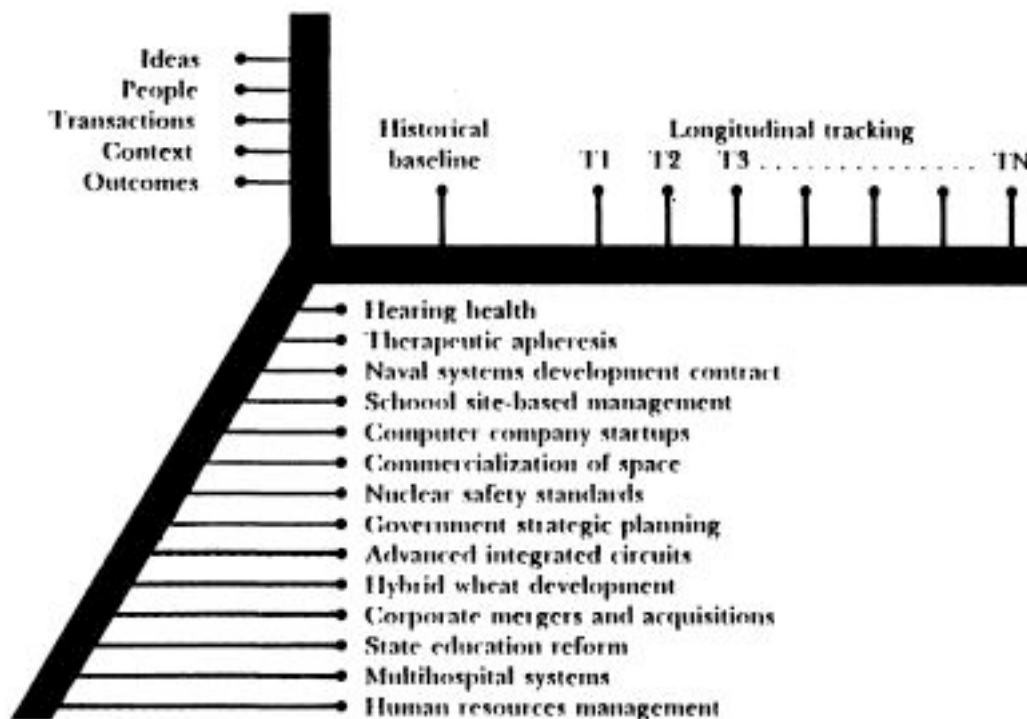
En reprenant ces quatre éléments, Van de Ven (1986) donne la définition suivante de l'innovation : « *Innovation is defined as the development and implementation of new ideas by people who over time engage in transactions with others within an institutional order* ».

Notons que cette définition recouvre des innovations techniques (nouvelles technologies, nouveaux produits ou services) comme des innovations administratives (nouvelles procédures ou politiques, nouvelles formes organisationnelles). Il ressort de ce travail que le déroulement même du processus dans le temps a une influence sur les résultats. Les managers de l'innovation ne peuvent donc pas se contenter de connaître quelles sont les conditions de départ requises afin de s'assurer du succès de leurs idées, comme on pourrait le croire dans une vision balistique de l'innovation, où toute la trajectoire à venir pourrait être déduite de l'impulsion initiale. Ce qu'il faut comprendre, c'est l'influence du temps, des événements, du contexte, des transactions, des participants, tout au long du processus, sur le résultat final.

2.1.2 Méthodologie de recherche

A. Van de Ven & Marshall Scott Poole (Van de Ven and Poole, 1990), en partant de ces éléments de définition, ont développé une méthode originale d'analyse des processus d'innovation. Leur but était de mener des études longitudinales afin de développer et de tester une théorie de processus sur l'innovation. C'est dans ce cadre qu'a été créé le MIRP en 1983, qui depuis a mené une investigation systématique des phénomènes de changement et d'innovation dans les organisations. Le MIRP est schématisé par les auteurs comme suit :

Schéma 6: Minnesota Innovation Research Program (Van de Ven & Poole, 1990)



Ce diagramme met en parallèle trois éléments essentiels dans la démarche de ces auteurs :

- 1 Un ensemble de « *sensitizing categories* » (Ideas, People, Transactions, Context, Outcomes), qui peuvent être vus comme des concepts utiles aux investigations de terrain, dans une optique de type Théorie Enracinée (Glaser and Strauss, 1967). Ces 5 concepts découlent directement des éléments de la définition de l'innovation et des quatre points décrites plus haut.
- 2 Un ensemble de terrains d'investigation, qui permettent de réunir divers types d'innovations (technologiques ou administratives) issues de secteurs très divers, allant des services de santé aux services publics en passant par des grands groupes industriels ou des PME Innovantes.
- 3 Une investigation de ces terrains, selon les *sensitive categories*, réalisée au fil de l'eau, pendant plusieurs années (de trois à cinq ans), directement sur les terrains concernés. Cette technique de recueil des données fut utilisée afin de pallier à un désavantage de nombreuses études longitudinales, souvent réalisées à posteriori, en partant de l'issue connue des projets. Dans la Méthode MIRP, les chercheurs ne connaissent pas d'avance l'issue des innovations et ils s'engagent durablement dans leurs terrains. Le recueil des données repose sur plusieurs outils : des questionnaires tous les six mois, des observations mensuelles sur le terrain, et un suivi hebdomadaire retranscrit dans des journaux de recherche.

2.1.3 Analyse des données

Le but du MIRP était d'identifier des régularités dans les données des projets, afin éventuellement d'avoir une idée de l'influence du séquençage des événements sur les résultats. De plus, ils souhaitaient que leur théorisation du séquençage s'appuie sur une étude comparative de l'ensemble de leurs cas.

Le problème auquel ont été confrontés les chercheurs du MIRP fut la quantité des données accumulées (14 projets, suivis presque quotidiennement pendant 3 à 5 ans...). Pour ce faire, les chercheurs du MIRP ont opté pour un codage de leurs données afin de pouvoir les tester selon divers modèles d'analyse. Ils ont donc dû extraire de cette somme de données qualitatives des données analysables (datum). Le datum analysé par le MIRP est l'événement (*incident* en anglais ne correspond pas à l'incident en français). Les diverses équipes de chercheurs ont donc dû extraire de leurs matériaux des événements, codés selon le formalisme suivant :

Schéma 7: Exemple d'Incident dans un fichier qualitatif de données pour une étude du MIRP (Van de Ven and Poole, 1990)

INCIDENT NUMBER: 314 INCIDENT DATE: 06/18/87

INCIDENT: Emergency meeting conducted of MN firm's core TAP team to discuss restructuring finances as a result of recent internal management review. Items for discussion included 10-15% across the board budget reductions, omission of diagnostics, assumption of improved electronics by 1/1/88, 70% of sales by 1995 will come from tubesets manufactured outside of the MI firm, and no significant research beyond LDL and immune complex.

DATA SOURCE: Internal memo of 6/10/87 and 6/18/87 meeting notes.
CORE MIRP CODES: Transaction Idea-core Context-internal

On retrouve dans cette fiche une interprétation des données selon les sensitive categories définies plus haut (dans chaque fiche, une phrase décrivant un incident est ensuite retranscrite selon les terminologies Idea, People, Transaction, etc.). Le deuxième temps de cette analyse fut de transformer ces fiches en données quantitativement analysables. Pour ce faire, et pour chaque fiche, la présence ou l'absence d'un terme a été codée en binaire (0 si le terme est absent, 1 si le terme est présent). Pour chaque incident, on a donc une ligne de 0 et de 1. En faisant se succéder les fiches de chaque incident, on obtient donc une matrice analysable par des outils statistiques.

2.1.4 Quelle vision du processus ?

Les résultats du MIRP sont de deux types. On a d'une part une vision du processus, fondée sur les analyses statistiques réalisées sur les données qualitatives codées, et l'on a d'autre part une vision plus qualitative, basée sur le matériel empirique ainsi accumulé et qui permet aux auteurs de proposer un certain nombre de recommandations.

Pour ce qui est de la vision du processus, et en particulier de son séquençage, il apparaît que le processus d'innovation est soumis à des phases chaotiques (Cheng and Van de Ven, 1996). Selon les auteurs, cela remet en cause deux approches traditionnelles des processus d'innovation :

- d'une part, leurs résultats remettent en cause l'existence d'un processus ordonné qui serait fait de phases successives d'essais et d'erreurs, menées par des acteurs tentant rationnellement d'atteindre certains objectifs (March, 1991), l'analyse de leurs données montre au contraire de longues phases de liens chaotiques entre les événements.
- d'autre part, ils réfutent également le fait que les événements ne se produisent que sous le simple fait du hasard et que les innovations finiraient par se frayer un chemin « par chance », puisque dans la plupart des cas étudiés, il ont pu observer une phase d'ordre suivant des prémices chaotiques, phases pendant lesquelles les événements semblent finalement converger vers un certain ordre.

Selon Cheng et Van de Ven, les processus d'innovation comportent en fait deux moments distincts. Les premiers temps (parfois plusieurs années), les événements semblent s'enchaîner selon une logique chaotique, c'est à dire ni ordonnée, ni stochastique (soumise au seul hasard). Durant cette période, des processus divergents se déroulent, des voies diverses sont explorées. Puis, vient une deuxième période, plus ordonnée celle-là, durant laquelle les voies convergent. Cette période est alors marquée par une plus grande stabilité et peut mieux se décrire selon un modèle linéaire classique.

2.1.5 Le voyage de l'innovation

Partant de ces diverses études de cas et de ce mode d'analyse des données, Van de Ven et ses collègues (D. Polley, R. Garud & S. Venkataraman) proposent l'image du voyage de l'innovation dans leur ouvrage collectif : *The Innovation Journey* (Van de Ven et al., 1999). Le grand avantage de cet ouvrage sur les travaux présentés ci-dessus est qu'il prend en compte toute la richesse du matériel empirique accumulé par le MIRP et présente une vision du processus de l'innovation plus riche et plus ambiguë.

Assez paradoxalement alors que certains de leurs articles antérieurs, ainsi qu'au moins un chapitre de cet ouvrage, sont consacrés à la nature chaotique et imprévisible du processus d'innovation, les auteurs nous proposent désormais de distinguer trois périodes, elles-même parfois subdivisées en sous périodes (ibid, p 23) :

- *The Initiation Period* : durant cette période d'initiation, existe une période de gestation durant laquelle les choses « se préparent ». Puis survient un choc, qui, pour reprendre l'image citée plus haut, va forcer la grenouille à sortir de sa casserole d'eau bouillante. S'ensuit une période dite ressource and exposure, où les entrepreneurs, porteurs d'une idée nouvelle, vont chercher à présenter leur idée, à la financer, à planifier sa mise en oeuvre.
- *The Developmental Period*, qui correspond à la phase chaotique décrite ailleurs, est marquée par une prolifération des idées, des versions de l'idée initiale. Le nombre d'individus participant au projet se multiplie, cette participation pouvant être très épisodique et pouvant concerner n'importe qui dans l'entreprise... Mais aussi des acteurs hors de l'entreprise.
- *The Implementation / Termination Period* : cette période correspond à l'abandon ou à l'implémentation de l'idée. Elle est plus ordonnée et linéaire, les événements s'enchaînant dans le sens de l'application de l'idée ou du produit nouveau.

Les auteurs remarquent que ce phasage sera d'autant plus chaotique que le processus sera fondé sur une innovation radicale, portant sur une longue durée d'implémentation et sur une large échelle d'application.

L'idée qui est au coeur des travaux du MIRP semble être la suivante : **l'innovation est une exploration** :

« *Whatever route is taken, the innovation journey crosses a rugged landscape that is highly ambiguous, is often uncontrollable and involves a good deal of luck.* » (ibid, p65).

Sur la couverture de cet ouvrage, les auteurs (ou leurs éditeurs) ont d'ailleurs choisi de montrer un bateau pneumatique ballotté dans un torrent déchaîné, sur lequel six pagayeurs se démènent... Dans ces conditions, que peut-on conseiller aux praticiens de l'innovation, ceux qui tentent de s'élancer dans cet aventureux voyage qui va de l'idée à sa concrétisation dans la réalité ?

- aux porteurs des projets et des idées innovantes, on rappelle que les entrepreneurs ne peuvent pas maîtriser le succès d'une innovation, mais seulement ses incertitudes.

➤ au top management, on conseille surtout de ménager pour ces innovateurs des "enabling conditions", un climat propice à l'innovation, où on sait donner une chance aux idées nouvelles, afin qu'elles s'étendent, se transforment, trouvent de nouveaux supports, etc.

2.1.6 Intérêt des approches du MIRP pour comprendre le développement temporel des processus collectifs d'innovation

a) Ce cadre peut-il s'appliquer à un processus collectif d'innovation ?

Pour ce qui est des processus d'innovation, le MIRP s'est principalement intéressé à des processus intra-organisationnels (des chercheurs comme S. Pool ou A-H. Van de Ven ont travaillé sur les réseaux inter-organisationnels par ailleurs, mais pas dans le cadre de l'innovation). L'utilisation de ce cadre théorique pose donc un problème dans le cas d'un PCI, qui est porté par plusieurs organisations. On sort donc du domaine de validité des théories proposées, ce qui va nécessairement poser des problèmes d'opérationnalisation.

Par exemple, comment traiter la "sensitive case" consacrée au contexte dans un consortium d'organisations ? Où est la limite entre ce qui est "interne" au processus en cours et ce qui fait juste partie du contexte ? Si l'on observe un processus d'innovation dans une seule organisation, la frontière de cette organisation fournit une limite au processus. Mais quand ce processus se déploie sur tout un consortium, où est sa limite ?

Pour appliquer les outils du MIRP, il faudrait donc faire le postulat que le consortium portant un PCI est une quasi-organisation, ce qui nécessite un réel débat théorique.

b) Les apports à notre objet de recherche

Les chercheurs du MIRP ont assumé de prendre en compte de multiples aspects du processus d'innovation, réunissant ainsi un matériau très riche. Les données prises en compte ne concernent pas seulement l'entreprise : le contexte a également sa place. On remarque aussi que des éléments cognitifs (les idées sont une catégorie à part entière) côtoient des éléments plus proches de la dimension sociale de l'innovation (les catégories "people", ou "transactions").

Le temps est pris en compte de façon objective dans les théories du MIRP : l'unité élémentaire permettant de décrire un processus est un événement. Celui-ci a donc une date précise et une place sur l'axe du temps, relativement à d'autres événements.

Il y a aussi dans ce corpus une réflexion sur le développement des processus d'innovation (Cheng and Van de Ven, 1996). Les processus d'innovation, et en particulier la relation entre les événements, ne seraient pas soumis au seul hasard, malgré des phases d'apparence chaotique. Les processus finissent par converger et un ordonnancement intelligible des événements peut naître de ce chaos. En revanche, cet ordonnancement est vu comme une propriété émergente du processus, une nécessité finissant par jaillir de celui-ci. Mais selon quels mécanismes, quelle logique, sous l'effet de quels acteurs ?

c) Les limites pour notre objet de recherche

L'avantage de la démarche du MIRP est qu'elle permet, en passant par le codage des données qualitatives, de faire des comparaisons entre une multiplicité de cas, et de tester divers modèles mathématiques sur les données. Mais c'est aussi dans ce parti pris méthodologique que réside une de ses limitations importantes, ce qu'a très bien expliqué Ann Langley (Langley, 1999) :

« Pourtant, pour y arriver, elle simplifie énormément les données originales en écartant certaines dimensions et en remplaçant le contexte riche, ambigu et spécifique par des indicateurs minces, précis et généraux. Il est quelque peu ironique que les chercheurs qui se donnent beaucoup de peine à recueillir des données riches et qualitatives soient tellement mal à l'aise avec cette richesse qu'ils se hâtent de les transformer, par un autre processus qui exige énormément d'efforts, en une base de données beaucoup plus pauvre ».

Pour faire justice aux chercheurs du MIRP, précisons qu'ils ont depuis développé d'autres méthodes d'analyse de processus, basées sur d'autres outils que le codage des données. Ils ont en particulier développé des concepts très utiles pour décrire les processus de changement. Nous aurons d'ailleurs l'occasion de détailler cette littérature plus loin dans ce travail, et de voir si, et comment, elle peut être mobilisée pour décrire les processus d'innovation.

Section 2.2 La Sociologie de l'Acteur-Réseau (SAR)

La Sociologie de la Traduction, nommé aussi la Sociologie de l'Acteur-Réseau (SAR), ou encore ANT (pour Actor-Network Theory) a été introduite par les chercheurs du Centre de Sociologie de l'Innovation (CSI), le laboratoire de sociologie de l'école des mines. La SAR propose un certain nombre d'outils pour analyser les rapports qu'entretiennent les objets techniques et les sciences avec leurs environnements sociaux. Il nous semble important ici de revenir sur les principaux enseignements de cette théorie au regard de notre objet de recherche, car selon nous la SAR est particulièrement bien adaptée pour des objets de recherche complexes et changeants, comme peut l'être un processus collectif d'innovation. Par exemple, la SAR est par nature dynamique. Elle ne cherche pas à décrire comme les choses sont, quels sont par exemple les liens entre des individus, leurs entreprises, leurs accès à des infrastructures, etc. Elle cherche plutôt à comprendre comment ces arrangements évoluent dans le temps, comment ceux-ci se modifient durant un « processus de fabrication des faits scientifiques et des artefacts techniques » (Callon, 2006). De plus, les auteurs de la SAR ont produit une série d'articles sur les facteurs clefs de succès de l'innovation sur lesquels nous auront l'occasion de revenir dans cet article (Akrich et al., 1988a, Akrich et al., 1988b), ce qui nous montre le caractère opératoire de leur théorie et tout son intérêt pour les gestionnaires confrontés à la création d'objets techniques, à la gestion de processus d'innovation.

2.2.1 Le réseau socio-technique

A la base de la réflexion de la SAR, il y a l'idée que les mots et les choses qu'ils désignent (un électron par exemple) sont indissociables. Les électrons ne se révèlent aux scientifiques que par leurs manifestations dans des expériences. Ces manifestations laissent des traces, des **inscriptions** (l'électron laisse une trace sur un graphe, incline l'aiguille d'un instrument de mesure, etc.). Fabriquer des faits scientifiques ou des objets techniques implique de multiplier ces traces, de les combiner, afin de faire des propositions scientifiques (Latour, 1985). Le fait que mots et choses soient ainsi articulés grâce à la notion d'inscription implique deux concepts : la circulation et le réseau (Latour, 2003). Les inscriptions circulent d'un laboratoire à l'autre. La trace de l'électron est inscrite sur un graphe, le graphe est imprimé dans un livre, le livre se retrouve dans le service de R&D d'un industriel, etc. Bref, l'électron, son inscription, se déplace au gré de l'activité de R&D. Ce qui nous permet de voir se révéler l'autre concept, celui de réseau : en circulant ainsi, les inscriptions révèlent un réseau, que

l'on nomme réseau socio-technique. Ce réseau socio-technique est qualifié d'hybride, car il comporte des humains, des groupes humains, mais aussi des objets, des infrastructures, etc. Le caractère hybride des réseaux socio-techniques (comportant humains et non-humains) est un des postulats forts de la SAR. Par exemple, si je veux parler de l'énoncé de base de MEMORY : « il est possible d'injecter un spin aux électrons dans le silicium », je dois prendre en compte les scientifiques ayant mené de telles expériences, les articles qu'ils ont publié pour documenter leurs expériences, mais aussi les salles blanches, les infrastructures techniques, les appareils de mesure nécessaires pour effectuer de telles expériences, les industriels exploitant ces infrastructures, etc. Ce n'est que parce que ces divers éléments, humains et non humains, sont câblés, que l'on peut proposer le concept de eMRAM servant de base à MEMORY.

Cependant, la notion de réseau socio-technique ne doit pas être comprise comme un assemblage statique. En fait, ce qui importe dans la SAR, c'est comment ce réseau se transforme, comment les connections se créent et disparaissent au cours du temps :

« En anglais, c'est plus clair, dans le « network » il y a « net », le filet, et « work », le travail. En fait, nous aurions du dire 'worknet' au lieu de 'network'. C'est sur le labeur, le mouvement, le flux et les changements qu'il faut mettre l'accent. Mais nous sommes coincés avec ce terme de « réseau » et tout le monde pense que nous parlons de l'Internet, du Web ou de quelque chose comme ça » (Latour, 2003)

2.2.2 L'actant et les boîtes noires

Pour comprendre comment ce « work net » socio-technique se modifie, la SAR propose deux autres notions essentielles : l'actant, et la traduction (la « sociologie de la traduction », l'autre nom de la SAR, met bien en avant l'importance de ce concept).

Pour mettre en lumière la nature active de chaque élément composant le réseau socio-technique, la SAR parle **d'actant**, de préférence à acteur. Le réseau socio-technique n'existe que parce qu'il est sollicité. Et chaque fois qu'un élément est actionné, c'est tout le réseau et ses éléments qui se met en mouvement (ses actants). Par exemple, lorsque le professeur Nikita commande une plaquette de silicium, il met en marche une salle blanche, ses ingénieurs, toute l'installation technique, mais aussi les fabricants d'équipements qui constituent cette salle blanche. Cette action s'appuie aussi sur l'existence d'une procédure qualité, donc sur le travail amont d'ingénieurs des procédés. La fabrication d'une plaquette de silicium nécessite aussi des consommables, en particulier divers matériaux rares, qui ont été extraits dans des mines, transformés, conditionnés et livrés dans cette salle

blanche. Pourtant, à chaque fois que le professeur Nikita commande une plaquette de silicium, il n'a pas besoin de redéfinir le fonctionnement du réseau socio-technique. Par exemple, il n'a pas besoin de passer commande de Silice Amorphe (SiO₂) pour approvisionner la salle blanche, de coordonner l'action de chaque ingénieur présent en salle blanche, de s'assurer du bon fonctionnement des équipements, de l'extraction des minerais etc. En fait, est « inscrit » dans la salle blanche l'ensemble des activités pour lesquelles elle a été conçue. Cette infra-structure est une **boîte noire**, elle articule en elle un ensemble d'actants, permet l'action collective et coordonnée de tout un réseau socio-technique, sans qu'il soit continuellement nécessaire de revenir sur son fonctionnement. Autour de la salle blanche, il y a un réseau socio-technique câblé, stabilisé temporairement, qui met l'action collective dans des boîtes noires. Ces boîtes noires sont elles mêmes des actants (Callon, 2006). Un des effets de ce concept est que la SAR n'utilise pas les notions de niveaux macro et micro pour les phénomènes sociaux. Tous les niveaux sont liés entre eux. Le réseau socio-technique est constitué d'éléments de tailles et de natures très diverses. Par exemple, le réseau socio-technique permettant de faire fonctionner une voiture comporte le législateur qui a mis au point le code de la route comme l'ampoule qui éclaire le feu rouge.

Un autre point intéressant sur les boîtes noires, c'est qu'elles ne sont jamais autant visibles que lorsqu'elles s'ouvrent (ibid). Par exemple, c'est quand ma voiture ne fonctionne pas que je prends conscience, en ouvrant son capot, qu'elle est constituée elle même d'artefacts reliés entre eux, comme l'est par exemple la batterie défaillante. Lorsque ma voiture fonctionne, je la considère au contraire comme un actant à part entière, avec son dispositif d'interaction avec moi, son conducteur. Et j'oublie qu'elle est une boîte noire complexe. Il découle de cette observation **tout l'intérêt que porte la SAR à l'accident, à l'imprévu, au changement, à l'innovation**. Car ce sont dans ces moments de changement que les boîtes noires se révèlent, se reconstruisent, permettent de nouvelles associations, que la structure de l'action collective est à la fois perceptible et modifiable.

2.2.3 Traduction et enrôlements

« Par traduction, on entend l'ensemble des négociations, des intrigues, des actes de persuasion, des calculs, des violences grâce à quoi un acteur ou une force se permet ou se fait attribuer l'autorité de parler ou d'agir au nom d'un autre acteur ou d'une autre force » (Callon, 1981)

Les réseaux sociaux techniques agissent, ils permettent l'action collective en stabilisant les rapports entre actants, en créant des boîtes noires. Mais ces réseaux ne sont pas immuables et donnés. Ils se reconstruisent sans cesse. Pour construire ces réseaux socio-techniques, les acteurs tentent **d'enrôler**, c'est à dire d'associer à leur action, d'autres actants, humains ou non. Ils cherchent à créer des

associations durables entre ces éléments. Pour ce faire, ils doivent convaincre que leur vision du monde, d'un projet, d'un marché, est conforme à celle d'autres acteurs. Ce faisant, ils peuvent « courber l'espace autour d'eux ». Callon et Latour illustrent ce concept par l'histoire du véhicule électrique, projet promu par EDF dans les années 70 (Ibid). EDF fait l'analyse que les véhicules individuels, hautement consommateurs d'hydrocarbures, vont disparaître à terme. L'alternative, la seule possible, c'est selon eux le véhicule électrique. EDF lance un vaste programme de recherche autour de ce thème. Selon EDF, la principale question pour rendre possible cette évolution est la mise au point de générateurs. L'entreprise commence alors à décrire des programmes de recherche, des filières futures pour produire et exploiter ces générateurs. Ils traduisent en fait leur projet dans le langage des utilisateurs, des industriels, des chercheurs, en disant ce que sera demain, en donnant une vision crédible et convaincante de l'état futur des choses. Ce faisant, ils enrôlent derrière le concept de véhicule électrique de nouveaux actants : laboratoires, entreprises, distributeurs. De nouveaux partenaires, de nouveaux objets viennent consolider le réseau socio-technique en train de se constituer autour du concept de véhicule électrique. EDF cherche à constituer une boîte noire, un réseau consolidé d'actants.

Pourtant, la boîte noire ne va jamais se refermer. Le véhicule électrique ne verra pas le jour. Pourquoi ? C'est que Renault ne se laisse pas enrôler par de telles traductions, qui peu ou prou annoncent la mort de l'industrie automobile classique dont elle est l'un des fleurons. Partant des mêmes éléments, des mêmes propositions (par exemple : le prix de l'essence augmente, donc le besoin de véhicules individuels va diminuer), Renault propose d'autres traductions : les progrès dans l'électronique vont permettre de limiter les consommations des futurs moteurs. Les clients voudront pendant longtemps posséder un véhicule individuel. Par ces traductions, Renault tente, et réussit, à dissocier ce que EDF voulait associer.

Ces termes de traduction et d'enrôlement nous montrent bien le caractère dynamique, temporel de la SAR. L'exemple ci dessus (EDF versus RENAULT) nous montre également deux acteurs tentant des traductions différentes, proposant une controverse sur l'avenir des véhicules électriques. La question de la Controverse est en fait centrale pour comprendre comment les objets techniques se construisent.

2.2.4 La controverse

Selon la SAR, le succès ou la réussite d'un objet technique n'est pas seulement lié à des arbitrages économiques entre diverses options « toutes prêtes », sur la base de critères objectifs. Il est aussi essentiel de comprendre comment se sont fabriqués ces objets, et en particulier de décrire les contro-

verses qui accompagnent les développements d'objets nouveaux. Selon Michel Callon (Callon, 1981), les controverses techniques *sont des lieux de négociations*.

La SAR établit un parallèle entre la production des connaissances scientifiques et la production d'objets techniques, qui serait de même nature. En science, on a de nombreux exemples de la relativité de ce qui est vrai ou faux : ce qui est considéré comme certain et incertain varie dans le temps (c'est le principe même de la falsifiabilité des énoncés scientifiques de Popper) mais aussi dans l'espace (des scientifiques d'une même communauté peuvent interpréter de façon différente des résultats d'une expérience). En fait, l'interprétation des faits *dépend de l'endroit où l'on se trouve*. Un énoncé n'est universel que dans le réseau qui le comprend et le supporte.

L'exemple du véhicule électrique exposé plus haut illustre bien une controverse portant sur un objet technique cette fois, et non sur un énoncé. Cette controverse sur le vrai du faux, l'incertain ou le certain porte sur des questions très diverses : le marché de l'automobile va-t-il s'écrouler avec l'augmentation du pétrole ? Le point clef est-il la turbine ? Les véhicules seront ils collectifs ? Privés ? etc. Dans une telle approche, on voit bien que se pose la question des limites, par exemple, entre scientifiques et industriels, scientifiques et technologues, chaque acteur du réseau socio-technique pouvant à tout moment controverser l'image de la réalité proposée par les uns ou les autres. C'est pourquoi la SAR propose le plus souvent de **ne pas faire de distinction entre ce qui est technique et ce qui est social** : les objets conçus au gré de ces controverses finissent par porter l'inscription des acteurs ayant participé à leur conception. Le social est inscrit dans les objets techniques, de même que les objets techniques appartiennent à un réseau socio-technique leur permettant de fonctionner.

2.2.5 Les réseaux et les collectifs

La SAR s'est beaucoup intéressé aux réseaux liés à la recherche, en particulier aux réseaux liant laboratoires et industriels. Selon la SAR, il n'est pas judicieux de tracer une limite infranchissable entre le monde des entreprises, et celui de la recherche académique, les uns utilisant les connaissances produites par les autres (Callon, 1999). En fait, les réseaux socio-techniques qui portent les énoncés scientifiques comme les objets techniques enrôlent des acteurs de chaque côté de cette barrière imaginaire entre Science et Industrie.

L'universalité d'un énoncé est donnée par le réseau d'infrastructures qui l'accueille. Ce qui fait que les connaissances de base de la science sont difficilement répliquables : elle s'appuient sur de nombreux actants, des infrastructures, des inscriptions en grand nombre, etc. Pour comprendre une pro-

position scientifique nouvelle, il faut alors soit être capable de reproduire le réseau socio- technique qui porte l'énoncé, soit faire soit même partie du réseau socio-technique ayant créé l'énoncé. Dans le cas du concept eMRAM par exemple « on peut injecter un spin dans les électrons dans le silicium », la validité de l'énoncé n'est démontrable que si l'on est capable de reproduire l'expérience faisant la preuve de cet énoncé. Or, pour reproduire cette expérience, il faut disposer de moyens et d'infrastructures très importantes, rares et complexes. On comprend dès lors que si un industriel souhaite s'appuyer sur un tel énoncé pour fabriquer une mémoire informatique, il va devoir lui-même s'insérer dans le réseau socio-technique portant l'énoncé (ou bien tenter de le reproduire, ce qui peut-être long et coûteux), afin de comprendre et d'apprendre à reproduire ce phénomène.

Partant de cette observation (la difficulté à répliquer des savoirs scientifiques), Michel Callon (Callon, 1999) propose de distinguer deux archétypes de réseaux : les réseaux émergents et les réseaux consolidés.

- les réseaux émergents sont le résultat de traductions provisoires et expérimentales. Les projets amonts, exploratoires, appartiennent à ce type de réseaux. On est dans une période de tâtonnements pour ce qui est des connaissances produites, qui restent très locales, car seulement partagées et soutenues par ces réseaux « courts ». Ces connaissances sont souvent « incorporées », c'est à dire en partie tacites, peu inscrites sur des mobiles, dans des objets. Même le rôle des actants, leurs compétences, leurs intérêts restent flous à ce stade.
- les réseaux consolidés permettent des actions programmables, plus prévisibles, et reposent sur des identités et des compétences plus stables. Au fil des échanges et des traductions, de nouveaux actants se sont joints au réseau, y apportant des éléments plus durables (des brevets ont été déposés, des papiers publiés, de nouveaux partenaires ont testé les concepts, ont fait de la controverse, etc.). Les connaissances sont plus vastement partagées, plus souvent codifiées, et il commence à y avoir une convergence sur l'état du monde futur : les projets de R&D deviennent possibles.

Bien entendu, on peut se déplacer entre ces deux archétypes, dans un sens ou dans l'autre (il peut y avoir des régressions, des désaccords, des échecs). Mais dans tous les cas, ces divers types de réseaux traversent les frontières institutionnelles.

Michel Callon a développé cette réflexion en faisant aussi référence à la notion de Collectifs de Recherche Distribués, ou CRD (Callon, 2003). La constitution de ces CRD permet d'expliquer comment l'on passe des réseaux courts et émergents, où la connaissance est locale et incorporée, à des réseaux longs et consolidés, où la connaissance est plus disséminée et codifiable. Un CRD « *met en relation un ensemble de personnes (ingénieurs, chercheurs, experts ainsi qu'utilisateurs, profanes,*

etc.) qui interagissent fréquemment les unes avec les autres » (ibid, p709). Ces collectifs permettent aux savoirs de voyager et de franchir les frontières institutionnelles. Ces collectifs supposent l'intervention d'un grand nombre d'éléments matériels (textes, instruments, matériaux, etc.). Ces CRD peuvent être épistémiques ou pratiques :

- **les collectifs épistémiques** sont volontairement organisés pour produire, enrichir, étendre, structurer des connaissances qui pour l'essentiel sont codifiées ou codifiables. Ils reposent souvent sur des structures formelles, comme des revues scientifiques, des programmes de recherche, etc.
- **les collectifs pratiques** sont plus orientés vers la création de savoir-faire, de connaissances incorporées, permettant de résoudre des problèmes précis rencontrés dans l'action. Ils sont plus spontanés et auto-organisés.

Ce qui distingue un collectif d'une communauté, c'est le sentiment d'identité, d'appartenance à un groupe spécifique. Ces deux types de CDR sont eux aussi des archétypes, chaque CDR comportant un plus ou moins grand dosage de formalisme, ou de savoirs incorporés, se situe donc plus ou moins proche d'un de ces types. Le passage de réseaux courts aux réseaux longs est assuré par ces collectifs, à mesure qu'ils recrutent de nouveaux membres, qu'ils étendent leurs traductions, rendent disponibles leurs connaissances.

2.2.6 Quels enseignements pour le pilotage de l'innovation ?

L'innovation est un thème central pour la SAR : une innovation implique des controverses pour concevoir un objet nouveau, une suite de traductions pour modifier les savoirs et enrôler de nouveaux actants, une transformation du réseau socio-technique, l'inscription et la circulation de nouvelles connaissances dans ce réseau, la mobilisation des collectifs, etc. Bref, elle permet de mobiliser quasiment l'ensemble des concepts développés que nous venons d'exposer.

La contribution de la SAR à la compréhension de ce qu'est l'innovation a permis à M. Akrich, M. Callon et B. Latour (1988, 1 et 2) de proposer un ensemble de recommandations pour les innovateurs dans une série d'articles intitulés « A Quoi Tient le Succès des Innovations ? ». Nous tentons ci-dessous de reprendre les grandes lignes de cette réflexion.

a) L'Art de l'Intéressement

Dans un premier article (AKRICH et Ali 1988 1), les auteurs insistent sur l'intérêt de leur démarche par rapport à d'autres études de l'innovation, menées souvent rétrospectivement. L'analyse socio-

technique permet au contraire d'observer l'innovation en marche et de restaurer toute l'ambiguïté et la complexité d'un tel processus. C'est un « méli-mélo » d'une multitude de décisions. De ce fait, on peut dans un premier temps mettre en cause un certain nombre d'idées préconçues sur les facteurs clefs de succès des innovations :

- Les innovations qui sont adoptées ne sont pas toujours celles qui permettent des économies de coûts. En fait, une invention est adoptée si elle trouve un environnement favorable à son adoption. Dans de nombreux cas, les coûts réels directs et indirects d'une nouvelle technologie peuvent dépasser ceux d'une autre technologie, plus ancienne, qu'elle finit pourtant par remplacer.
- Les innovations qui réussissent ne suivent pas nécessairement un besoin exprimé par le marché. Comment le pourrait-elle d'ailleurs, puisque bien souvent elle vient bouleverser les règles existant sur ces marchés ? Et puisque l'état futur du monde est difficilement prévisible ?
- Pour réussir une innovation, il ne suffit pas d'avoir un bon rapport avec les clients. Car les clients sont multiples et changeants, et qu'il est difficile de décider à coup sûr ce qu'ils voudront demain.
- Le succès d'une innovation n'est pas toujours lié à la faisabilité apparente d'un projet : tout objet en cours de conception est au coeur de controverses techniques. La faisabilité exprimée par les uns n'a donc qu'une valeur relative et pose la question suivante : qui doit-on croire ?

La plupart des facteurs clefs de succès habituels, que cet article tend à contredire, sont en fait fondés sur le « *modèle de diffusion* » des innovations. L'idée est qu'une bonne innovation, permettant de faire des économies, répondant à un besoin sur le marché, développée en prenant en compte les besoins des utilisateurs, ne va pas manquer de se diffuser sur le marché. Les auteurs y opposent leur « *modèle de l'intéressement* ». En fait, ce qui importe pour améliorer les chances de succès d'une innovation, c'est de trouver des alliés, d'enrôler des forces autour du concept défendu. Et pour ce faire, on doit inscrire dans le concept des attributs qui vont pouvoir intéresser ces mêmes alliés. Les choix technologiques en amont ont une influence sur la faculté de l'objet à intéresser des alliés, d'où l'importance de réaliser une analyse socio-technique *a priori* (Que fera l'objet ? Qui va l'utiliser ? Comment va-t-il s'insérer dans une pratique ? etc.).

b) L'Art de choisir les bons porte-paroles

Dans un deuxième article (AKRICH et Ali 1988 2), les auteurs présentent leur vision du processus d'innovation : celui-ci **devrait être tourbillonnaire**, plutôt que linéaire. Les processus linéaires, fonctionnant par une succession ordonnée de phases, sont ainsi critiqués. Selon eux, les projets li-

néaires (par exemple, une phase de recherche, une phase de conception, de développement d'un prototype, d'industrialisation) favorisent la cristallisation au cours du temps sur des concepts anciens et la complexification des objets, le concept initial n'étant plus jamais remis en cause. Le cas de la conception du premier Macintosh par Steve Jobs fournit ici un contre exemple, celui d'un projet tourbillonnaire, l'ordinateur ayant été conçu parallèlement à la future chaîne de fabrication de cet ordinateur. Dans le modèle tourbillonnaire, diverses phases peuvent ainsi être menées de front, et les retours en arrière doivent rester possibles.

« L'innovation part de n'importe où. Les scientifiques et les ingénieurs n'ont pas le monopole de l'imagination. [...] Puis de projet mal conçu et grossier, de programme encore flou, elle se transforme progressivement, à travers une série d'épreuves et d'expérimentations qui la confrontent aux savoirs théoriques, aux savoir-faire ou aux utilisateurs, en un dispositif capable d'intéresser. Le célèbre modèle linéaire, par lequel sont distinguées des étapes successives dont l'ordre chronologique ne peut être bouleversé, est le plus mal adapté qui soit pour rendre compte de ce mouvement erratique. Nous proposons de lui substituer le modèle tourbillonnaire qui permet de suivre les multiples négociations socio-techniques qui donnent forme à l'innovation. »(Ibid).

Ainsi, à la faveur d'épreuves et de révisions, l'innovation va agréger de nouveaux alliés. La question, centrale, que pose cet article est de savoir comment l'on doit choisir ces alliés. Les auteurs nous proposent alors de revisiter le mythe de Thomas Edison, souvent présenté comme l'inventeur génial et solitaire, entre autre, de l'ampoule électrique. Pourtant, une étude historique approfondie nous montre bien autre chose. Le génie d'Edison, c'est d'intéresser à son projet des individus qui représentent divers mondes, divers groupes pertinents pour son invention à venir : théoriciens, financiers, politiques, journalistes, et de solidifier le lien qu'il a avec ces alliés en créant un laboratoire spécifique, le MENLO PARK. Tous ces « Porte-paroles » peuvent alors faire entendre la voix des réseaux auxquels ils appartiennent. L'ampoule électrique, son concept, naît dans la rencontre entre divers porte-paroles. Il est issu d'une série de traductions qui permettent de prendre en compte les intérêts des uns et des autres. MENLO PARK est un microcosme qui reflète en partie le macrocosme dont il est issu. Pourquoi ? Parce que Thomas Edison a su analyser le monde alentour, ce que serait l'impact de l'électricité dans un tel monde, et partant de cette connaissance, il a su **recruter les porte-paroles** de ce monde en transformation.

Deuxième coup de génie : le choix de la controverse. Plusieurs scientifiques se penchent alors sur la question d'une ampoule à incandescence. Edison pense que le problème principal, c'est d'avoir un filament de faible section. Il organise donc la controverse scientifique dans son laboratoire autour

de cette question principale. Les faits lui donnent raison. Une fois obtenu un filament à section faible, on peut l'amener à incandescence avec une faible quantité d'électricité, ce qui ouvre de nombreuses possibilités à son invention. En fait, grâce à l'intervention des porte-paroles qui l'entourent, il a traduit un problème commercial en question de recherche. **La formulation des questions est donc essentielle.**

La conclusion de la SAR sur cette question, est que les innovateurs ne sont pas des gestionnaires de l'innovation, mais des **gestionnaires du processus d'accusation** ou autrement dit, **des organisateurs de processus** de controverse. Les accusations qui se portent sur un projet ou un concept sont, pour l'innovateur, des hypothèses qu'il faut prendre en compte. Elles reflètent la vision de certaines personnes. Si ces accusations émanent de porte-paroles en qui l'innovateur a confiance, il doit opérer des traductions pour intégrer ces accusations, modifier éventuellement ses alliances, transformer son réseau socio-technique.

2.2.7 Intérêt de la SAR pour comprendre le développement d'un processus collectif d'innovation

a) La SAR peut-elle s'appliquer à la description d'un processus collectif d'innovation ?

Une des bases de la SAR est de décrire un réseau socio-technique, de rendre compte de son évolution et de comprendre le lien entre l'évolution de ce réseau et l'évolution d'objets techniques. Or, on peut faire l'analyse socio-technique d'un PCI : on peut décrire les organisations qui constituent le consortium porteur du projet, on peut décrire les individus membres de ces organisations, comme on peut décrire leurs installations techniques, les outils qu'ils utilisent. On pourra aussi faire le compte des inscriptions nombreuses qui vont voyager sur ce réseau : les rapports d'analyse, les résultats de tests, les notes, les compte rendus d'expériences, etc.

La SAR s'intéresse à des processus d'innovation larges. Les actants peuvent être situés dans des entreprises, des laboratoires, ou ailleurs. Elle propose donc des outils capables de saisir une grande part de la complexité du processus d'innovation collectif et peut être utile pour décrire finement le développement de processus collectifs d'innovation.

b) Les apports de la SAR pour notre question de recherche

L'intérêt de la SAR est d'insister sur **la dimension sociale** d'un processus d'innovation. Concevoir un nouvel objet, c'est recruter des partenaires, c'est opérer des traductions afin d'enrôler de nouveaux actants. Dans cette vision, un PCI n'est pas une configuration figée. La SAR peut nous aider à comprendre ainsi la généalogie du PCI, comment des partenaires se sont rejoints, comment ils ont décidé de monter ensemble un projet.

La question du *développement* du processus n'est pas traitée directement. La SAR ne propose pas des outils pour mesurer le temps qui passe, pour décrire des progressions, des durées. En revanche, on sait ce qui change dans un processus d'innovation vu par la SAR : c'est le réseau socio-technique. Des associations entre actants évoluent, des liens nouveaux peuvent s'établir, des relations sont stabilisées, mises en boîtes noires. Toutes ces modifications sont inscrites dans des objets techniques "innovants". La force qui permet de créer ces changements est la **traduction**. C'est par la traduction que le processus existe, que les relations changent, que les objets évoluent. La dyna-

mique est ainsi donnée par un effort de recrutement de certains actants, et en particulier par des collectifs distribués, qui "tentent de courber l'espace autour d'eux", de dire ce que l'état du monde sera.

c) Les limites pour notre objet de recherche

Le concept qui fait le plus débat dans la SAR, c'est l'idée du réseau hybride, où humains et non humains sont considérés sur le même pied, au même niveau, chacun pouvant agir de la même façon. A cette critique, la SAR répond que le fait de considérer actants humains et non humains n'est pas une posture métaphysique, mais juste un choix méthodologique. D'ailleurs, des notions plus récentes de la SAR, comme les Collectifs Distribués de Recherche, semblent restaurer la place essentielle que les actants humains tiennent dans les réseaux socio-techniques, en particulier pour les activités de traduction, de controverse et d'enrôlement.

De notre côté, c'est le caractère opérationnel de la notion de Réseau socio-technique qui nous semble être critiquable. Suivons Michel Callon (Callon, 2006) dans sa description d'un Réseau socio-technique :

«Lorsque le conducteur tourne la clef de contact d'une Nissan pour aller voir un ami en vacances au lac de Genève, il ne fait pas seulement démarrer un engin : il déclenche également une action collective parfaitement coordonnée. Cette action implique : les compagnies de pétrole qui ont raffiné et distribué le pétrole et installé les stations d'essence; les ingénieurs qui ont conçu les cylindres et les valves; les machines et les opérateurs qui ont assemblé le véhicule; les ouvriers qui ont déposé le bitume constituant les routes; le bitume lui-même; l'acier qui résiste à la chaleur; le caoutchouc des pneus qui accroche la route humide; les feux rouges qui régulent le flux de circulation, etc. »

Le « etc. » de la fin nous indique en effet que la liste n'est pas close. Pourquoi ne pas ajouter les plantations d'hévéa dont on a extrait le caoutchouc pour fabriquer les pneus, le matériel agricole pour entretenir ces plantations, les fabricants de ces matériels agricoles, leurs fournisseurs, etc. Bref, en tournant la clef de sa Nissan, c'est le monde dans sa totalité que le conducteur active... La question qui se pose est alors celle de la limite du réseau socio-technique. Où doit s'arrêter l'analyste, scientifique ou praticien, qui veut réaliser une analyse socio-technique ? Quel est le « morceau » pertinent dans ce gigantesque assemblage ?

De plus, la SAR s'intéresse principalement aux crises, aux moments où les boîtes noires s'ouvrent, où l'ordre apparent est remis en cause. Or, si les crises, les changements brusques et rapides existent bel et bien dans un processus collectif d'innovation, il y a aussi des moments plus stables, des phases où le réseau socio-technique demeure, où les actants agissent (ou n'agissent plus d'ailleurs)

dans un ordonnancement stabilisé, qui n'est plus remis en cause, qui n'opère plus de traductions, d'enrôlements : un consortium existe, il cherche, il construit un objet avec des ressources connues, stabilisées, sur des objectifs plus ou moins partagés. Que se passe-t-il alors dans cette boîte noire ?

Section 2.3 La conception innovante

Depuis plusieurs années, le Centre de Gestion Scientifique (CGS) de l'école des Mines a mené une réflexion sur l'innovation dans les entreprises. La parution récente de l'ouvrage « Les Processus d'Innovation » (Le Masson et al., 2006) a été l'occasion pour les chercheurs du SGI de faire le point sur ces recherches.

2.3.1 *Prémices et Méthodologie*

Selon les auteurs du CGS, il y a un fait nouveau, et qui s'intensifie depuis une vingtaine d'années : nous sommes entrés dans une période qualifiée de « **innovation intensive** ». Ce qui caractérise cette situation, c'est la crise de l'**identité des objets**. Alors que pendant longtemps les produits, qu'ils soient des biens ou des services, gardaient des caractéristiques relativement stables dans le temps, il semble que cela ne soit désormais plus le cas :

- au sein d'une même catégorie de produits tout d'abord, le taux de renouvellement s'est accéléré. Les constructeurs automobiles doivent désormais renouveler leurs gammes tous les deux ou trois ans, là où un modèle pouvait rester aux catalogues de ces constructeurs de cinq à huit ans dans les années soixante-dix. Et que dire du renouvellement des produits dans l'informatique, ou même l'agro-alimentaire, ou chaque année une nouvelle génération vient remplacer l'ancienne ?
- de plus, de nouvelles catégories d'objets apparaissent sans cesse, produits que l'on a du mal à considérer comme des descendants, des améliorations de produits plus anciens. C'est le cas par exemple des ordinateurs ou des téléphones portables, des services d'accès à internet ou encore des banques en ligne... Et pourtant, ces produits radicalement nouveaux se propagent à des vitesses rarement observées auparavant.
- Enfin, l'identité même de nombreux nouveaux produits est difficile à définir. Par exemple, le nouvel Iphone de MacIntosh est à la fois un téléphone, une disque dur, un navigateur internet, un dispositif d'écoute de musique électronique, une boîte mél et un agenda électronique. Dans les services, on pourrait faire le même constat : les banques par exemple sont devenues des assurances, des conseillers fiscaux, parfois des agents immobiliers...

Cette situation d'innovation intensive crée une tension permanente sur les entreprises, obligées de multiplier leurs moyens d'innovation, d'accélérer le rythme de sortie de leurs produits, de surveiller les risques et les opportunités dans tous les secteurs, et dans le monde entier. C'est pour répondre à

ce défi que le CGS a mené une vaste réflexion sur la façon dont on peut gérer collectivement l'innovation dans les entreprises.

La méthodologie employée pour répondre à cette problématique s'est articulée autour de trois axes :

- une suite de recherches empiriques menées dans des entreprises innovantes, en suivant une démarche de **recherche-intervention** (David, 2000), durant lesquelles des chercheurs se sont immergés et impliqués sur de longues durées dans la vie des organisations, afin de révéler les pratiques de gestion utilisées par les praticiens.
- un effort de théorisation de ces pratiques, qui a permis en particulier de mettre au point la théorie C-K de la conception (Weil and Hatchuel, 2003), théorie qui permet de modéliser le processus cognitif de conception innovante.
- une série de recherches terrain mobilisant le cadre de la théorie C-K dans divers environnements empiriques et qui ont permis d'enrichir cette réflexion. C'est ainsi que les auteurs en sont venus à proposer le modèle de la RID comme mode d'organisation alternatif à celui, plus classique, de la R&D, afin de gérer l'activité d'innovation dans les entreprises.

Par la suite, nous allons nous consacrer à détailler la théorie C-K de la conception, le modèle de la RID et les implications de cette réflexion sur notre connaissance du processus collectif d'innovation.

2.3.2 L'importance de la conception dans le processus d'innovation

Selon les chercheurs du CGS, les processus cognitifs sont sous-jacents aux processus d'innovation. L'intérêt de se pencher sur ces processus de conception est que cette focale nous permet de sortir des catégories habituelles qui font les capacités d'innovation des entreprises (Ingénieurs de R&D, Scientifiques, Chercheurs, Techniciens) pour prendre en compte une catégorie plus large d'individus – les designers – qui comprend des publicitaires, des spécialistes du marketing, voire même des utilisateurs. Dans l'optique de l'innovation intensive, où les entreprises doivent de plus en plus souvent réviser l'identité des objets qu'elles produisent, il est essentiel de comprendre comment se conçoivent ces objets nouveaux. L'activité qui consiste à fabriquer ces objets nouveaux est qualifiée de « **raisonnement de conception** ». Cette activité a certaines caractéristiques :

- elle s'appuie sur la création de savoirs (les auteurs font par exemple référence aux travaux de Nonaka et Takeuchi (Nonaka and Takeuchi, 1995), qui montrent que les entreprises innovantes fabriquent des connaissances tacites ou explicites.
- partant d'idées souvent peu développées, elle transforme ces idées grâce à l'intervention d'acteurs multiples (référence est faite ici aux travaux de Van de Ven et de Callon que nous venons de détailler)
- elle doit intégrer une part d'invention, de créativité sur les concepts, ce que Weick a démontré par ailleurs en utilisant la métaphore du musicien de Jazz (Weick, 1998) capable d'improviser, tout en restant dans un cadre prédéfini (la structure du morceau de musique) et en s'appuyant sur une organisation définie (le Band de Jazz).
- elle doit pouvoir, le cas échéant, être modélisée par des outils ou une théorie formelle.

Selon Hatchuel, l'activité de conception a souvent été négligée dans les théories des organisations. Par conséquent, on ne sait pas encore la décrire avec précision. Il nous faut donc des concepts spécifiques pour décrire un tel processus.

2.3.3 La théorie C-K de la conception

C'est dans ce but que Benoît Weil et Armand Hatchuel ont mis au point la théorie C-K de la conception. Celle-ci vise à modéliser les étapes d'un raisonnement collectif de conception, en se focalisant en particulier sur deux « espaces », qui sont les concepts et les connaissances. Dans le cadre de l'innovation intensive, ces deux espaces sont amenés à croître et à se modifier en cours de processus. On doit donc pouvoir suivre l'évolution de ces deux espaces. Cette théorie s'appuie sur la théorie mathématique dite des ensembles. Afin de rendre son exposé plus aisément compréhensible, nous allons décrire cette dernière en utilisant l'exemple du concept eMRAM qui est à la base du projet MEMORY, notre terrain principal d'investigation.

a) Deux espaces distincts pour les propositions : C et K

K est défini comme l'espace des connaissances, et C est celui des concepts. Une proposition peut avoir un statut logique pour les concepteurs, ou ne pas en avoir. Si elle en a un, elle appartient à l'espace K : c'est une connaissance. Par exemple, pour des spécialistes du magnétisme, faire la proposition suivante : « les électrons ont une masse, une charge et un moment magnétique » est une évidence. Cette proposition a un statut logique (elle est vraie). Donc, c'est une connaissance, un élément de K. Cela fonctionne aussi par la négative. Dire par exemple que « les électrons ont une cou-

leur » n'a pas de sens pour un physicien. Elle a donc un statut logique (« ça n'a pas de sens »). C'est donc un élément de connaissance, une proposition dans l'espace K.

En revanche, une proposition n'ayant pas de statut logique appartient à l'espace C. Par exemple, une proposition de type « Une mémoire vive utilisant la circulation des photons à la place des électrons », est une proposition qui laisse des physiciens ou des micro électroniciens à la fois perplexes et enthousiastes. Ils savent que cela n'existe pas actuellement, mais ils pensent que c'est réalisable, via la photonique. Cette proposition ouvre le doute pour les concepteurs. On ne sait pas dire si elle est vraie ou fausse, elle initie un débat. N'ayant pas de statut logique, une telle proposition appartient à l'espace C, c'est un concept.

Le but du raisonnement de conception est de donner un statut à un concept (ou à un ensemble de concepts) de C, c'est à dire, par définition, à en faire une proposition ayant un statut logique : une connaissance. **C'est ce processus de transformation d'éléments de C en propositions de K que l'on nomme conception.**

b) Disjonctions

Comment naissent les concepts ? Selon la théorie, ils sont obtenus à partir de propositions de K qui sont associées pour former une nouvelle proposition sans statut (donc une proposition dans C). Dans l'exemple de MEMORY, le concept de base est le suivant « une mémoire vive sur silicium utilisant le Spin des électrons dans le silicium ». C'est ce que les concepteurs nomment le concept eMRAM¹. Les "mémoires vives sur silicium" sont une proposition ayant un statut logique : toutes les mémoires vives de nos ordinateurs, téléphones, produits électroménagers, etc., utilisent de telles mémoires depuis longtemps. Cette proposition est donc une connaissance. « Le moment magnétique des électrons (son spin) dans le silicium » est lui même une proposition connue des physiciens. En revanche, les mémoires sur silicium habituelles utilisent la charge des électrons, et non son Spin. Il existe bien des tentatives pour faire des mémoires vives en utilisant le spin des électrons, mais ce spin est créé et détecté dans des couches de matériaux déposées en surface de substrats silicium, et non dans le silicium lui même. En associant deux propositions disjointes dans K, on obtient donc une nouvelle proposition qui n'a pas de statut. « **Une mémoire vive sur silicium utilisant le Spin des électrons dans le silicium** », cela n'existe pas. En même temps, cela n'est pas impossible... A condition de répondre à un certain nombre de questions ! Comment influencer sur ce Spin ? Comment le détecter ? Comment construire un dispositif capable de faire cela ? Tant que

1. eMRAM pour embedded Magnetic Random Access MEMORY

l'on ne sait pas répondre à ces questions, le **statut** du concept reste ouvert. Pour les concepteurs, cette disjonction n'a donc pas de statut logique. C'est une possibilité, une proposition sans statut, bref : un élément de l'espace C.

Cela nous montre un point important de la théorie : **C est K dépendant**. La faculté à créer des concepts dépend des connaissances des concepteurs. Par exemple, proposer un concept tel que celui de l'eMRAM nécessite d'avoir des connaissances en magnétisme et en électronique. Un tel concept aurait été impossible à formuler pour l'auteur de cette thèse, qui il y a peu ne savait pas que les électrons avaient un spin !

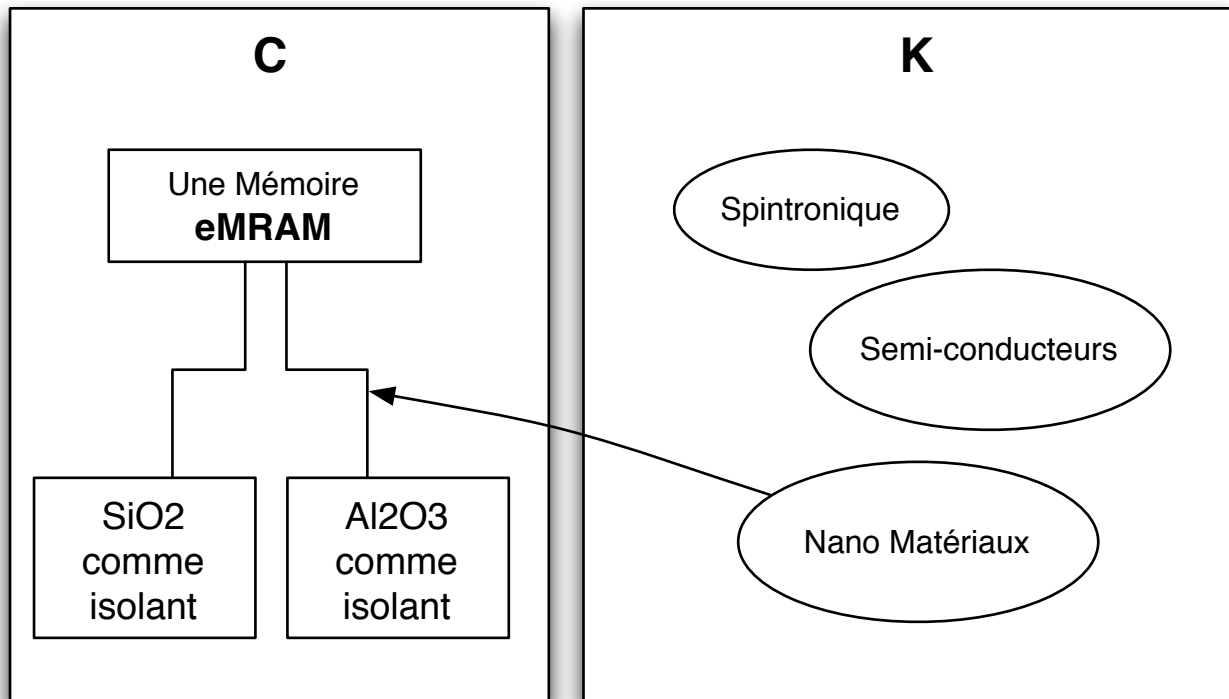
c) L'expansion de C

Il est possible d'ajouter ou de retirer des propriétés à un concept (qui est une agrégation de propriétés). Le but de cette expansion de C est d'obtenir un concept plus étendu, jusqu'à le rendre suffisamment précis et testable. Les propriétés que l'on ajoute à C sont souvent issues de K. Au concept eMRAM que nous venons d'introduire, on peut ajouter, afin de l'étendre, un certain nombre de propriétés nouvelles. Ces propriétés sont ajoutées par les concepteurs grâce à leurs connaissances. Par exemple, certains scientifiques ont décrit un phénomène physique nommé « effet tunnel », c'est à dire la possibilité qu'ont certains électrons à franchir une barrière, qui peut être par exemple une couche d'un matériau non conducteur. Grâce à un tel effet, on peut « sélectionner » des électrons en fonction de leur spin. C'est donc un procédé possible pour réaliser une eMRAM. Le concept ainsi étendu devient alors :

Une mémoire vive sur silicium - utilisant le Spin des électrons dans le silicium – Le Spin est contrôlé par un effet tunnel.

Selon Hatchuel et Weil (ibid), l'espace C a une structure arborescente, c'est à dire que à partir d'un même concept, on peut proposer divers alternatives de conception. Cette opération est nommée une partition. Par exemple, pour réaliser l'effet tunnel désiré dans le cas de eMRAM, on sait qu'il va falloir déposer une nano-couche d'un matériau isolant sur le silicium. Plusieurs matériaux sont possibles, selon les spécialistes des matériaux, et en particulier un Oxyde d'Aluminium (Al_2O_3) et la Silice Amorphe (SiO_2), matériaux connus dans la recherche sur les nano couches et que l'on sait pouvoir déposer avec diverses techniques. Grâce à ces propriétés « importées » de K, on peut donc continuer à étendre notre concept, selon deux embranchements distincts. Une représentation graphique de ces expansions pourra nous donner le graphe suivant :

Schéma 8: Exemple de partition de C pour le concept eMRAM



Selon la théorie CK, on peut faire une partition, soit en ajoutant une propriété issue de K, soit en « créant » une propriété, en lui ajoutant une proposition n'ayant elle même pas de statut.

d) L'expansion de K

Mais le but du concepteur n'est pas seulement de proposer des concepts originaux. Il est aussi de les rendre possibles, de les détailler, de les préciser, de voir si, oui ou non, ils sont réalisables. Bref, de transformer des éléments de C en éléments de K. Ce mouvement qui va de C vers K est nommé une **conjonction**. Typiquement, une conjonction est réalisée chaque fois que l'on peut donner un statut à une proposition de C. Dans le cas d'un processus de conception d'un objet innovant, des conjonctions sont souvent réalisées en fabriquant des prototypes. Le prototype fabriqué va refléter un certain état du concept, relativement « expansé » (on a besoin de connaître un certain nombre de ses caractéristiques pour réaliser un objet). En testant ensuite le prototype, on peut savoir si, oui ou non, il réagit comme prévu. Ce qui permet aux concepteurs de donner un statut au concept ainsi testé. La validation d'un concept (le fait de lui donner un statut logique) peut passer par d'autres voies que le test. On peut par exemple consulter un expert, acquérir de nouvelles connaissances, qui vont nous permettre de donner un statut à un embranchement de C. Par exemple, dans le cas du eMRAM, si un scientifique renommé vient expliquer qu'il est impossible de créer un effet tunnel sur

une barrière de Silice Amorphe, cet embranchement du concept acquiert un statut. La proposition devient alors « impossible », ce qui est une connaissance nouvelle pour les concepteurs de l'objet.

L'espace K peut aussi croître au cours du projet, de par l'acquisition de nouvelles connaissances. Dans la plupart des cas, un effort de recherche est mené en parallèle de l'activité de conception. Dans le cas de l'eMRAM par exemple, de nombreux chercheurs travaillent et publient régulièrement sur les caractéristiques des matériaux. On leurs découvre de nouvelles propriétés, des techniques nouvelles de dépôt de couches minces sont mises à jour et détaillées. Les concepteurs, qui appartiennent à diverses communautés scientifiques, ont connaissance des avancées réalisées dans leurs domaines : leurs capacités cognitives évoluent donc au cours du processus, ce qui va leur permettre d'intégrer de nouvelles connaissances aux concepts en cours de développement. Les concepteurs développent eux-même des connaissances nouvelles. Mieux, le cours de leurs recherches, les questions auxquelles ils tentent de répondre, sont souvent guidés par des besoins de conception. Par exemple, dans le cas de l'eMRAM, le concept décrit plus haut permet d'adresser plusieurs questions de recherche, comme par exemple : quelles sont les caractéristiques magnétiques du SiO₂ ? Comment peut-on réaliser un dépôt mince sur silicium de Al₂O₃. Au début du projet, l'état de l'art n'offre pas de réponse claires à ces questions. **Le développement de C permet donc de produire des questions pertinentes pour les chercheurs**, il crée des interrogations envoyées vers K. C'est un autre point important, qui nous montre le lien intime qui existe entre C et K. Alors que C est K dépendant, C envoie des questions de recherche à K. Cela permet de focaliser l'effort de recherche sur des besoins de conception en cours, et nous explique comment les processus de conception permettent de converger vers des résultats tangibles, en permettant de guider en partie l'activité de recherche, l'expansion de K.

e) Les Opérateurs de conception

Au cours de l'activité collective de conception, les concepteurs vont ainsi réaliser un certain nombre d'opérations leur permettant de faire des expansions dans K et dans C, et de converger vers la réalisation de concepts nouveaux. Pour ce faire, ils vont actionner ce que la théorie nomme des opérateurs de conception. Ces opérateurs sont les suivants (*le terme opérateur doit être compris ici et par la suite comme étant une opération mathématique, et non un acteur, un individu opérant !*) :

Opérateurs externes :

- $K \rightarrow C$: Cet opérateur permet d'ajouter ou de retirer des propriétés issues de K à un concept de C. Cela permet de créer des disjonctions, mais aussi d'expanser des concepts, de proposer des alternatives.

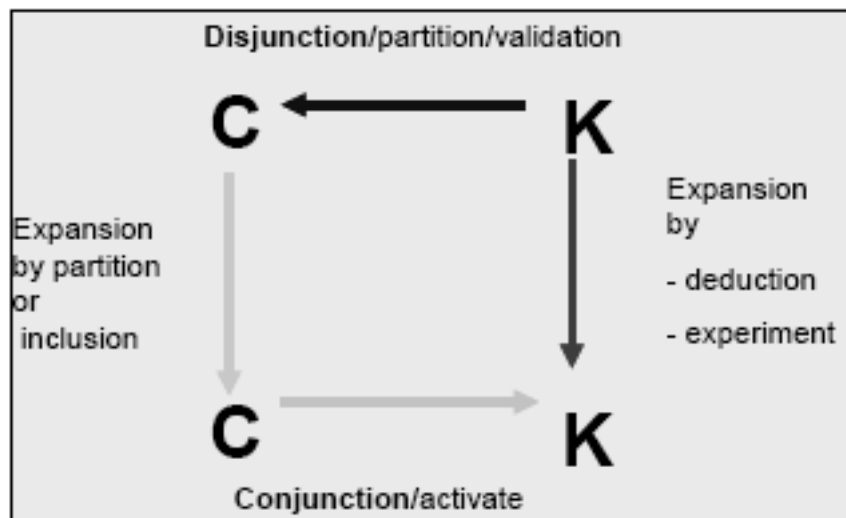
- $C \rightarrow K$: Cette activité recherche dans K des propriétés pouvant être ajoutées à C, dans le but de donner un statut à K. Pratiquement, cela correspond à la réalisation de conjonctions (prototypes, tests, maquettes, demandes d'expertise, etc.).

Opérateurs internes :

- $C \rightarrow C$: Cet opérateur contrôle l'expansion de C selon les règles décrites plus haut (en particulier la partition). Il décrit la forme logique de l'expansion de C selon une logique arborescente.
- $K \rightarrow K$: Cet opérateur permet de décrire l'activité d'expansion des connaissances selon une logique de recherche, l'approfondissement de champs de connaissance, etc.

En combinant ces quatre opérateurs, la théorie CK donne une vision de la dynamique de l'activité de conception, graphiquement représentée par le « carré de la conception » représenté ci-après :

Schéma 9: Le carré de la conception (Weil & Hatchuel, 2003 p10)



f) Espaces de conception et opérateurs d'extraction et de désignation

A l'origine d'un raisonnement de conception, se trouve une disjonction, une proposition de concept. Souvent, la première proposition ainsi faite a pour objectif de répondre à une question (dans le cas de l'eMRAM, la question était : peut-on concevoir une mémoire vive qui soit aussi non volatile, comme peut l'être un disque dur, pour un coût de production raisonnable ?). Le concept eMRAM est un début de réponse à cette question. Le projet MEMORY a pour but d'expanser ce concept, d'explorer et de créer des connaissances liées à ce concept, dans le but de donner un statut au

concept. C'est ce que Lemasson, Weil et Hatchuel (2006) nomment un "espace de conception". On sort là du modèle théorique CK et on commence à regarder les implications pratiques, organisationnelles en particulier, de cette théorie de la conception.

Selon les auteurs, les entreprises innovantes ont intérêt à gérer leurs trajectoires de conception, en se dotant de structures et d'outils leur permettant de piloter leur activité de conception innovante. Les auteurs développent ainsi un modèle dit RID (avec le I de Innovation), qui pourrait venir remplacer le modèle classique de la R&D. Un des objectifs de ce modèle RID est de piloter la valeur des projets menés dans l'entreprise. Chaque projet étant en fait un espace de conception. Comment peut-on s'y prendre ? On définit deux nouveaux opérateurs : un opérateur d'extraction, et un opérateur de désignation.

L'**opérateur d'extraction** permet d'introduire une démarche originale d'évaluation d'un projet (ici : d'un espace de conception). Rappelons qu'un espace de conception se termine lorsqu'un certain nombre de conjonctions ont eu lieu, ayant donné un statut aux propositions de C. Nous le savons, de nombreux projets de conception ne débouchent pas nécessairement sur la réalisation d'un objet nouveau, fini, fonctionnant correctement. Il arrive souvent que des résultats intermédiaires de prototypes, ou bien des nouvelles connaissances, remettent en cause le concept développé. En revanche, chaque espace de conception permet d'expanser un concept, et d'explorer un espace de connaissances. **Or, ces explorations doivent être considérées comme des résultats tangibles.** A la fin d'un espace de conception, il est donc important de repérer, afin de les capitaliser, quels sont les éléments de C et de K mis à jour. Ces éléments peuvent être de divers types :

- Des connaissances spécifiques ont été développées pour être intégrées dans le concept. Même si le concept final ne fonctionne pas, il est important de pouvoir repérer quelles sont ces connaissances, qui peuvent être utilisées dans d'autres espaces de conception.
- Des connaissances non intégrées au concept final ont pu être créées à l'occasion d'expériences menées pour les besoins du concept. Ces connaissances, qui arrivent presque « accidentellement » peuvent parfois avoir une grande importance pour les projets à venir.
- Des concepts ont acquis un statut. Les concepteurs ont donc des informations sur les voies de conception prometteuses, et sur les voies pouvant être abandonnées. Ces informations sont essentielles si l'on veut, dans les projets à venir, converger vers une solution acceptable.
- Certains embranchements du concept ont été énoncés (expansions), mais n'ont peut-être pas été testés. Il faut savoir garder trace de ces alternatives. De trop nombreux concepts sont purement et simplement abandonnés dès qu'un prototype ne fonctionne pas. On rejette alors le concept en en-

tier, « à sa base », alors que ce qu'a démontré l'expérience, c'est juste que telle ou telle option de conception n'a pas fonctionné.

Dans l'optique de la RID, la prise en compte de ces divers acquis permet d'actionner un autre opérateur : **l'opérateur de désignation**. En fait, une trajectoire d'innovation peut reposer sur un enchaînement de divers espaces de conception. Dans l'idée de converger vers des produits commercialisables (ou utilisables), il est nécessaire de faire en sorte que chaque nouvel espace s'appuie sur les valeurs extraites des espaces précédents : quelles sont les voies de conception abandonnées ? Quelles sont celles qui semblent au contraire prometteuses ? Quelles connaissances peut-on réutiliser ? etc. L'opérateur de désignation va permettre de formuler une nouvelle question, focalisée par exemple sur un point bloquant isolé lors d'un espace de conception précédent. Au final, l'objectif est de se retrouver dans une situation classique de R&D : c'est à dire une conception réglée, allant du général au détaillé, effectuée sur un socle de connaissances stabilisé.

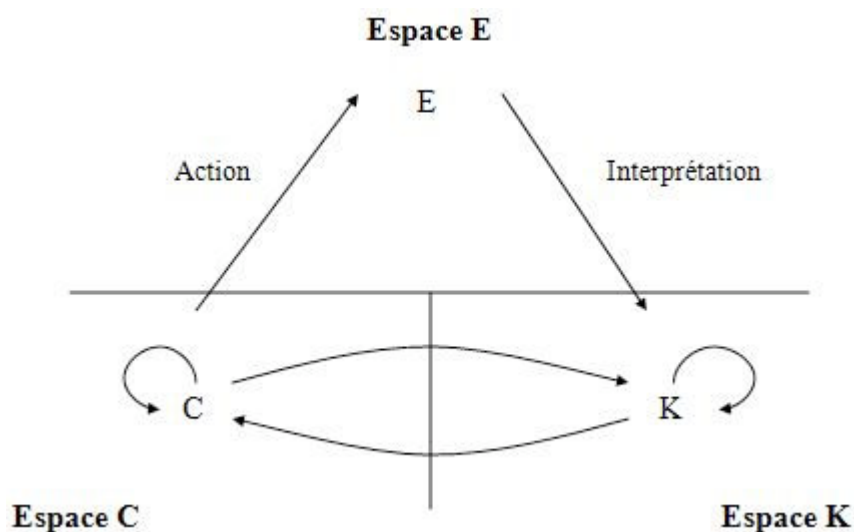
g) L'espace E : prendre en compte l'environnement

Des travaux plus récents (Kazakci, 2007) visent à enrichir la théorie CK de la conception, afin d'y ajouter un nouvel espace, l'espace E, qui prenne en compte l'environnement des concepteurs. En effet, dans son développement premier, le processus de conception décrit par CK ne prend pas en compte de façon explicite l'influence de l'environnement des concepteurs sur le processus de conception. Or, comme le souligne Kazakci dans sa thèse, **la conception est une activité située**. Les concepteurs sont en interaction constante avec leur environnement de conception. Etudier le travail du concepteur nécessite d'étudier aussi comment il agit dans et avec son environnement direct de travail : ses collègues ou ses instruments de travail par exemple. L'auteur fait ici explicitement référence aux travaux portant sur la cognition située, dont ceux de Suchman. Dans cette vision, *"l'action consiste, la plupart du temps, à la mobilisation et l'utilisation des ressources offertes par l'environnement d'une manière opportuniste et improvisée"* (Kazakci, 2007, p 65). L'activité de conception sera donc en partie contingente à ces ressources, à leur existence, à leur mobilisation ou non par les concepteurs. Pour reprendre l'exemple développé plus haut, il est évident que les concepteurs de MEMORY ne pourront pas, par exemple, ajouter au concept eMRAM la propriété "Silice Amorphe" s'ils n'ont dans leurs environnements un contact avec des travaux portant sur les caractéristiques de ce matériau. Les connaissances des concepteurs sont ancrées dans la réalité, liées à des objets et des individus issus de l'environnement dans lequel un agent travaille. Elles ne sont pas ici vues comme un "stock" dans lequel puiserait l'agent, mais comme le résultat d'une reconstruction par l'agent, une **interprétation de son environnement**.

Le fait que, dans l'action située, action et environnement soient unis dans une relation réflexive a une autre conséquence pour l'espace E. En concevant, l'agent modifie aussi son environnement. Il dessine, un croquis, fait un plan, monte un prototype. Chacun de ces éléments devient alors patent dans son environnement. **L'action de l'agent elle même va donc modifier l'environnement.**

L'activité de conception est donc dépendante de l'environnement de conception, comme l'environnement, en retour, pèse sur l'activité de conception. La modélisation proposée par Kazacki peut donc être schématisée de la façon suivante :

Schéma 10: Les espaces C, K et E (Kazacki and Tsoukias, 2005)



2.3.4 Intérêt de la conception innovante pour comprendre le développement d'un processus collectif d'innovation

a) La théorie CK peut-elle s'appliquer à un processus collectif d'innovation ?

La théorie CK a été mobilisée par Blanche Segrestin (Segrestin, 2006) pour étudier les partenariats d'exploration : il y a donc des précédents pour l'application de ce corpus à une activité de conception menée dans un contexte inter organisationnel.

b) Les apports de CK pour notre question de recherche

La théorie CK s'est focalisée sur la description du processus cognitif qui est au coeur de l'innovation. Pour obtenir le niveau de cohérence interne souhaité, la théorie ne prend pas en compte explicitement d'autres dimensions de l'innovation que nous avons évoquées ici (le versant social du processus n'est pas décrit). Ce faisant, elle constitue un outil permettant de décrire avec beaucoup de détails **les mouvements et les étapes du raisonnement**, qui résultent en quelque sorte de la dynamique collective sous-jacente. Les concepts d'opérateurs de conception, par exemple, permettent de visionner les étapes, les mouvements de la conception. CK peut alors être utilisé pour guider des travaux de recherche plus spécifiquement orientés sur d'autres aspects de l'innovation. Selon Hatchuel et Weil (2003) eux-même, CK ouvre de nombreuses questions de recherche :

« What is the social acceptance of concepts and disjunctions in organizations ? how are they handled ? does team work allow for long conceptual expansions ? What is the impact of knowledge codification on the ability to design ? »

Les évolutions récentes de cette théorie (comme CKE) semblent aller dans ce sens, et visent la prise en compte de l'environnement des concepteurs, environnement, sollicité et modifié par les concepteurs eux-mêmes dans le cours de leur activité.

La question du développement temporel du processus d'innovation n'est pas directement traitée. En revanche, pour les scientifiques du CSG , les processus de conception innovante peuvent et doivent être gérés. Les entreprises doivent donc organiser des projets d'exploration d'espaces de conception, qui vont converger vers des concepts plus expansés, reposant sur des bases stabilisées de connaissance. Ce sont donc des processus pouvant être en partie dirigés. Les résultats de ces processus n'émergent pas du chaos. Ils sont le fruit d'une activité collective de raisonnement délibérée et pilotée.

c) Les limites pour notre question de recherche

Le cas des PCI vient ajouter des difficultés à l'application de CK et même de CKE : L'environnement des concepteurs est pour nous un notion complexe et ambiguë. Dans un consortium tel que MEMORY par exemple, l'environnement des concepteurs est multiple : il est dans un laboratoire en Autriche, chez un industriel en Angleterre, dans une PME française. Cet environnement se modifie dans le temps, tout au long du projet, en fonction par exemple de l'achat de nouvelles installations, de l'arrivée de nouveaux chercheurs, de l'évolution de la structure sociale des collectifs, du départ ou de l'arrivée d'un nouveau partenaire. Enfin, **cet environnement est soumis à des modifications**

qui ne sont pas issues de l'activité de conception. Si, par exemple, un laboratoire décide de remplacer un équipement de test par un modèle plus récent, l'environnement de conception va être modifié d'une façon telle que les processus de conception en cours vont être modifiés par cet achat (il y a un temps d'installation qui va retarder les projets en cours, un temps d'apprentissage qui va forcer les concepteurs à investir du temps pour comprendre le fonctionnement du nouvel équipement, et enfin, ce nouvel équipement peut offrir des possibilités très différentes de l'ancien, ce qui va influencer les processus de conception en cours). Si l'activité de conception est bel et bien située, elle est située dans un espace E distribué et en perpétuelle évolution. Il nous faudra probablement lire cet environnement et son évolution avec beaucoup de précision si nous voulons comprendre le développement temporel d'un processus collectif d'innovation.

Section 2.4 Conclusion

Nous résumons ci-dessous les conditions d'application des différentes théories des processus que nous venons d'étudier, ainsi que leurs apports et leurs limites pour notre objet de recherche.

Tableau 2: Comparaison des cadres théoriques décrits pour l'analyse des processus collectifs d'innovation

	MIRP	SAR	CK
Conditions d'application	Pour appliquer cette méthode, il faut faire l'hypothèse qu'un consortium est une quasi organisation.	On peut appliquer l'analyse socio-technique à un processus collectif d'innovation.	S'il y a un raisonnement de conception, CK peut s'appliquer. La difficulté tient à la variété et à la répartition des concepteurs.
Apports	La richesse des données collectées, la prise en compte de plusieurs catégories essentielles (les sensibles categories).	Une vision fine de la transformation du réseau socio-technique, du rapport entre un objet et son inscription dans ce réseau complexe et changeant.	Une vision fine du processus de conception, dans sa dimension cognitive, qui permet d'avoir une description précise du cheminement du processus de raisonnement.
Limites	Le traitement quantitatif des données appauvrit les données empiriques, le contexte est ramené à une catégorie et le processus ainsi traité traverse de longues périodes chaotiques difficiles à interpréter.	L'objet de recherche, par l'intermédiaire du réseau socio-technique, est relié à une infinité d'éléments pouvant faire sens. En quelque sorte, tout peut être un élément influent sur le processus.	Le processus de raisonnement est principalement lié à l'environnement direct de conception, sans prise en compte explicite d'un contexte plus large et changeant.

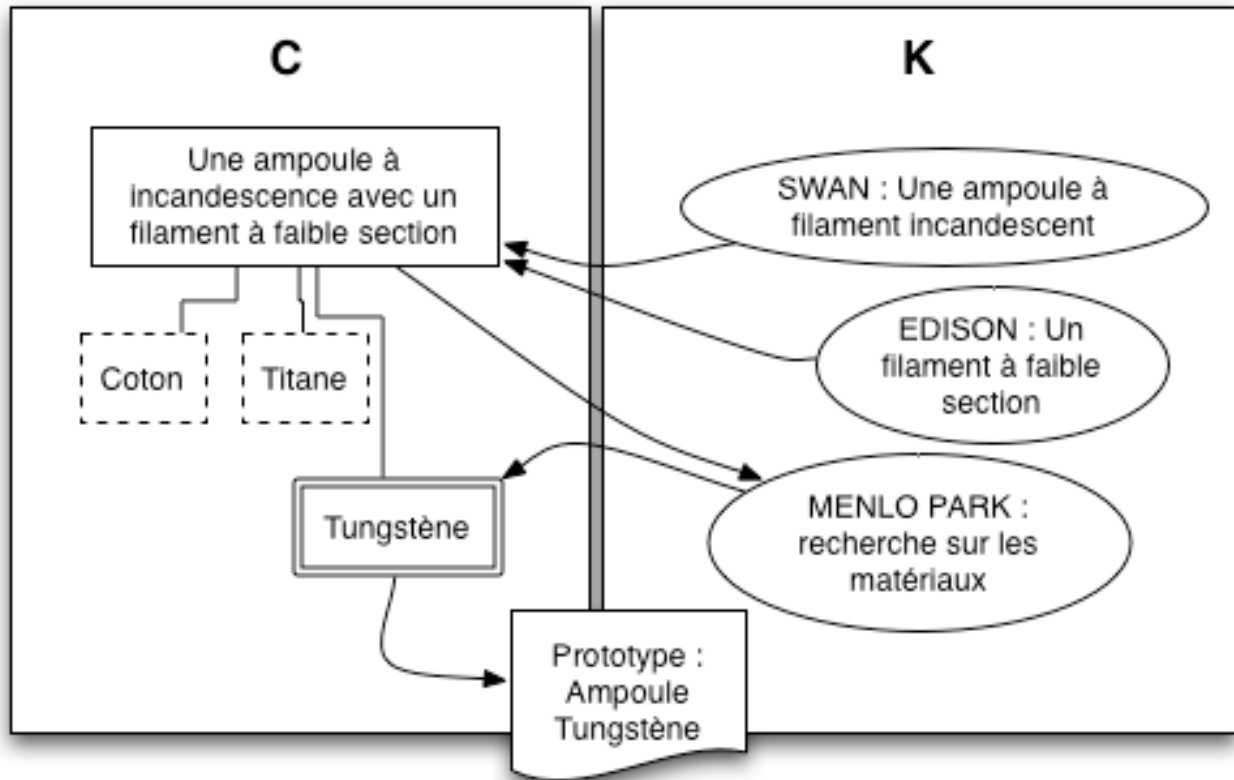
En rapprochant ces trois approches, qui toutes trois s'intéressent à des aspects différents du processus d'innovation, une vision du processus collectif d'innovation se dégage et des points d'accord s'imposent, comme nous le montrons ci-dessous.

2.4.1 Le processus d'innovation : versant social et versant cognitif

La SAR nous donne une explication de la façon dont se prennent les actants humains pour explorer une idée, la modifier, avant de l'adapter. Les collectifs se livrent à des controverses. Ils organisent des « procès en accusation ». Pour cela, les porteurs d'une idée, d'un projet, cherchent à s'entourer de porte-paroles qui peuvent représenter diverses options, qui ont diverses visions du monde, des connaissances et des intérêts divergents. C'est en prenant en compte ces divergences, en les traduisant, en les inscrivant dans les objets que les objets vont pouvoir porter en eux un reflet du monde qui les entoure. Et c'est en reflétant au mieux le monde qui les entoure qu'ils vont le plus facilement être adoptés par un grand nombre d'acteurs. Pour reprendre une phrase célèbre de la SAR, « Adapter, c'est adopter » (AKRICH et Ali 1988 2). Autre point essentiel, qui selon la SAR permet de bien comprendre pourquoi certains innovateurs, comme EDISON, ont su réussir à faire émerger des innovations capitales : il faut savoir choisir la bonne controverse. C'est ce que fait EDISON en comprenant que le point essentiel pour réaliser l'ampoule à incandescence, c'est de découvrir un moyen de produire un filament fin, à faible section. Son génie, ici, est de comprendre quel est le point clef pour faire avancer son concept, sur quelle question de recherche il faut réunir les connaissances, mener des expériences, organiser une controverse et mettre au point une solution acceptable pour tous. Le versant social du processus est ici très bien analysé. La conception de l'objet reflète le réseau socio-technique qui l'entoure, et se transforme avec lui.

La théorie CK appliquée à la description du processus collectif de conception, permet de se focaliser sur le versant cognitif du processus avec une grande précision. En ce sens, elle peut être complémentaire de la SAR, l'une focalisant sur le versant cognitif (CK) et l'autre sur le versant social du processus. Nous proposons d'ailleurs ci-après de relire le travail de EDISON décrit plus haut en utilisant le formalisme CK (figure suivante), que nous associons à une analyse de l'évolution du réseau socio-technique selon les techniques de la SAR :

Schéma 11: Le raisonnement de conception de l'ampoule au tungstène



Les opérateurs de conception activés lors de ce raisonnement ont également un versant social que nous décrivons ci-dessous à l'aide de concepts issus de la SAR :

- Disjonction : Depuis plusieurs années (1878) SWAN a démontré qu'il est possible de réaliser une ampoule à incandescence en plaçant un filament de carbone entre deux électrodes dans une enveloppe de verre dans laquelle on a fait le vide. Problème : une telle ampoule ne fonctionne que quelques heures et nécessite un voltage très important. Après quelques heures, le filament de Carbone se brise. EDISON, autour de son laboratoire MENLO PARK, a recruté des porte-paroles de divers milieux : financiers, techniques, juridiques, etc. Il peut donc compter sur les connaissances de ces porte-paroles. Que lui dit-on ? Qu'une ampoule ne sera acceptable que si elle a une durée de vie importante et ne consomme pas trop d'énergie. EDISON et ses collègues (dont SWAN !) font donc la proposition d'une ampoule à incandescence avec un filament fin. C'est la disjonction de départ pour son projet. Cette proposition est un concept, associant des éléments de K.
- Expansion de C : Il y a plusieurs options pour réaliser ce filament fin. A partir de 1879, on ajoute au concept divers embranchements : « un filament en platine », « filament en coton carbonisé », etc. Chacune de ces partitions dessine des options différentes qu'il faut tester.

- Expansion de K : en parallèle, ces expansions de C envoient des questions de recherche plus précise vers les chercheurs de MENLO PARK : que sait-on de la résistance des divers matériaux ? Quels matériaux sont suffisamment disponibles et transformables pour faire des filaments de faible section ?
- Conjonction : en 1909, des tests montrent que le Tungstène est le meilleur matériau pour cette lampe. Sa température de fusion est très élevée (plus de 3400 °C), ce qui lui permet de supporter de très hautes intensités électriques. Les ampoules réalisées selon ce concept fonctionnent en effet pendant des heures. Le Concept acquiert un statut (cela fonctionne), c'est donc désormais une connaissance.

On constate ainsi que dans un processus d'innovation, le cheminement cognitif, l'évolution de l'idée, est inextricablement lié à un contexte social complexe et changeant, fait d'actants, de collectifs, d'innovateurs. On peut donc suivre un cheminement cognitif du processus (avec les concepts CK par exemple) comme on peut suivre son cheminement social (comme on pourrait le faire avec une description de l'évolution du réseau socio-technique en utilisant les concepts de la SAR). Pourtant, cette double grille de lecture n'est pas suffisante.

2.4.2 La place des collectifs

Initialement, la SAR a parlé d'actants plutôt que d'acteurs, ces actants pouvant être humains ou non humains. Cependant, plus récemment (Callon, 2003), les sociologues de la traduction ont insisté sur l'importance des Collectifs de Recherche Distribués, ces groupes d'individus, répartis dans diverses organisations, capables de développer dans le temps des activités communes, et en particulier des connaissances. C'est grâce à leur action que les réseaux courts, émergents, peuvent se solidifier. C'est en s'agrandissant, en enrôlant de nouveaux individus que ces collectifs peuvent soutenir le développement d'objets nouveaux. Qui fait partie de ces collectifs ? Des scientifiques bien sûr, mais aussi des managers, des utilisateurs, et même des profanes.

Parmi les 5 «*sensitive categories*» du modèle MIRP, figure la catégorie «People». Que remarquent Van de Ven et ses collègues? Qu'au cours du temps, le nombre d'individus participant à l'implémentation d'une idée a tendance à proliférer, que de plus en plus de personnes interviennent dans ce processus. Ces «people» se trouvent dans tous les services d'une organisation: top management, management intermédiaire, ingénieurs, scientifiques. L'inventeur initial s'entoure peu à peu d'alliés, il cherche des appuis, il partage son idée au cours du temps, jusqu'à ce que son idée ne soit plus seule-

ment la sienne, mais celle d'un ensemble d'individus réalisant entre eux un nombre croissant de transactions.

Enfin, pour les chercheurs du CGS, le raisonnement est un raisonnement collectif, réalisé par des concepteurs. Ces concepteurs sont eux aussi divers et nombreux: scientifiques, ingénieurs, mais aussi clients, partenaires, membres des services marketing, ou de communication. Dans le cadre de la mise en place de structures de type RID on pourra ajouter des personnels d'encadrement, des chefs de projets, analystes financiers, entrepreneurs, etc.

Il se dégage donc de cette littérature que le processus d'innovation **est mené par des collectifs d'individus**. Ces individus effectuent entre eux de nombreuses transactions, **et les membres de ces collectifs peuvent avoir des profils très variés** : ils peuvent appartenir à des services différents, voire à des organisations différentes. Ce collectif est central dans le processus : c'est lui qui raisonne, qui recrute, qui consolide les réseaux sociaux techniques, qui porte les connaissances. Cependant, ces collectifs ne sont pas stables dans le temps d'un processus. Au contraire, ils sont même amenés à se transformer, à s'unir et se désunir, à recruter de nouveaux membres : l'évolution du collectif, comme sa structure, pèsent sur le processus et en sont un élément de compréhension incontournable.

Pour compléter notre cadre conceptuel, il nous faut donc prendre en compte la littérature portant sur l'analyse de ces collectifs innovants, comment ils se construisent, quel est leur rôle dans l'innovation, quelle est l'influence de la structure de ces collectifs, ce qui fera l'objet d'un chapitre spécifique (chapitre 3).

2.4.3 Les limites du réseau socio-technique

Il y a une autre limite de ces approches pour notre objet de recherche qui tient selon nous **à la difficulté à prendre en compte ce versant social des processus dans le cas d'un processus collectif d'innovation**.

Le MIRP a utilisé une « *sensitive category* » spécifique pour aborder la question du "contexte" et a donc pu prendre en compte, durant ses études empiriques, de multiples informations sur le rôle du contexte au cours de processus. Cette thématique est centrale dans leur ouvrage collectif (VAN de VEN & Ali. 1999), et fait l'objet d'un chapitre spécifique « Building an Infrastructure for the Innovation Journey » (p 149). Les auteurs pensent qu'il est impossible d'analyser le processus d'innovation sans prendre en compte son interaction avec un contexte institutionnel et social riche. Ils proposent donc de replacer les processus dans un cadre social d'analyse (*social-system framework*),

construit non pas autour d'une organisation, mais d'une industrie. Cette industrie est reliée à un système de ressources (financements, formations des individus, sciences et techniques), à des marchés, à des activités prioritaires pour cette industrie et à des arrangements institutionnels (lois, standards, etc.). Non seulement le voyage d'une idée est soumis aux contraintes imposées par ce contexte, mais l'émergence d'idées nouvelles vient aussi modifier ces arrangements. Le contexte est donc vu comme un cadre pour le processus, mais il est aussi en partie transformé par l'implémentation des idées nouvelles construites par ces processus.

Dans la SAR, on ne parle pas de contexte social. En revanche, la notion de réseau socio-technique, qui cadre l'action et se transforme dans l'action, qui englobe des acteurs multiples, organisations, lois, règles, objets, individus, donne de ce cadre une définition très large. On pourrait presque dire que dans la SAR, tout est contexte social, que ce contexte est riche, multiple et mouvant et, que par des mécanismes de traductions, ce contexte s'inscrit dans les objets techniques. Avec les notions de réseaux émergents et réseaux stabilisés, on pourra ajouter que le contexte est plus ou moins prévisible, que, pour reprendre la terminologie de la SAR, il y a plus ou moins accord sur l'état futur du monde. Les fameuses « boîtes noires », en tant que morceaux stabilisés du réseau socio-technique, sont en fait des portions stabilisées du monde, ou, autrement dit, des contextes stables. Et les boîtes noires qui s'ouvrent, les incidents, les remises en cause des alliances ou des structures, représentent des contextes devenus soudain imprévisibles.

Dans la théorie CK et en particulier dans son évolution récente en CKE, on parle d'environnement de conception. Cet environnement est celui qui entoure les concepteurs dans le cadre de leurs activités de conception, il est constitué de leurs objets quotidiens, de leurs outils. C'est un environnement direct, quotidien, actionné dans leur activité courante par les concepteurs. Cet environnement nourrit le processus de conception, et est nourri par lui. *A priori*, cet environnement possède un certain degré de stabilité : l'espace E varie au cours de la conception, principalement du fait de la conception.

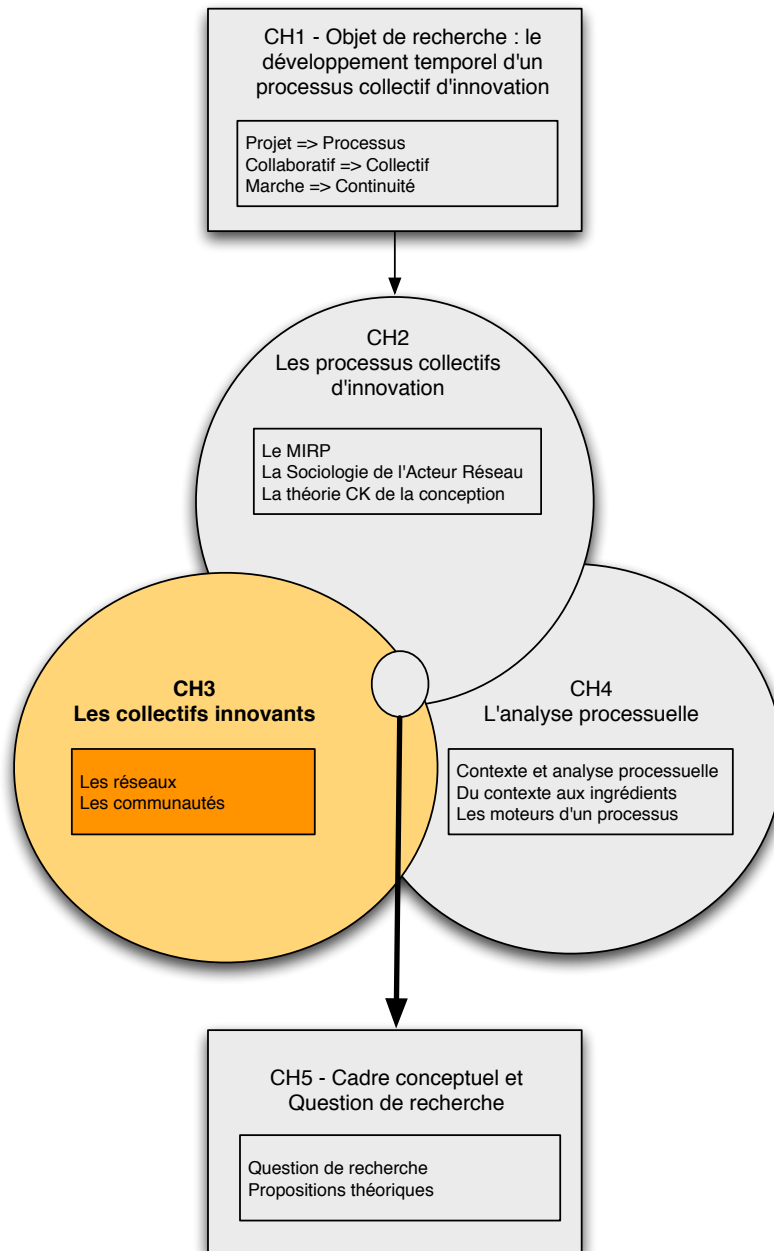
Le versant social du processus d'innovation est donc très vaste si l'on considère ces trois approches théoriques. Il part de l'environnement de travail, des objets quotidiens utilisés dans le laboratoire, dans l'entreprise, et englobe plus largement les partenaires, l'industrie dans laquelle il se déploie. Tous les éléments de ce contexte sont liés les uns aux autres dans un complexe réseau socio-technique. Si l'on regarde ce versant social dans le temps, pour reprendre les termes de la SAR on constate aussi qu'il y a des zones "stables" et d'autres plus instables, pouvant être source d'incidents, de remises en cause : le réseau socio-technique évolue dans le temps.

Il est donc nécessaire, pour compléter notre cadre conceptuel, de pouvoir décrire le versant social du processus d'innovation : d'en indiquer les limites pertinentes, et d'en décrire l'évolution temporelle. Or, l'objet même des analyses processuelles, ce que Pettigrew (Pettigrew, 1990) nomme "contextualisme", c'est de décrire un processus social dans son rapport à un contexte riche et changeant :

“Context is not just a stimulus environment but a nested arrangement of structures and processes where the subjective interpretations of actors perceiving, comprehending, learning and remembering help shape process”.

Le chapitre 4, présentant les analyses processuelles, nous permet de mieux comprendre le rapport entre un contexte et un processus, et nous aidera à disposer des concepts pour mieux saisir la dimension sociale d'un processus collectif d'innovation.

Chapitre 3. Les collectifs innovants



"L'innovation part de n'importe où. Les scientifiques et les ingénieurs n'ont pas le monopole de l'imagination. Elle peut aussi bien naître dans un centre de recherche que dans un service commercial, chez un client ou dans une usine."

Akrich et al., 1988a

La littérature sur les processus d'innovation (chapitre précédent) nous enseigne que les individus participant au processus sont multiples, de profils variés, que la participation des uns et des autres peut évoluer dans le cours du processus, que leur nombre foisonne parfois... Dans un processus d'innovation il y a donc à tout moment un ensemble d'individus, dont les efforts agrégés sont nécessaires à l'activité. Nous nommons cette agrégation d'individus un collectif innovant. Etant donnée l'importance de ces collectifs dans le processus (ce sont eux qui raisonnent, conçoivent, traduisent, recrutent, pour reprendre des termes issus de la SAR ou de CK), nous leurs consacrons ce chapitre, qui fait le point sur les enseignements de la littérature.

Depuis quelques années, de très nombreuses recherches se sont intéressées aux collectifs, vus comme un réseau : on s'intéresse alors à la structure relationnelle de ce collectif, qui a des caractéristiques descriptibles (le réseau a un dessin particulier, les liens sont plus ou moins nombreux, ils ont des forces variables, etc.). Or, des chercheurs ont remarqué que ces caractéristiques structurelles pouvaient avoir des influences sur l'activité, sur la circulation de l'information, sur l'accès à des ressources, etc. Dès lors, on peut penser que la structure d'un collectif aura une influence sur le déroulement d'un processus d'innovation mené par ce collectif. Nous allons donc étudier cette question au regard de la littérature récente portant sur le rapport entre structure relationnelle et innovation (section 1).

Mais il y a une autre façon de voir ces collectifs, également très populaire en sciences sociales, qui est de considérer les collectifs comme des communautés. Des individus agrégés partagent quelque chose : une identité, une pratique, un intérêt commun, etc. Des chercheurs se sont donc intéressés à la façon dont, collectivement, on pouvait créer une pratique commune, on pouvait partager des connaissances, on pouvait apprendre. Or, l'apprentissage est essentiel dans un processus d'innovation. Nous analysons donc également ce que l'on sait du rôle de ces communautés dans un processus d'innovation (section 2).

En conclusion, nous constatons que ces deux approches des collectifs peuvent être complémentaires : un collectif est descriptible en termes structurels, il dessine un réseau bien particulier. Mais ce collectif est aussi un assemblage de communautés plus ou moins liées entre elles. En revanche, l'influence des caractéristiques de ce collectif est contingente en fonction du moment dans un processus (un lien faible, par exemple, n'a pas la même importance selon que l'on cherche à être créatif ou que l'on veut transmettre une connaissance). De plus, le collectif lui-même n'est pas figé : il évolue,

apprend, agrège de nouveaux individus, ses liens se transforment, etc. On comprend donc l'importance de considérer son influence dans l'innovation de façon temporelle, de prendre en considération non pas seulement ses caractéristiques, mais aussi l'évolution de ses caractéristiques. Il se dégage aussi que la question des interstices, des liens entre réseaux, entre communautés est centrale.

Section 3.1 Réseaux d'individus et innovation

Les réseaux décrivent l'agrégation d'individus reliés entre eux selon divers liens. Ces réseaux sont des constructions analytiques proposées par le chercheur. En effet, si l'on suit les travaux célèbres de Stanley Milgram et sa théorie du « small world », tout individu est relié d'une manière ou d'une autre à n'importe quel autre individu sur terre, par un nombre relativement limité de liens. La difficulté pour le chercheur est donc de « découper » dans cette immense toile qui relie entre eux tous les humains des morceaux de réseaux pertinents. Selon Grossetti (Grossetti, 2004, p 111), trois méthodes ont été utilisées pour ce faire :

- partir d'un acteur et reconstruire, à partir de ses liens, un réseau égocentré, et remonter parfois d'un ou deux niveaux si nécessaire. La locution « les amis de mes amis sont mes amis » donne un exemple de ce que peut être un réseau égocentré.
- centrer l'analyse d'un réseau sur un processus, en se demandant par exemple quelles ont été les relations mobilisées par un individu pour accéder à une ressource, obtenir une information (c'est le cas par exemple des réseaux de relations utilisés pour la recherche d'un emploi).
- utiliser des frontières existantes pour faire ce que l'on nomme un réseau complet. Par exemple, on peut choisir de construire le sociogramme complet d'une entreprise (ce qui sert de frontière ici est l'appartenance ou non à l'entreprise en question), en cherchant à savoir qui travaille avec qui, qui est en relation avec qui, au delà de l'organigramme apparent de l'entreprise étudiée.

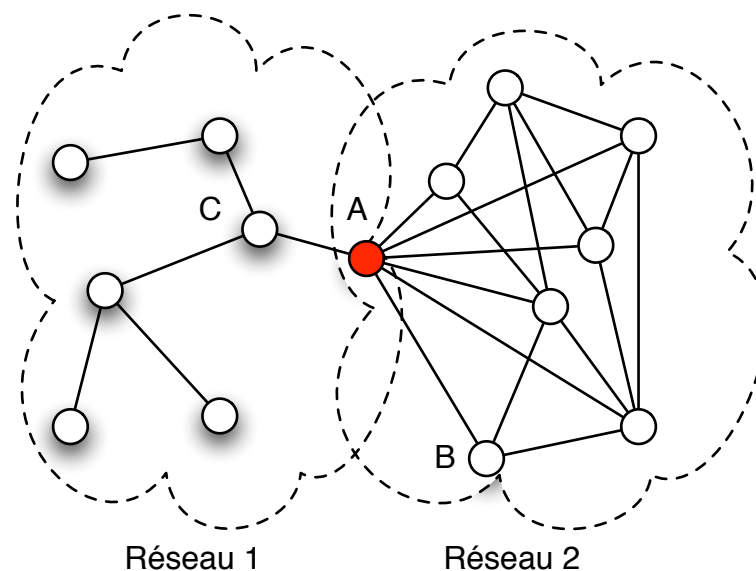
Les travaux que nous allons détailler par la suite reposent principalement sur des méthodes descriptives de réseaux complets et des réseaux égocentrés. Les analyses de réseau centrées sur le processus d'innovation (l'innovation comprise comme la création d'un artefact nouveau) sont rares, même si d'autres processus liés à l'innovation sont souvent abordés (comme la diffusion d'idées nouvelles, la créativité, ou des processus de diffusion de connaissances), ce que nous allons montrer ci-dessous.

3.1.1 Les trous structurels

De nombreux chercheurs se sont posé la question de savoir si la structure de certains réseaux pouvait être plus ou moins favorable à l'innovation. En particulier, l'existence de "trous structurels" dans les réseaux, et leur impact, a été l'objet de nombreuses études depuis que ce concept a été introduit par Ronald Burt (Burt, 1992). L'idée de Burt part d'une description structurelle d'un réseau

complet, comme par exemple celui des membres d'une même organisation. Graphiquement, il est possible de représenter un tel réseau grâce à un sociogramme (voir figure suivante), en reliant entre eux des points (qui représentent des individus) par des segments (qui représentent un lien). Ce que signifie ce lien va dépendre de ce que veut analyser le chercheur : une relation régulière, une simple connaissance, un lien d'amitié, etc. En traçant ce type de sociogramme, on s'aperçoit que tous les individus d'un même collectif ne sont pas reliés ensemble de la même façon : certains ne sont reliés qu'à un ou deux collègues (c'est le cas de C), tandis que d'autres entretiennent des liens très nombreux avec divers membres du collectif (voir l'individu A).

Schéma 12: Le sociogramme fictif d'un collectif



Dans cette structure, il existe, par exemple, un trou structurel entre C et B, qui ne sont pas reliés directement entre eux, et plus généralement entre le "réseau 1" et le "réseau 2", puisque les membres de ces deux portions de la structure ne sont pas reliés entre eux.

Dans cette structure, l'individu A joue un rôle clé, puisqu'il est le seul à avoir des connections entre ces deux morceaux de réseau. C'est ce que l'on appelle, toujours selon Burt (Burt, 2004) un "Broker", que l'on pourrait traduire par "changeur" ou "courtier". Du fait de sa position privilégiée dans la structure de ce réseau, en proximité d'un trou structurel, A bénéficie d'un important capital social : il a des liens vers un grand nombre d'individus, ce qui lui permet d'accéder à de nombreuses ressources. En généralisant, on peut donc dire que le capital social d'un individu va dépendre de sa position structurelle dans un réseau.

Selon Burt (2004), du fait de cette position à proximité des trous structurels, les Brokers ont un rôle important dans les tâches liées à l'apprentissage et à la créativité : ils peuvent accéder à des visions

différentes d'un même problème, celles des réseaux disjoints auxquels ils sont liés, ils peuvent ainsi faire la synthèse de diverses visions, faire des analogies entre les différentes perceptions, comprendre ce qui se passe dans des contextes différents, et même transférer d'un réseau à un autre des informations, des pratiques, etc.

Burt ne parle pas de l'impact de ces Brokers sur l'innovation, mais de l'impact des Brokers sur la diffusion des bonnes idées : “*Creativity is a diffusion process of repeated discovery in which a good idea is carried across structural holes to be discovered in one cluster of people...*”. Empiriquement, il a ainsi démontré que les idées émises par des Brokers avaient plus de chances d'être évaluées et retenues. De ce fait, ces Brokers ont tendance à adopter une stratégie de conservation de leurs positions stratégiques, à faire perdurer dans le temps ces trous structuraux. Cette stratégie est qualifiée par Burt de *Tertius Gaudens*.

Pourtant, l'innovation ne se réduit pas à la créativité. L'idée créative doit aussi être mise en pratique et diffusée dans l'organisation, et pour cela, elle doit suivre la structure du réseau. Or, selon David Obstfeld (Obstfeld, 2005), l'existence de trous structuraux peut justement nuire à la mise en oeuvre des idées créatives via des activités de développement. Il a empiriquement obtenu des résultats qui permettent de nuancer les résultats de Burt, en montrant qu'il n'y avait pas de corrélation entre la participation des employés d'un service de design d'un industriel automobile aux activités d'innovation, et leur position par rapport aux trous structuraux dans le réseau de l'entreprise. En revanche, ce qui jouait positivement sur l'investissement personnel des individus dans les activités innovantes était leur faculté à "boucher" ces trous structuraux, à établir de nouvelles connections autour d'eux, à créer des liens entre les réseaux disjoints. Obstfeld qualifie cette orientation de *Tertius Lungens*. Dans cette vision, on voit donc l'activité d'innovation et la structure du réseau social entretenir un lien plus complexe : les trous structuraux existent, forment un contexte pour l'innovation, mais une partie de l'activité d'innovation consiste justement à combler ces trous, à établir de nouvelles passerelles autour de ceux-ci.

3.1.2 La force des liens

Dans le sociogramme présenté plus haut, nous avons tracé chaque segment avec la même épaisseur de trait, suggérant que tous les liens entre individus étaient de même nature. Pourtant, depuis le travaux de Marc Granovetter (Granovetter, 1983), on a pris l'habitude de distinguer des liens selon leur intensité, qui peut être plus ou moins forte. On pourrait donc, dans un sociogramme, donner une indication de la force des liens en utilisant diverses épaisseurs de traits pour les segments liant

les individus. Il existe plusieurs manières de mesurer la force d'un lien : fréquence des échanges entre les deux individus, nature de ces échanges, degré de confiance accordé réciproquement, etc.

Marc Granovetter insiste sur l'importance de liens faibles ("the strength of weak ties") dans l'accès aux informations. Les individus avec lesquels nous partageons des liens forts sont des individus dont nous sommes proches : socialement, géographiquement, professionnellement. Ils partagent avec nous certaines visions communes, ont les mêmes informations que nous. Dans ce réseau dense (qui correspondrait par exemple au "réseau 2" du sociogramme représenté plus haut), circulent des informations redondantes entre des individus fortement liés entre eux. En revanche, un lien faible unit deux individus de façon plus épisodique et plus distante. Ce lien faible met donc en contact des groupes habituellement disjoints et a des chances de fournir des informations nouvelles, non redondantes, car issues d'autres portions du réseau social.

Morten T. Hansen (Hansen , 1999) montre que cette force supposée des liens faibles peut sembler paradoxale dans le contexte de l'innovation, puisque, au contraire, l'existence de liens étroits et fréquents entre les divers départements d'une entreprise sont censés améliorer les transferts de connaissance entre ces unités (voir par exemple Szulanski, 1996). Dans une étude empirique portant sur 120 projets de développement de produits menés dans 41 divisions d'une entreprise américaine du domaine de l'électronique, Hansen a tenté de mesurer quel pouvait être l'impact des liens faibles sur la recherche d'informations et le transfert de connaissances entre unités. Ses résultats montrent bien qu'il est difficile de qualifier de façon univoque l'influence de la force des liens :

D'une part, l'existence de liens faibles entre diverses unités semble favoriser la recherche et l'accès à des informations nouvelles, mais d'autre part, c'est l'existence de liens forts entre diverses unités qui permet de faciliter le transfert de connaissances entre ces unités, surtout lorsque ces connaissances sont complexes, difficilement reproductibles. **Les liens faibles sont donc un bon média pour repérer des informations nouvelles, mais ils nuisent aux transferts de connaissances complexes entre unités.**

3.1.3 Le capital social

Dans une perspective plus égocentrée des réseaux sociaux (on dessine un réseau autour d'un individu), certains auteurs se sont intéressés à la nature des liens dont un individu disposait, et à la façon dont ses liens lui permettaient d'accéder à certaines ressources. Par exemple, en collectant des données dans 13 unités de Recherche et Développement, T.J. Allen (Allen, 1984) a tenté d'évaluer quelle était la nature de l'activité individuelle des scientifiques et ingénieurs de R&D, en particulier

quels étaient les niveaux de leurs liens, de leurs relations personnelles, et comment ils mobilisaient celles-ci dans leur travail. Ils ont ainsi identifié des "stars", des chercheurs se distinguant par l'intensité de leur capital social, le nombre et la fréquence des liens qu'ils avaient dans mais aussi hors de leurs organisations. Selon Allen, ces individus sont des "gatekeepers", des passeurs d'informations, car c'est par eux que transitent de nombreuses informations liées aux activités de R&D auxquelles ils participent. Notons qu'Allen a pu remarquer que ces gatekeepers et leurs liens de communication dessinaient des structures ne correspondant pas aux structures formelles de leurs organisations, telles que définies par exemple par les organigrammes.

Dans sa thèse, B. Chollet (Chollet, 2005) a voulu explorer plus avant quel était le rôle du capital social dans l'activité des ingénieurs de R&D. Ainsi, selon Chollet, les ingénieurs de R&D mobilisent par leurs réseaux deux types de ressources : des ressources *politiques* et des ressources *techniques*. Les ressources politiques leur permettent d'intervenir dans les processus décisionnels qui vont leur attribuer des ressources, du temps, des équipements et de la légitimité, qui vont être nécessaires à la cristallisation de leurs projets. Ces projets étant cristallisés, ils accèdent, en partie grâce à leurs réseaux, à des ressources techniques, qui sont constituées principalement de connaissances techniques et de ressources matérielles. Ces ressources sont alors utilisées par l'ingénieur de R&D pour faire progresser techniquement les projets auxquels il participe. Selon les preuves empiriques réunies par Chollet, il semble que le réseau personnel soit particulièrement significatif pour expliquer l'accès aux ressources politiques. Il note aussi que les ingénieurs disposant d'un fort capital social en lien avec des ressources techniques redondantes ont statistiquement un réseau d'accès plus faible aux ressources politiques. Tout l'intérêt de cette recherche est de montrer que le capital social procure des avantages équivoques selon le cas, et en particulier selon le type de ressources que l'ingénieur souhaite mobiliser. Le "capital social" est donc une notion à manipuler avec prudence, car il n'y pas de capital social favorable en soi : tout dépend de la raison pour laquelle ce capital est mobilisé. En filigrane, ce travail nous montre bien que l'ingénieur de R&D a besoin de ressources très différentes dans son activité, selon qu'il est engagé dans un projet, ou qu'il tente de créer un projet par exemple.

3.1.4 L'impact contingent des réseaux

Que ce soit pour les trous structuraux, la force des liens ou la capital social, les caractéristiques du réseau social influent de façon très diverse, ou pourrait dire contingente, selon la situation analysée. Les trous structuraux sont des endroits stratégiques pour l'émergence d'idées nouvelles... Mais ils limitent la diffusion et l'adoption des idées innovantes. Les liens faibles permettent de détecter des

informations non redondantes... mais le transfert des connaissances complexes a besoin de liens forts. Le capital social qui permet d'accéder à des ressources techniques... peut n'être pas adapté à l'obtention de ressources politiques pourtant nécessaire à l'établissement de projets nouveaux.

Partant de ce même constat, Géraudel, Baret et Mothe (Geraudel et al., 2006), proposent une **approche contingente de l'impact des réseaux sociaux sur l'innovation**. Premièrement, en rappelant ce que nous avons exposé plus haut, à savoir que l'innovation (considérée ici comme un résultat et non un processus) peut avoir diverses intensités, et en particulier qu'elle peut être radicale ou incrémentale. Ces deux intensités d'innovation vont constituer des contextes différents, dans lesquels les caractéristiques des réseaux sociaux (en particulier la force des liens et la densité des réseaux) vont avoir des impacts différents. Deuxièmement en rappelant que ces réseaux ne sont pas de simples supports pour des flux d'informations, mais des moyens d'accéder à un certain nombre de ressources nécessaires à l'innovation. Leurs principales hypothèses, appuyées en partie sur la littérature que nous venons d'exposer, sont alors les suivantes :

- un projet menant à une innovation incrémentale aura besoin de liens forts, pour accéder à des ressources telles que les connaissances et le soutien politique au projet.
- un projet menant à une innovation radicale nécessitera plutôt des ressources informationnelles et de l'influence sociale, qui seront sollicitées par des liens faibles.

Cependant, les auteurs nuancent eux-même la portée de ces hypothèses, en précisant que **la distinction entre innovation incrémentale et radicale est parfois difficile à établir *a priori***. Nous ajouterions qu'il en va de même pour la force des liens, et qu'un même lien peut être "multiplexé" c'est à dire qu'il peut servir à accéder à une variété de ressources distinctes (un collègue peut à la fois me donner des informations rares et me proposer un soutien politique par exemple). Et puis, dans le cours du temps, un lien faible peut se renforcer, du fait d'une collaboration fructueuse : des collègues deviennent alliés, ou amis, apprennent à se connaître, à se faire confiance.

Ces diverses remarques nous amènent à un triple constat :

- les caractéristiques d'un réseau (la force des liens, les trous structurels, le capital social des membres du réseau) vont avoir une influence sur un projet d'innovation...
- mais ces influences vont être très diverses selon le moment du projet, l'intensité de l'innovation, et le type de ressources recherchées...
- et ces caractéristiques ne sont pas figées et évoluent dans le temps.

Ainsi, si nous nous plaçons dans une perspective temporelle, il est indéniable que la structure du réseau va avoir un impact dans le déroulement du processus d'innovation, mais que cet impact va considérablement varier au cours du processus. En retour, le processus lui-même, de part son évolution, parce qu'il provoque des rencontres, impose des échanges, provoque des apprentissages, va modifier la structure du collectif : il renforce des liens, il est l'occasion de boucher des trous structurels, il fait adhérer de nouveaux individus au réseau. On y a donc bien une relation réseau / processus d'innovation, mais cette relation est complexe, mouvante et bidirectionnelle.

Section 3.2 Communautés et innovation

3.2.1 *Les communautés de pratique*

Un collectif n'est pas qu'une structure de relations : des individus, lorsqu'ils se groupent, qu'ils se reconnaissent une dépendance, une identité commune, un même projet, ou une même peur, deviennent autre chose qu'une simple structure. Dans l'approche japonaise présentée en introduction, comme celle de Nonaka et Takeuchi, le groupe transcende le moi, il permet à autre chose de se déployer : c'est ce qu'ils nomment le "Ba". Ce qui se joue dans ce Ba, c'est une transformation et un échange collectif de connaissances, ces connaissances essentielles dans tout processus d'innovation, qui est aussi un processus cognitif. Cela nous incite à regarder de plus près les travaux portant sur l'apprentissage collectif. Ces travaux tentent justement de mieux comprendre ce qui unit la dynamique des connaissances avec les collectifs, qui sont ici décrits non plus en termes de réseaux, ni de Ba, mais plutôt en termes de « communautés ». Etienne Wenger (Wenger, 1998) a proposé une théorie de l'apprentissage qui s'appuie sur la notion de communauté de pratique. Le notion de « communauté de pratique » est une notion qui a connu ces dernières années un grand succès à la fois dans la littérature académique et chez les praticiens. Il nous semble donc essentiel de rappeler ici ce que sont ces communautés de pratique telles que définies à l'origine par Jean Lave et Etienne Wenger (Lave and Wenger, 1991).

a) Objet et méthode de recherche

Wenger est un anthropologue qui s'est intéressé à l'apprentissage au sein de communautés professionnelles (sages-femmes, bouchers, tailleurs, agents d'assurance), ou de communautés non professionnelles, mais très engageantes pour les participants, comme les alcooliques anonymes par exemple. Ses recherches sont qualitatives et basées sur des méthodes ethnographiques (observation, participation, entretiens ciblés, etc.). Ce que cherche à comprendre Wenger, c'est comment l'apprentissage collectif s'inscrit dans une pratique sociale quotidienne, une activité courante. L'apprentissage est pour lui « situé », c'est à dire qu'il est lié au lieu, à la culture, à l'activité dans lesquels il prend place.

En corollaire Wenger cherche à comprendre comment on devient boucher, sage-femme, alcoolique anonyme, par rapport aux autres bouchers, sages-femmes et alcooliques anonymes de la communauté. Il montre ainsi que l'appartenance à une communauté est progressive, qu'elle se fait par la pé-

riphérie, à mesure que l'individu est autorisé à participer à l'activité par ses pairs. L'apprenti devient peu à peu un praticien, puis un expert, à mesure qu'il intègre les subtilités d'une pratique, et que les membres de la communauté lui accordent ce statut nouveau. C'est ce que Lave et Wenger (1991) nomment le LPP pour « legitimate peripheral participation ».

b) La notion de pratique

Pour Wenger, le point de départ est la pratique, c'est à dire le faire. Dans le faire, il y a à la fois une dimension explicite (on utilise un langage, des outils, des procédures écrites liées à la pratique) et tacite (des conventions, des savoir-faire, etc.). **La notion de pratique permet de ne pas focaliser sur l'opposition tacite / explicite, mais de les considérer comme deux faces d'une même pièce.** Toutes les connaissances ont une dimension explicite et tacite.

De même, la pratique ne s'oppose pas à la théorie. Pour agir, on utilise des théories, des cadres, des concepts, qui orientent la pratique. Mais ce qui importe, dans les communautés qui intéressent Wenger, c'est bel et bien la pratique : les agents d'assurance doivent traiter des dossiers, et donc résoudre pour cela des conflits, des problèmes dans leur quotidien, comme les sages-femmes sont là pour aider les femmes à accoucher, ou les tailleurs à produire des artefacts (des robes, des costumes). Il y a donc une primauté à la pratique partagée et commune, qui donne son nom aux communautés ainsi observées.

c) Les caractéristiques d'une communauté de pratique

Pour que l'on puisse parler de communauté de pratique, selon Wenger, trois caractéristiques doivent pouvoir être observées :

- **un engagement mutuel** (*mutual engagement*) : les individus membres d'une communauté doivent être en situation de connecter leur connaissances, que celles-ci soit redondantes ou non. Dans ce contexte, la capacité à inter-agir avec ses pairs, à collaborer, à solliciter et ou donner de l'aide, des savoirs, à se coordonner avec les autres membres de la communauté est essentielle. L'engagement commun est facilité le plus souvent par un jargon commun, des histoires, des raccourcis liés à la pratique, au métier. Chacun sait ce que l'autre peut ou sait faire, en quoi il peut contribuer à la pratique.
- **une entreprise commune** (*joint enterprise*) : les membres d'une communauté, en plus d'être engagés les uns envers les autres, tendent à réaliser collectivement une entreprise commune. Pour Wenger, cette entreprise commune n'est pas nécessairement un objectif commun concret et connu de tous, comme on pourrait l'imaginer dans une logique de projet. Il s'agit plus d'une focalisation

de l'activité commune, dans une dimension plus immédiate et quotidienne. De plus, cette entreprise commune n'est pas figée. Au contraire, elle fait l'objet d'intenses négociations entre les membres de la communauté. L'entreprise commune peut évoluer dans le temps, en fonction des nouvelles épreuves de réalité auxquelles la communauté de pratique va être confrontée.

- **un répertoire partagé** (*shared repertoire*) : pour que les membres d'une communauté puissent inter-agir, négocier, donner du sens à ce qu'ils font, ils ont besoin de s'appuyer sur des ressources communes (qui forment ce répertoire partagé). Ces ressources peuvent être très diverses : mots, documents, histoires, outils, maquettes, protocoles, etc. Ces ressources fournissent des points de référence pour la communauté, elle sont souvent le fruit de la pratique passée, en ce sens qu'elles ont été négociées et établies par les membres de la communauté, et elles sont mobilisées pour les activités futures. En même temps, ces ressources peuvent être ambiguës et permettre diverses interprétations possibles : elle restent ainsi dynamiques et renégociables au sein de la communauté.

d) La dialectique participation / réification

L'engagement mutuel des membres d'une communauté repose en partie sur un répertoire partagé et permet de réaliser une entreprise commune. Mais comme nous l'avons vu, cette entreprise commune, les engagements entre individus et les ressources de leur répertoire commun évoluent dans le temps, sont sans cesse négociés et renégociés par les membres de la communauté. Wenger modélise ces négociations grâce à la dialectique participation / réification :

- La **participation**, est un "*complex process that combines doing, talking, thinking, feeling, and belonging. It involves our whole person including our bodies, minds, emotions, and social relations*". (Wenger, 1998 p 56). La participation est vue ici comme un engagement large dans l'activité, utilisant une définition large de l'action. Celle-ci engage toutes les dimensions de l'homme (corps, esprit, émotion, etc.), et toutes ses fonctions (agir, ressentir, penser, etc.).
- La **réification**, quant à elle, est un "*process of giving form to our experience by producing objects that congeal this experience into thingness*". (WENGER, 1998, p58). Pour permettre l'action mutuelle, certaines expériences communes sont ainsi durcies (gelées), rendues durables, objectivées. Les communautés fabriquent des règles, des objets, et donnent des significations à ce qui les entoure.

Ce qui fait la particularité d'une communauté de pratique, c'est justement la tension qui existe entre participation et réification. D'une part, la pratique commune nécessite une certaine continuité des significations et des ressources du répertoire (des réifications). Par exemple, dans une communauté de commerciaux, faire une "propale" a une signification pour l'ensemble des membres de la com-

munauté (il s'agit de faire une proposition commerciale). Il n'est pas nécessaire de revenir sur ce que signifie "propale", ni même sur ce que doit être son format type, son contenu, etc. La signification de "propale", qui fut négociée, est désormais réifiée et elle permet à la pratique des commerciaux de se déployer, aux commerciaux débutants d'apprendre un aspect essentiel du métier de commercial, et elle contribue à donner à tous les membres de la communauté une certaine identité (savoir faire une "propale" c'est en partie "être" un commercial).

Mais d'autre part, la pratique a besoin de s'adapter aux situations vécues. Cette adaptation peut nécessiter de réinterpréter le monde, l'environnement, les situations nouvelles. Reprenons l'exemple de la communauté de commerciaux, et imaginons par exemple que certains membres de cette communauté constatent qu'un nombre grandissant de "propales" ne se transforment pas en commandes. Les membres de la communauté doivent alors remettre en cause l'objet réifié, le contourner, le réinterpréter. Ceci va nécessiter des échanges d'informations, des débats, des relectures. Ces échanges vont solliciter les individus dans toutes leurs dimensions (corps, sentiments, etc.) et leurs fonctions (parler, penser, réfléchir, etc.). Bref, la pratique va nécessiter la participation des uns et des autres, pour renégocier le sens de "propale", redéfinir son contenu, qui pourra même, dans certains cas, faire l'objet d'une nouvelle réification (un nouveau modèle formel de proposition commerciale est diffusé par exemple). **Les réifications permettent donc l'action collective, mais elles sont aussi définies et remises en cause par l'action collective.** C'est cette tension réification / participation qui rend compte du fonctionnement d'une communauté de pratique.

3.2.2 Les communautés épistémiques

La notion de "communauté épistémique" fait référence aux travaux de Peter M. Haas (Haas, 1994) en sciences politiques. Cet auteur a cherché à comprendre comment certaines décisions politiques étaient prises dans des contextes très incertains. Il a ainsi montré qu'il existait, dans divers domaines, des réseaux d'experts liés entre eux, partageant des valeurs, des explications, une vision du monde, ces experts pouvant peser sur des prises de décisions internationales :

"network of professionals with recognized expertise and competence in a particular domain and an authority claim" (Haas, 1994, p3)

Certaines caractéristiques des communautés épistémiques peuvent être rapprochées des caractéristiques des communautés de pratique :

- elles s'appuient sur un ensemble de normes, de principes et de croyances partagées, qui fournissent une base pour l'action collective (ce qui ressemble au répertoire commun des communautés de pratique)
- les membres de communautés épistémiques partagent des croyances issues de leurs pratiques (ce que l'on pourrait rapprocher des croyances réifiées)
- les membres des communautés épistémiques partagent une entreprise commune, souvent d'ordre politique.

En revanche, ces communautés se distinguent des communautés de pratique décrites par Lave et Wenger sur plusieurs points. D'une part, **ce n'est pas la pratique qui prime dans une communauté épistémique**, mais des idées, des croyances, des théories, des visions du monde. D'autre part, selon Haas, ces communautés peuvent être transnationales et **ne nécessitent pas obligatoirement des échanges fréquents entre ses membres**. C'est en partie contraire à la nature située des communautés de pratiques décrites par Wenger, qui se distinguent par l'existence d'un engagement mutuel entre des membres engagés dans une pratique commune. Les membres d'une communauté épistémique, telle que décrite par Haas, n'interagissent pas régulièrement dans le cours d'une pratique commune.

La notion de "communauté épistémique" a été importée à d'autres domaines que celui de la politique. Pour Robin Cowan, Paul A. David & Dominique Foray (Cowan et al., 2000), une communauté épistémique réunit des individus s'intéressant à un ensemble commun de questions :

" Such communities, which may be small working groups, comprise knowledge-creating agents who are engaged on a mutually recognized subset of questions " (COWAN & Alii, 2000)

Les communautés épistémiques qu'ils décrivent ne sont pas seulement observables dans le champs politique, mais aussi et surtout dans **celui des sciences**. Ces communautés sont porteuses de codes, de savoirs, de valeurs qui souvent restent tacites (non codifiées) pour leurs membres, et qui permettent à ceux-ci d'interagir. Ce "code-book" partagé peut souvent faire l'objet d'un jargon, spécifique aux membres de cette communauté. Les auteurs donnent l'exemple des communautés scientifiques, dont les échanges sont souvent basés sur un champs lexical bien spécifique au domaine de réflexion de cette communauté (le jargon des physiciens, des gestionnaires, des sociologues, etc.).

3.2.3 *Le rôle des communautés dans l'innovation*

a) Travailler, Apprendre et Innover

John Seely Brown et Paul Duguid ont montré le lien existant entre ces communautés (et plus particulièrement les communautés de pratique) et l'innovation en montrant le lien unissant le travail (working), l'apprentissage (learning) et l'innovation (Brown and Duguid, 1991).

Dans un premier temps, les auteurs insistent sur l'opposition entre **pratique canonique et non canonique**. La pratique canonique correspond au travail tel qu'il est prescrit et décrit de façon explicite par l'organisation : on le trouve dans les procédures de travail, dans les guides de formation, dans les descriptifs de poste, etc. Or, les pratiques réelles diffèrent souvent de ces descriptions canoniques : localement, les individus s'adaptent aux situations, développent des pratiques qui leur sont propres, adaptant ainsi le manque d'adéquation ou de précision des descriptions canoniques de leurs pratiques. Ces pratiques réelles sont non seulement trop souvent sous estimées par les organisations et leurs structures de management, mais pire, elles peuvent être considérées comme des pratiques déviantes, prenant trop de libertés avec les directives. Or les individus tendent à adapter leurs pratiques aux réalités qu'ils rencontrent. Ces pratiques réelles sont basées sur des histoires partagées, des collaborations intensives entre individus. Elles se sont socialement construites dans le temps. Il est donc important de prendre en compte ces pratiques non canoniques, mais néanmoins bien réelles, car elles reflètent la réalité de l'engagement des individus dans l'action.

Le deuxième axe de l'argumentation des auteurs porte sur l'apprentissage. Traditionnellement, on voyait l'apprentissage comme un transfert de connaissances explicites, chaque individu pouvant acquérir un "stock" de connaissances utiles à son activité. Dorénavant, on comprend que **l'apprentissage est une construction sociale** : ce qui est appris est directement lié aux conditions sociales dans lesquelles ont eu lieu les apprentissages. Sur ce point, les auteurs rappellent le principe de Legitimate Peripheral Participation (LPP) de Lave et Wenger : apprendre, c'est devenir un membre reconnu de ses pairs, devenir un "*insider*", apprendre à fonctionner dans une communauté. Cela permet donc d'opposer des groupes canoniques, reconnus par les organisations, à des groupes non canoniques, des communautés, qui bien que souvent non reconnues, constituent néanmoins le cadre social réel et émergent de l'apprentissage.

Les auteurs concluent donc sur la nécessité de reconnaître et de prendre en compte le rôle des Communautés de Pratique dans l'innovation : elles permettent la création de comportement nouveaux, échappant aux descriptions canoniques du travail, et de réaliser localement les apprentissages nécessaires aux pratiques ainsi créées. Les Communautés de Pratiques réalisent donc, de façon continue, des innovations incrémentales, basées sur des apprentissages quotidiens. Notons qu'ici, les in-

novations dont parlent les auteurs peuvent englober la création de divers artefacts : nouvelles normes, nouveaux objets, nouveaux processus de travail, etc.

b) Des communautés de communautés

Partant de cette première analyse, et du rôle des Communautés de Pratique dans ce que les auteurs nomment les innovations incrémentales, les auteurs proposent que l'on réexamine la façon dont la connaissance peut s'organiser dans les organisations (Brown and Duguid, 1998). En effet, il faut constater, que les organisations sont encadrées dans une "écologie" de connaissances, et qu'une part importante de ces connaissances est collectivement produite par des communautés. On peut donc considérer que les organisations sont des groupes hybrides de communautés interdépendantes.

Cette vision des organisations permet de souligner certains problèmes liés à la gestion des connaissances dans les organisations : si les communautés de pratique permettent la création de connaissances et de pratiques utiles et non canoniques, **ces mêmes communautés peuvent être bornées par leur vision du monde**. Les membres d'une communauté utilisent un répertoire partagé, des valeurs, des critères de vérité qui peuvent limiter leur faculté d'adaptation. De ce fait, les organisations doivent apprendre à gérer des tensions entre les Communautés qui la composent.

Selon les auteurs, il existe en plus de la division classique du travail dans une organisation, une division des connaissances qui est problématique, qui ne peut se résoudre en termes simples de flux d'informations entre communautés : les connaissances détenues par les communautés, qui sont pour une part importantes tacites, sont "sticky", c'est à dire imbriquées, collées aux contextes des pratiques menées par ces communautés. Il est donc difficile de faire circuler ces connaissances hors de leurs contextes de création. Les communautés ont alors tendance à pousser localement la spécialisation des connaissances (voir par exemple les jargons incompréhensibles de l'extérieur qui se développent dans des communautés de professionnels), ce qui posera, au niveau de l'organisation, un problème de cohérence entre ces diverses poches de connaissances hétérogènes et difficiles à mêler.

Pour organiser la cohérence et le lien entre les communautés, les auteurs proposent que les organisations portent leur attention sur certains dispositifs :

- les traducteurs seront des individus capable de traduire les intérêts d'une communauté en des termes correspondant aux perspectives d'autres communautés.
- des "knowledge brokers" seront des individus faisant partie de plusieurs communautés, capables d'assurer le liant entre divers champs de connaissances

-
- des objets frontière, tels que des plans, des images, des slogans, des documents, réifiés par diverses communautés, fourniront des points de négociation entre diverses communautés

Plus généralement, les auteurs pensent que l'on doit désormais tenter de mieux comprendre quels sont les défis posés par les relations **ENTRE** communautés :

"understanding the challenges of the between relation should be a significant issue for new design of both technologies and organizations". (Brown and Duguid, 1998)

Patrick Cohendet (Cohendet, 2006) a poussé cette vision des organisations en incluant à son analyse à la fois les communautés de pratique et les communautés épistémiques, regroupées sous l'appellation plus générale de **Communautés de Connaissances** (Knowing Communities). Ces communautés de Connaissances sont définies par l'auteur comme étant *"la réunion d'individus acceptant d'échanger volontairement et de façon régulière à propos d'un intérêt ou d'un objectif commun dans un champs de connaissance donné"*. Ces communautés ne correspondent pas nécessairement aux équipes et aux unités fonctionnelles définies par l'organisation. Elles échappent ainsi, en grande partie, au management de la ligne hiérarchique, de l'organigramme officiel.

Pour mieux comprendre cette tension entre communautés dont parlent Brown et Duguid, Cohendet utilise à la notion de **distance cognitive**, proposée par Bart Nooteboom (Nooteboom, 2000). En effet, chaque communauté développe son propre répertoire, et possède donc un ensemble de valeurs, de concepts, de croyances, d'objectifs qui lui sont propre. Il doit donc exister, entre deux communautés de connaissance, une plus ou moins grande distance cognitive en fonction des différences existant entre leurs deux répertoires. Cette distance cognitive entre communautés est à la fois un problème et une opportunité :

- une opportunité, parce qu'une organisation comportant des communautés ayant de grandes distances cognitives va posséder un éventail large de connaissance. Or, c'est souvent en combinant des connaissances distinctes, non redondantes, que l'on pourra donner naissance à des artefacts réellement innovants, empruntant à des domaines cognitifs divers.
- un problème, parce que plus la distance cognitive entre deux communautés sera grande, plus il sera difficile de les faire travailler ensemble, de faire converger leurs connaissances, leurs intérêts : elles n'auront pas les ressources pour communiquer et échanger, et auront même du mal à se comprendre.

Le rôle du management est donc de permettre et de maintenir des échanges fréquents de qualité entre communautés, pour qu'elles réduisent en partie leur distance cognitive.

Cette analyse, au niveau d'une organisation, est encore plus pertinente si l'on tente de comprendre ce qui se passe au niveau d'un consortium d'organisations regroupées lors d'un PCI. Le collectif que nous tentons alors de comprendre est bel et bien une constellation de communautés : des ingénieurs électroniciens en Allemagne y côtoient les scientifiques d'un laboratoire français, des chercheurs autrichiens, etc. Les uns et les autres sont donc membres de diverses communautés, distantes les unes des autres. Elles le sont par la géographie, mais elles le sont aussi par les connaissances. Le "code book" des techniciens produisant des plaques de silicium dans une salle blanche en Allemagne est différent du code book de spécialistes des matériaux en France. Ces deux communautés sont séparées par des milliers de kilomètres, mais aussi par leur environnement, différents, leurs jargons respectifs, leurs langues. Il y a donc une grande distance cognitive entre ces deux communautés. Pourtant, certains individus de ces deux communautés peuvent être membre d'une même communauté scientifique, peuvent publier dans les mêmes revues, peuvent s'intéresser aux mêmes thèmes de recherche. Ils peuvent donc prendre un rôle de traducteurs entre ces communautés. On aura donc aussi, à l'échelle d'un tel consortium, un assemblage de communautés liées par un complexe jeu de recouvrements.

Pour terminer ce paragraphe sur les communautés de communautés, citons l'étude empirique de Frédéric Créplet, Olivier Dupouët et Emmanuelle Vaast (Créplet et al., 2003) portant sur un laboratoire de biologie. A partir des outils d'analyse des réseaux sociaux, les auteurs ont identifié dans ce laboratoire deux types de communautés : une communauté épistémique et une communauté de pratique. La communauté épistémique est utilisée par les membres du laboratoire pour des questions liées aux connaissances scientifiques tandis qu'ils utilisent la communauté de pratique pour améliorer leurs compétences en matière expérimentale (en particulier, l'utilisation des infrastructures dans un tel laboratoire qui nécessite un long apprentissage). Pour permettre la cohérence entre ces communautés, les auteurs remarquent l'existence d'objets frontières (certains outils informatiques par exemple sont utilisés par les deux communautés) et de "boundary spanners", c'est à dire d'individus appartenant aux divers communautés et permettant de les lier entre elles. Cette étude empirique présente selon nous un double intérêt : d'une part, partant d'une analyse des réseaux, elle converge vers une analyse de communautés, montrant là que ces deux approches peuvent être complémentaires pour comprendre des collectifs d'innovateurs. D'autre part, elle mobilise à la fois les notions de communautés épistémiques et de communautés de pratique, ce qui permet localement de valider la

pertinence de l'approche par "les communautés de connaissance" proposée par Cohendet : des communautés de diverses natures se recouvrent, interagissent, sont mobilisées dans l'action. On peut conclure par une remarque comparable à celle que nous avons faite au sujet des réseaux : les communautés ont un impact dans un processus d'innovation : elles sont le lieux où les connaissances se déploient. Cet impact est contingent selon les cas : par leurs variétés, les communautés alimentent le processus en connaissances non redondantes, diversifiées. Par leurs spécialisations, leurs distances cognitives, elles complexifient la circulation des connaissances. De même, au cours du processus, les communautés évoluent : elles réifient de nouveaux objets, elles font évoluer leurs pratiques, elles accueillent de nouveaux membres.

Il y a donc un lien évident entre l'assemblage des communautés réunies à l'occasion d'un PCI et le processus d'innovation. Mais au cours du processus, les communautés et leurs assemblages vont évoluer dans le temps. L'influence communautés de communautés / processus d'innovation existe bel et bien, mais elle est ambiguë, changeante et bijective.

Section 3.3 Conclusion

Le collectif des innovateurs peut être décrit de façon structurelle : les individus de ce collectif sont liés entre eux, tous les liens ne sont pas de même nature, de même force, et la structure globale dessinée par ces liens peut avoir différents aspects (il y a des trous structurels par exemple). Nous sommes là dans **une description du collectif en termes de réseau**.

Il semble que ces diverses **caractéristiques du réseau** (les trous structurels, la force des liens, le capital social des individus) **ont une influence dans un processus d'innovation** : un lien fort ne permet pas d'accéder aux mêmes connaissances qu'un lien faible, des idées créatives naissent à proximité des trous structurels, etc. Pourtant, si l'on considère l'innovation dans son déroulement temporel, **l'influence des caractéristiques du réseau est contingente**. D'une part parce que le réseau se transforme dans le temps (les liens évoluent en nature et en nombre, la surface du réseau peut changer, des trous disparaissent ou apparaissent, etc.) et d'autre part parce que, selon la phase du processus concernée, de mêmes ressources ont des influences diverses. Par exemple, au début d'un processus, au moment où des idées nouvelles apparaissent, les liens faibles peuvent être bénéfiques. En revanche, lorsqu'il faut concrétiser ces idées, créer un projet pour les transformer concrètement en objets, des liens forts semblent nécessaires pour transférer les connaissances les plus complexes.

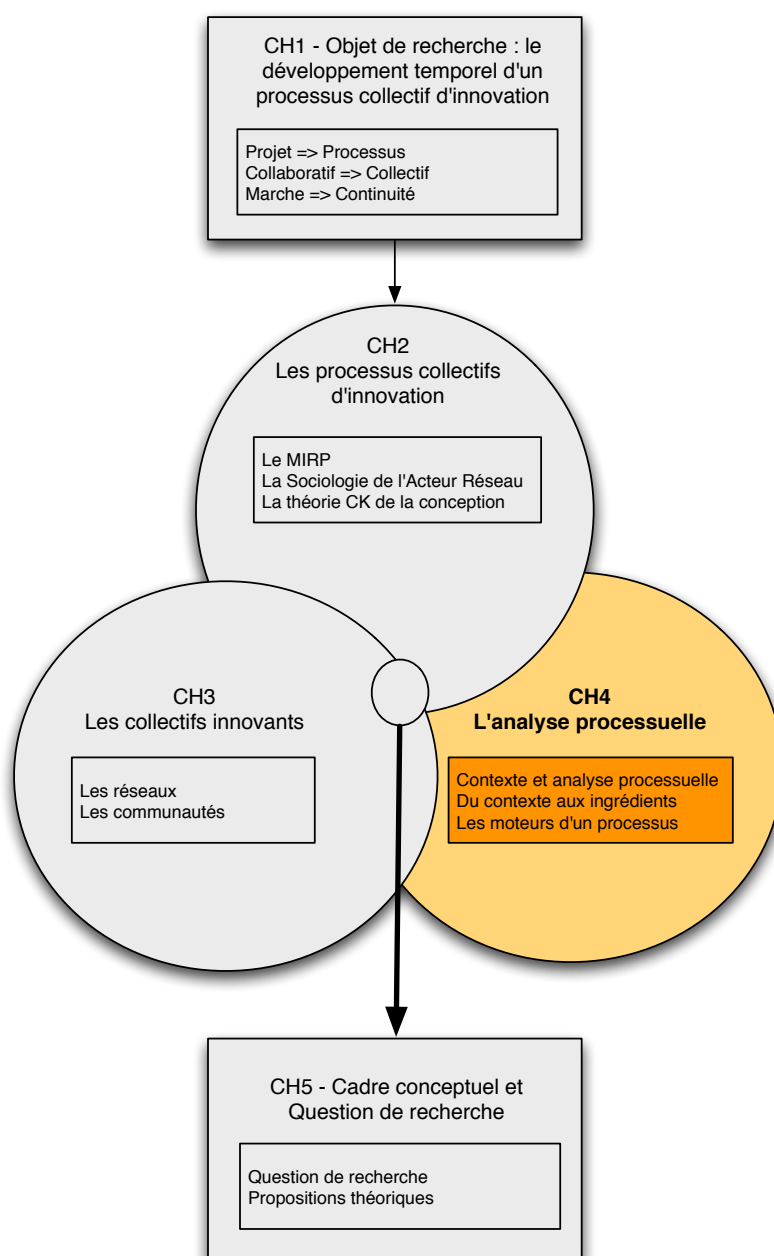
De son côté, la littérature sur les communautés permet de mieux saisir le lien entre connaissances et collectifs. La **communauté** peut par exemple permettre à une **pratique** d'exister, cette pratique reposant sur des connaissances partagées, en partie réifiées, constamment remises à jour en fonction de l'évolution de la pratique elle-même. Une communauté peut aussi être centrée directement sur l'étude d'un certain nombre de questions communes (on parlera de communauté **épistémique**), la connaissance devenant alors le but même d'une communauté. La perspective communautaire insiste donc sur **l'apprentissage**, placé dans sa dimension sociale. A l'échelle d'une organisation, que ce soit un laboratoire ou une entreprise, on pourra même parler d'une communauté de communautés. C'est alors la question du lien entre les communautés qui se pose. On remarque alors l'importance de certains individus clefs (traducteurs, knowledge brokers) ou de certains objets, **situés aux interstices entre communautés**, qui rendent possible la création de connaissances plus complexes, en permettant le dialogue entre des communautés parfois très différentes. Avec cette approche par les "communautés de communautés", **les considérations structurelles rejoignent les considérations communautaires** : les collectifs sont responsables localement de la création et de la transfor-

mation de connaissances, mais ces communautés sont également liées entre elles (par des individus, des objets), et forment une structure pour la cognition.

Cette littérature nous permet de mieux comprendre la diversité de la dimension collective de l'innovation. **Un processus collectif d'innovation est encastré dans une structure sociale**, cette structure ayant une influence sur le cours du processus. Cette influence est contingente, et va dépendre du moment auquel on observe le processus. De plus, la structure sociale évolue elle-même au cours du processus : les liens se font, évoluent, de nouveaux individus se lient, les communautés apprennent, se modifient, etc.

Le processus et son arrière plan social sont donc inextricablement liés. Ils évoluent ensemble dans le temps. Pour mieux comprendre ce point, nous allons aborder dans le chapitre suivant les recherches qualifiées de "analyses processuelles", dont l'un des fondements est justement de décrire ce lien entre un processus et son contexte, la co-évolution de l'un et de l'autre dans le temps.

Chapitre 4. L'analyse processuelle



La revue de littérature sur les processus d'innovation, comme la revue de littérature sur les collectifs innovants, nous incitent à compléter notre cadre théorique dans une direction particulière : com-

prendre l'imbrication entre un processus et son contexte social, comprendre comment, dans le temps, un processus est lié à un collectif complexe, changeant, comment il est lié à des objets nombreux, à des institutions, à des connaissances mobilisées et transformées par ces collectifs dans le cours du processus. Ce chapitre est en grande part fondé sur des recherches récentes menées au LEST et visant à définir une théorie et une méthode d'analyse des processus en Sciences Sociales.

Nous rappelons dans un premier temps (section 1) que dans de nombreux courants académiques, en particulier l'action ou la cognition située, l'analyse de l'activité est indissociable de la prise en compte du contexte de l'action. Mais si l'on veut comprendre un processus dans son contexte, il faut aussi prendre en compte le temps. Il y a donc plusieurs échelles possibles d'analyse : une échelle verticale, prenant en compte les entités sociales participant à un phénomène, et une échelle horizontale, sur laquelle on analyse les relations temporelles entre ces entités (section 2). Cela va nous permettre de mieux définir ce qu'est un contexte, et comment processus et contexte sont inextricablement liés.

Cependant, sur ces deux axes d'analyse, tout ne fait pas sens pour le processus. Il faut donc isoler dans ce vaste réservoir des éléments plus prégnants que d'autres, qui vont être les véritables ingrédients associés, mobilisés ou subis lors de ce processus (section 3). Nous nommerons ces éléments pertinents du contexte des ingrédients du processus.

Nous abordons aussi la question du mouvement, de la dynamique dans ce processus, qui peut être comprise grâce à la littérature sur le changement, en particulier grâce aux notions de moteurs du changement : il existe des mécanismes génératifs des changements (des moteurs), qui peuvent être de quatre types différents. Dans le cours d'un processus, on pourra rendre les changements intelligibles, en repérant le jeu d'un ou de plusieurs de ces moteurs (section 4).

Contexte, ingrédients, moteurs, nous fournissent un jeu de concepts utiles, par la suite, pour mieux comprendre le développement temporel d'un processus collectif d'innovation, et viennent alimenter le cadre conceptuel proposé au chapitre suivant.

Section 4.1 L'activité et son contexte

4.1.1 L'encastrement de l'activité économique

La notion de « embeddedness », que l'on traduit en Français par « encastrement », a été popularisée par Mak Granovetter dans un article fondateur, « Economic Action and Social Structure : the problem of Embeddedness » (Granovetter, 1985). Selon cet auteur, les visions de l'action économique classiques sont sous-socialisées. Par exemple, la notion de marché économique pur fait l'hypothèse d'acteurs isolés se livrant à une compétition libre, ou comme le dit Adam Smith « *social atomization is prerequisite to perfect competition* ». A l'opposé, une vision sociologique classique serait quant à elle sur-socialisée, les acteurs se contentant de reproduire des modèles sociaux qu'ils auraient intégrés. Granovetter propose donc la notion d'encastrement. Les acteurs peuvent se livrer, dans certains cas, à des comportements dictés par les lois du marché (en particulier l'opportunisme, la recherche de profit), mais ils agiraient aussi selon leur appartenance à des structures sociales concrètes. Les marchés ne sont pas parfaitement fluides : les acteurs préfèrent généralement faire des transactions avec des individus dont ils connaissent la réputation, cette réputation étant liée au passé, à l'encastrement de l'activité économique dans des structures sociales.

L'existence de cet encastrement de l'activité dans les structures sociales peut aussi se voir au sein même des firmes. Bien souvent, l'existence de relations inter-personnelles entre des employés permet de résoudre localement des problèmes spécifiques, sans recours aux procédures habituelles, ou à la hiérarchie. D'où l'importance, pour comprendre par exemple les échanges entre organisations, de connaître quelle est la structure des réseaux inter-individuels unissant les acteurs économiques. Le concept d'encastrement nous invite donc à aller voir au-delà des transactions économiques pour analyser des phénomènes. En particulier, il nous faut prendre en compte la structure des relations inter-individuelles sous-jacentes à l'activité, structure qui s'est construite dans le passé. Un exemple de l'importance de l'encastrement peut être tiré de MEMORY : A l'origine du consortium, il y a Hector, dirigeant de STARTER et Nikita, directeur du LABO. Ces deux organisations sont membres de MEMORY. Il y a de multiples raisons rationnelles pouvant expliquer que cette PME et ce laboratoire aient choisi de coopérer. Mais parmi ces raisons, il est difficile d'ignorer que Hector et Nikita se connaissent depuis 1998 et qu'ils sont restés depuis en contact régulier ...

Mais l'encastrement de l'activité ne se limite pas à sa relation aux structures sociales. Selon Dimaggio et Zukin (in Huault, 1998), on pourrait en fait décrire quatre types d'encastements :

-
- l'encastrement cognitif fait référence à la notion de rationalité limitée décrite par Herbert Simon, qui montre que les individus ne prennent des décisions rationnelles qu'en fonction d'un certain nombre de limites, liées à l'état de leurs connaissances, au contexte de la décision, etc.
 - l'encastrement politique prend en compte la dimension politique des décisions, c'est à dire l'existence de rapports de force ou d'influence entre les acteurs, rapports qui peuvent faire prendre des décisions en apparence non rationnelles.
 - l'encastrement culturel, quant à lui, souligne que non seulement les processus économiques se déroulent dans des contextes culturels précis (il existe des lois, écrites ou non, des règles), mais que les décisions sont également liées aux valeurs individuelles qui peuvent être très diverses selon les situations, les moments, et les individus eux-mêmes.
 - enfin, l'encastrement structurel fait plus référence à ce dont parle Granovetter, c'est à dire que les transactions économiques se situent dans une structure relativement durable et concrète de relations sociales.

Brian Uzzi (Uzzi, 1997) a mobilisé le concept d'encastrement pour analyser des réseaux inter-organisationnels (dans le domaine de la confection), ce qui nous rapproche de notre propre objet d'étude. Il a ainsi identifié deux types de lien unissant les acteurs. Des liens indépendants (arm's length ties) et des liens encastés (embedded ties). Les premiers sont basés sur des choix rationnels (délais, coûts), allant vers des partenaires occasionnels, les deuxièmes sont liés à l'existence de liens de confiance entre les dirigeants des entreprises de ce secteur. L'article de Uzzi montre que les liens inter-organisationnels forts sont souvent liés à l'existence de liens interindividuels. Dans certains cas, cet encastrement des réseaux d'entreprises dans le réseau social des entrepreneurs est bénéfique (basé sur la confiance, il permet d'économiser du temps, il limite les risques liés à des investissements, etc.). Dans d'autre cas, il peut être un danger, en limitant la capacité d'adaptation des organisations, qui deviennent moins sensibles aux changements dans l'environnement, à l'apparition d'opportunités, etc. Cela nous montre bien que l'encastrement, le lien entre activité et son arrière plan social, est un lien ambivalent.

Notons que, plus près de nous, Alain Caillé (Caillé, 1993) évoque les notions d'encastrement par d'autres termes, en particulier en proposant la notion de « **contextualisation** ». En effet, ces divers niveaux d'encastrement nous montrent toute la richesse potentielle qui se cache dans ces contextes, dans lesquels les activités économiques se déroulent.

4.1.2 L'action située

Les auteurs que nous venons de citer insistent sur le fait que l'action économique est située dans une structure sociale, cognitive, politique et culturelle, et que cette structure a un certain niveau de stabilité. Elle constitue, d'une certaine façon, un « théâtre », dans lequel l'action se déroulerait. Le courant sociologique qualifié d'ethnométhodologie va plus loin, en insistant sur le fait que l'action et son contexte sont indissociables. L'axiome ethnométhodologique définit le contexte comme « *un environnement localement et socialement organisé d'actions concertées dont l'intelligibilité des éléments et leur pertinence en rapport avec le projet des membres sont construites par eux au cours de leurs actions et révélées dans leurs récits* » (Lexique Ethnométhodologique). Dans cette vision, le contexte ne peut pas être détaché de l'action. Contextes et actions sont construits par les acteurs. Une notion fondamentale permet de comprendre ce lien : l'indexicalité (Garfinkel, 1984). L'indexicalité indique qu'un mot, une attitude, une action ne peut être comprise que dans son contexte. L'action n'a de sens qu'en rapport à un contexte, et le contexte n'est révélé que par l'action, les mots, les attitudes des acteurs. Dans cette approche, analyser le contexte a autant d'importance qu'analyser l'action pour comprendre une situation en sciences sociales (Mercier et Oiry 2010). C'est ce que l'on nomme le courant de l'**action située**, « *the activity of persons-acting in setting* » (Lave, 1988). C'est à ce courant que l'on doit en particulier les travaux sur les communautés de pratique, souvent utilisés en gestion (Lave & Wenger, 1991), et qui tentent de comprendre comment des individus, engagés dans une même pratique, et donc créant et partageant au quotidien un même contexte de travail, parviennent à créer et à partager des connaissances.

La nature située de l'activité est une notion qui a également été utilisée pour **décrire les activités cognitives**, qui nous intéressent plus particulièrement ici : il y a en effet une dimension cognitive essentielle dans un processus collectif d'innovation. Les concepteurs imaginent des concepts, cherchent à les expander, ils acquièrent des connaissances, ils tentent de donner un statut à leurs concepts. Bref, ils raisonnent. Comme l'a montré Suchman (Suchman, 1987), l'activité cognitive de l'agent est dépendante de l'environnement de celui-ci : l'agencement social, les plans de travail, les conditions matérielles constituent une ressource pour les agents. Le raisonnement de l'agent est ainsi inextricablement lié à ce qui fait son environnement de cognition. C'est en s'appuyant sur la littérature de la cognition située que Kazakci (2007) a proposé d'enrichir la théorie CK de la conception en proposant d'ajouter un espace spécifique (E) pour prendre en compte cet environnement de conception, environnement "situé" des concepteurs participant au processus.

Que se passe-t-il lorsque les designers ne partagent pas un seul et même environnement de conception, quant ils sont par exemple répartis aux quatre coins du monde comme dans un PCI ? Wanda Orlikowski (Orlikowski, 2002), en étudiant comment des individus répartis dans une organisation High Tech et internationale parvenaient à développer de nouveaux produits, a conclu que la compétence pour développer des produits nouveaux était elle même distribuée :

"[...] the competence to do global product development is both collective and distributed, grounded in the everyday practices of organizational members."

Cela l'amène à mobiliser la notion de **cognition distribuée**. Cette cognition distribuée, selon ses observations empiriques, s'appuie en particulier sur le développement d'une identité commune construite par tous les concepteurs de l'organisation. Que l'on soit un ingénieur aux Etats Unis, développeur au Japon, sociologue des usages en France, on est un membre de l'entreprise Kapa : on en connaît les codes, la culture, on utilise des outils communs.

Pourtant, dans le cas d'un projet collaboratif européen, par exemple, des expériences sont menées dans un laboratoire en Italie, des objets sont assemblés chez un industriel en Allemagne, des rapports sont écrits dans un bureau d'études en France, sans qu'aucune organisation durable et pérenne ne permette de construire une telle identité commune. Dans ce cas, si cognition située il y a, elle s'appuie sur d'autres ressources que l'existence d'une identité commune, portée par une seule et même entreprise.

De plus, l'action ou la cognition située, si elle s'intéresse bien au rapport de l'action à son contexte, ne prête pas une attention spécifique à l'évolution, et aux modifications structurelles du contexte dans le temps. Or, un processus collectif d'innovation peut être long : le contexte de l'action peut subir dans le temps des modifications très importantes, dont il faut savoir rendre compte, parce qu'elles influent sur le cours du processus.

Section 4.2 Contextualisme et approches processuelles

L'idée que le contexte et l'action sont indissociables peut aussi être mobilisée dans des analyses de processus. C'est le programme que propose, entre autre, Andrew M. Pettigrew (1990). Pettigrew s'intéresse aux changements organisationnels. Les phénomènes qu'il observe sont contextuels, comme dans des approches de type « action située », mais il y a aussi des connexions dans le temps : « *Truth is the daughter of time* ». Par exemple, pour comprendre la dynamique du processus MEMORY en Juin 2006, il faut prendre en compte les contextes dans lesquels se situe le processus, et l'action des membres de ce processus en 2006... mais il faut aussi prendre en compte les événements du passé, la généalogie de ce processus, le poids des événements antérieurs : « *antecedent conditions shape the present and the emerging future* ». Dans cette vision, qualifiée par l'auteur de **contextualisme**, l'étude du changement requiert deux niveaux d'analyse :

- un niveau **vertical**, qui se réfère aux interconnexions entre les niveaux micro, intermédiaires et macro du phénomène (les individus, leurs groupements, les entreprises, l'industrie dans laquelle ces entreprises évoluent, etc.)
- un niveau **horizontal**, qui s'intéresse aux interconnexions entre des séquences dans le temps.

La vision du contexte selon Pettigrew est riche et complexe. Ce n'est pas seulement un environnement envoyant des stimuli vers le phénomène observé, mais un arrangement en réseau de structures et de processus, dans lequel les interprétations subjectives des acteurs (qui perçoivent, interprètent, apprennent et mémorisent), contribuent à fabriquer le processus en cours.

Le sociologue Michel Grossetti propose quant à lui d'utiliser trois échelles d'analyse pour comprendre les phénomènes en sciences sociales (Grossetti, 2006) : l'échelle du temps, l'échelle de masse et l'échelle de généralité. Chacune de ces échelles est constituée d'un certain nombre de niveaux, ce qui permet de sortir des oppositions classiques de type micro / macro.

4.2.1 L'échelle de masse

Cette échelle concerne le nombre d'unités d'action impliquées dans un phénomène. Pour mesurer la masse concernée, il faut un critère donné (nombre d'individus, d'organisations, etc.). On peut changer l'unité de mesure en cours d'analyse, quand on trouve qu'un niveau est plus pertinent pour expliquer le phénomène. Par exemple, pour analyser MEMORY, on pourrait choisir comme critère de masse « l'individu », et tenter de voir combien d'individus participent au processus. Cependant, on

peut changer d'unité de mesure, en choisissant de s'intéresser aux « organisations » membres du consortium. Ce choix est important. En Février 2007 par exemple, MEMORY comporte 8 organisations, ou 50 individus, selon le niveau de l'échelle de masse auquel on se situe.

4.2.2 L'échelle de temps (durée)

Les phénomènes sociaux ont aussi une durée, et cette distinction est également importante : un phénomène bref (une crise, un conflit social) ou long (une innovation, une organisation) doivent être compris différemment. Il faut donc être capable de définir des échelles pour mesurer ce temps qui passe. Ces deux échelles, masse et temps, peuvent être assez indépendantes. Par exemple, un phénomène important en masse (un bouchon, une manifestation, le succès d'un produit) peut être restreint sur l'échelle de temps (quelques heures, quelques semaines). Si on s'intéresse à MEMORY, le choix de l'échelle de temps est encore essentiel. On peut décider de prendre comme échelle d'analyse le temps du *projet* MEMORY, qui débute officiellement en Septembre 2005. En prenant une échelle plus large, en remontant par exemple dans le temps, on prend en compte les prémices du projet, qui peuvent avoir une importance dans la genèse du phénomène analysé. Par exemple, durant l'année 2004, Hector, promoteur du projet, dirigeant de la société STARTER, a consacré beaucoup de temps et d'énergie à rencontrer ses futurs partenaires, à négocier avec eux les conditions de leur participation au projet. Pendant cette période, de nombreuses décisions ont été prises, qui pèsent encore sur MEMORY en 2006...

4.2.3 L'échelle des généralités

On peut différencier le monde social en de multiples sous-ensemble : famille, entreprise, communautés, institutions, territoires, etc. Ces sous ensembles sont autant de sphères différentes. Chacune a des « coordonnées » en masse et en temps : l'entreprise, par exemple, comporte un certain nombre d'employés, et a une durée de vie. On pourra dire la même chose d'un projet, d'une famille, d'une communauté, etc. Un phénomène peut avoir un impact sur un plus ou moins grand nombre de ces sphères. Le chômage d'un employé, par exemple, peut avoir un impact sur sa sphère familial, amical, etc. En revanche, le fait pour un commercial de réussir une vente ou d'avoir un nouveau téléphone portable peut n'avoir qu'un impact limité sur d'autres sphères de sa vie. Idem pour les organisations : la signature d'un nouveau contrat, qui est signifiante dans le service commercial, peut n'avoir qu'un impact très limité dans le service comptable (un simple jeu d'écriture). Si ce contrat est important, ou qu'il a été signé avec un client demandant un échange de données financières, le

phénomène peut en revanche se diffuser dans diverses sphères dans l'entreprise, en touchant divers services.

Selon le niveau d'analyse où l'on se place, une sphère peut même devenir à son tour une entité agissante (donc un acteur, au sens de Grossetti). Par exemple, pour les membres de ce consortium, MEMORY constitue une sphère particulière. Pour le LABO par exemple, c'est un cadre dans lequel un certain nombre d'activités de recherche sont menées, auquel des scientifiques participent, qui représente une ligne budgétaire, une possibilité de recruter des scientifiques, etc. Cette sphère a des coordonnées en temps (3 ans de financement prévus dans un contrat de partenariat) et en masse (8 organisations participantes). Pour la commission Européenne, c'est un projet parmi de nombreux autres, qui produit des résultats, reçoit des subventions, agit, prend des décisions. C'est un acteur. L'introduction de cette nuance nous permet de comprendre à quel point contexte et action sont liés, puisque ici, une sphère (qui est un "morceau" de contexte) devient elle-même acteur !

4.2.4 Comparaison des échelles et des niveaux

Dans le tableau ci-dessous, nous rapprochons les notions d'échelle proposées par Grossetti et Pettigrew :

Tableau 3: Comparaison entre les Niveaux de Pettigrew et les Echelles de Grossetti

Échelles de Michel Grossetti	Niveaux de Andrew M. Pettigrew	Commentaire
Échelle de temps (durée des phénomènes)	Niveau horizontal (interconnexion entre les séquences dans le temps)	Les auteurs parlent du déroulement temporel du phénomène, mais Pettigrew fait référence explicitement au lien entre séquences. Cette notion est traitée spécifiquement ailleurs par Grossetti (il parle de couplage et d'encastrement)
Echelle de masse (nombre d'entités concernées)	Niveau vertical (interconnexion entre des niveaux d'analyse, allant des plus micros aux plus macros)	Le niveau vertical semble être une résultante des contextes et des masses de Grossetti. Là encore, Pettigrew parle d'un niveau d'analyse auquel on peut observer des interconnexions, notion traitée à part par Grossetti.
Echelle de Généralité (contexte(s) concernés par le phénomène)		

Lorsque l'on croise l'ensemble de ces échelles, on comprend à la fois la richesse et la complexité de l'analyse d'un processus : un phénomène peut se déplacer, contaminer peu à peu plusieurs sphères. D'éphémère, il peut devenir durable. De restreint, il peut concerner peu à peu de multiples entités.

Pour expliquer ces contaminations, ces liens temporels, entre contextes, Michel Grossetti (2004) a développé des concepts spécifiques que nous décrivons ci-après.

4.2.5 Découplage et encastrement (couplage)

a) Définitions

Lorsqu'il fait référence à la notion d'encastrement, Grossetti se détache en partie des notions introduites par Granovetter, en introduisant l'idée d'une dynamique (ibid p134). L'encastrement de l'activité économique dans le réseau social, par exemple, est en évolution constante : le réseau lui-même évolue, la nature des échanges, etc. En fait, les sphères d'activité et leurs constituants sont en tension entre deux tendances contradictoires : l'encastrement et le découplage.

- l'encastrement est la **dépendance** entre des entités sociales. Pour reprendre un exemple plus haut, B. Uzzi a observé la dépendance entre « la sphère des échanges économiques entre les entreprises de confection à New-York dans les années 1990 » et la « sphère relationnelle des dirigeants de sociétés de confection de la zone de New York dans les années 1990 ».
- le découplage désigne quand à lui le phénomène **d'autonomisation** d'une entité par rapport à une autre. Un exemple typique est celui des réseaux d'anciens étudiants qui persistent après la fin de leurs études. La sphère de la scolarité partagée a disparu, mais certains étudiants continuent à être unis, au sein d'associations qui sont en partie découplées des écoles d'origine.

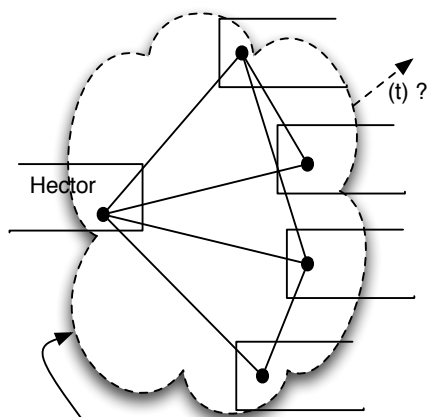
Selon Michel Grossetti, les entités sociales sont en constante tension entre autonomie (via le découplage) et dépendance (via l'encastrement). De ce fait, elles sont en équilibre précaire et leurs statuts peuvent évoluer au cours du processus. Dans un processus, on peut donc tenter de suivre l'évolution des niveaux d'encastrement et de découplage entre les entités sociales afin d'avoir une idée du déroulement du processus dans une vision riche, avec une notion complexe du contexte.

b) Changements d'échelles

Selon Michel Grossetti (2004 p 141), dans un processus, l'action peut changer de niveau dans une ou plusieurs échelles (masse, temps, généralité). Ces changements d'échelle d'action sont dus aux changements d'équilibre entre découplages et encastrements entre les entités sociales. Prenons un exemple dans MEMORY : En 2004, Hector de STARTER, assisté de SPARKS, constitue un consortium d'organisations autour de son projet d'innovation. Concrètement, ce consortium n'est qu'un projet, il ne dispose pas de ressources, ni de statut. En 2005, Hector répond à un appel d'offre de la Commission Européenne afin de financer MEMORY. Son projet est sélectionné. A partir de Sep-

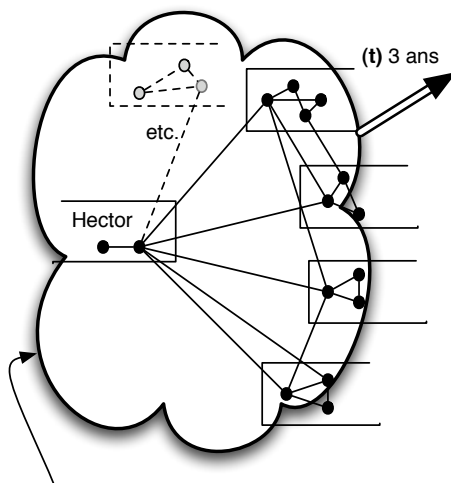
tembre 2005, MEMORY est lancé : ce consortium dispose de plusieurs millions d'euros, d'un comité de pilotage, d'un programme de travail, d'un site intranet, etc. Bref, MEMORY s'est découpé du réseau social qui l'avait porté jusqu'ici, réseau constitué d'Hector et de ses divers contacts chez les membres du consortium. Les schémas ci-après illustrent ces changements d'échelle d'action. Les points noirs y représentent des acteurs individuels, les rectangles représentent des organisations, et les traits pleins figurent des liens entre les individus.

Ce découplage provoque un changement sur au moins deux échelles d'action, comme nous le montrons ci-dessous.



MEMORY Juin 2004 :
Echelle temps : de -6 mois à T0
Echelle masse (individus) : 5

- En Juin 2004, sur l'échelle du temps, le projet est provisoire, il n'a pas de perspective certaine. Sa durée n'est que du temps passé.
- Sur l'échelle des masses, si l'on prend comme indicateur de masse « les individus » participant au projet, MEMORY ne compte que les quelques chefs de projet qui se sont rencontrés pour mettre au point le consortium.



MEMORY Septembre 2005 :
Echelle temps : de -18 mois à +36 mois
Echelle masse (individus) : 50

- En Septembre 2005, sur l'échelle du temps, le projet a désormais 18 mois d'antériorité, et un financement obtenu sur trois ans.
- Sur l'échelle des masses, ce sont désormais des dizaines de personnes qui participent au projet.

Du fait de ce découplage important de l'activité MEMORY de sa sphère d'origine (porté au départ par un réseau informel de quelques chefs de projet, il est désormais porté par un consortium uni par un contrat de partenariat), la sphère MEMORY devient entité agissante, acteur à part entière du pro-

cessus d'innovation. Cela illustre ce que nous disions plus haut, à savoir qu'une sphère d'activité peut devenir elle même actrice dans un processus.

Section 4.3 Du contexte aux ingrédients

Nous le faisons remarquer dans la partie théorique consacrée aux processus d'innovation : la notion de contexte est difficile à prendre en compte. Le MIRP l'associe à une catégorie d'analyse dans laquelle on vient empiler des éléments très divers, tandis que la SAR, à force de prendre tout le réseau socio-technique en compte, étend le contexte vers un immense réseau d'actants humains et non humains.

Face à un phénomène aussi complexe qu'un processus collectif d'innovation, le contexte semble être en effet inépuisable. Non seulement il serait impossible d'en décrire tous les éléments, sur toutes les échelles (masse, durée, généralité), mais cette description risquerait de ne pas amener l'intelligibilité recherchée. Il nous faudra donc identifier au sein de ce contexte large **des éléments plus ou moins prégnants dans le processus étudié, et abandonner l'idée d'une description exhaustive de ce phénomène**. En s'appuyant sur Pettigrew (1990), Mercier et Oiry (2010) pensent que

"Certains éléments du contexte agissent (ce sont des ingrédients) et d'autres sont agis (ils ne sont alors que des éléments). Alors que les éléments sont une « liste éclectique d'antécédents », les ingrédients s'inscrivent dans un schéma intelligible de l'action, ils procèdent donc de l'analyse elle-même."

Une des caractéristiques des ingrédients est qu'ils sont à la fois subis et utilisés dans le processus, ils le facilitent comme ils le contraignent. Un même ingrédient pouvant être, à un moment différent, une ressource, une contrainte, voire un élément insignifiant. Nous proposons l'exemple suivant pour mieux faire comprendre le rôle d'un ingrédient dans un processus : **l'exemple parapluie**.

Encadré 4 : Le parapluie comme ingrédient, exemple proposé par l'auteur.

Analysons mon processus de déplacement entre mon domicile et mon travail un jour de pluie. Je pars au travail ce matin et j'emporte un parapluie avec moi car la météo m'a annoncé la veille qu'il allait pleuvoir. Dans mon trajet allant de mon domicile à mon arrêt de bus, ce parapluie est une ressource qui me permet d'atteindre ma destination sans être trop mouillé. Une fois dans le bus, il n'y a pas de place assise. Je reste donc debout, et décide de lire quelques chapitres d'un roman. Mais je n'ai qu'une main de libre, l'autre étant occupée par ce parapluie. Il est donc très difficile pour moi d'aller chercher mon livre dans la poche de mon manteau, de le feuilleter, de l'ouvrir à la bonne page. A moins de poser mon parapluie sur le sol détrempé du bus, au milieu des pieds des autres voyageurs (ce que je finis par faire). Ce parapluie est une contrainte. Arrivé à mon bureau, je constate que le parapluie est à présent déchiré, probablement piétiné dans le bus, et qu'il me sera difficile de le réparer. Ce parapluie a été transformé du fait de son utilisation, et cette transformation est irréversible. Je passe ma journée de travail et j'ai complètement oublié cette histoire de parapluie, qui est à ce moment là un élément du contexte assez peu signifiant dans mon activité, comme le sont la porte d'entrée de l'immeuble ou les plantes vertes dans le hall d'entrée. Le soir arrive, il pleut encore. Au moment de partir, je me souviens que mon parapluie est déchiré. Une fois dans la rue, je cours donc jusqu'au grand magasin le plus proche pour en acheter un neuf. Cette ressource modifiée de façon irréversible (le parapluie) a donc modifié mon processus de retour à mon domicile. Je vais arriver plus tard, selon un autre itinéraire, trempé et peut être en colère (mais avec un nouveau parapluie).

Cet exemple nous montre plusieurs aspects des ingrédients du processus : ils peuvent être utilisés ou subis dans le processus. A d'autres moments, des ingrédients peuvent être neutres. Les ingrédients sont *combinés* dans le processus (dans le processus de déplacement, il me faut aussi un bus, des chaussures, un ticket de bus, etc.). L'utilisation peut modifier les ingrédients et créer des irréversibilités. Les irréversibilités peuvent modifier le cours du processus de son cours normal, prévisible. Pour reprendre la **définition** de D. Mercier et E. Ouary (2010), on pourra donc dire que

« les ingrédients sont les éléments d'un contexte, pertinents pour un processus. Ils sont mobilisés dans le processus comme éléments de contraintes qui limitent l'action ou de ressources qui la nourrissent. Un même élément peut être une contrainte ou une ressource, selon le processus en question et aussi selon les moments. »

Section 4.4 Les moteurs d'un processus

Si nous parlons de processus, c'est aussi parce que, au cours du temps, ces assemblages d'ingrédients se modifient : des ingrédients disparaissent, ou se lient de façon inédite, des acteurs du processus se transforment durablement, d'autres vieillissent, ou naissent au contraire. On peut voir des ressources se détériorer avec le temps, ou à mesure qu'on les utilise, tandis que d'autres ingrédients sont créés, recyclés, modifiés. **Il y a un processus parce que des choses changent, évoluent, se modifient, meurent ou naissent.** Parce qu'il y a du mouvement.

Étymologiquement, le moteur est « ce qui cause le mouvement ». On utilise d'ailleurs souvent ce terme au sens figuré, pour dire par exemple que "l'ambition était le moteur de Napoléon", que "l'Allemagne est le moteur de la croissance européenne" ou que "l'emploi est le moteur de l'intégration pour les immigrés", pour suggérer que l'on peut expliquer un mouvement social - au sens littéral du terme - comme la réussite de Napoléon, la croissance européenne ou l'intégration des immigrés, par l'effet d'une cause principale (l'ambition, la croissance allemande, le travail) que l'on qualifie alors de moteur.

Nous voulons ici explorer cette idée : savoir si (et comment) on peut **rendre intelligible le mouvement dans un processus.**

4.4.1 Définition du moteur

Nous proposons donc par la suite de définir la notion de moteur de processus comme étant ***un mécanisme génératif du mouvement des ingrédients et de leurs assemblages au cours du temps.*** Cette définition comporte plusieurs termes qu'il nous faut mieux préciser :

- *un mécanisme génératif du mouvement* nous permet d'introduire une vision plus fine que la causalité expérimentale fermée, insuffisante pour décrire la complexité du lien existant entre les ingrédients, les événements et leurs transformations au cours du processus. Le mouvement reste intelligible, mais pour le comprendre, il nous faut décrire des mécanismes, c'est à dire une structure permettant l'interaction de divers éléments, et produisant, par l'action combinée de ces éléments, un mouvement.
- le *mouvement* qui nous intéresse ici, concerne essentiellement les ingrédients du processus et leur assemblage dynamique. Ce qui "bouge", par exemple, dans le processus MEMORY, ce sont

les ingrédients de ce processus : les relations évoluent, des inscriptions nouvelles sont faites, des organisations changent, disparaissent même, des dispositifs de coordination sont mis en place, des outils tombent en panne, etc.

Cette définition nous permet de prendre de la distance par rapport à la définition commune du moteur, que l'on retrouve par exemple dans l'expression "l'ambition était le moteur de Napoléon". Pour parler de moteur, dans le sens où nous souhaitons le présenter ici, il nous faudrait :

- parler par exemple du *processus d'engagement politique de Napoléon* (Napoléon, dans notre approche, n'est pas un processus, ou alors c'est un assemblage de processus)
- définir quels furent les ingrédients de ce processus et leur assemblage : son caractère, y compris son ambition, qui est pour nous un ingrédient et non un moteur, ses relations, l'armée, son rôle en tant qu'officier, la constitution issue de la révolution, etc.
- et expliquer par quels mécanismes génératifs son ambition a pu transformer les autres ingrédients de son processus, comment elle a pesé sur ses choix, comment elle a guidé son ascension vers les plus hautes fonctions dans le jeune Etat Français issu de la Révolution.

4.4.2 *Quatre archétypes de moteurs de processus*

Notre approche des moteurs s'inspire directement des recherches de Andrew Van de Ven et Scott Pool (Van de Ven and Poole, 1995) portant sur le changement. Ce travail repose sur une exploration théorique menée dans diverses disciplines. Leur revue de littérature, assistée dans un premier temps par ordinateur, portait sur une base de 200 000 articles puisés dans des revues traitant de psychologie, de sociologie, d'éducation, de gestion, d'économie, mais aussi de biologie, de médecine, de météorologie et de géographie. De cette base, 2000 résumés furent analysés et plus de 200 articles lus et annotés, ce qui mena les auteurs à identifier une vingtaine de théories explicatives du changement. A partir de cette base théorique, un travail de synthèse leur a permis d'identifier quatre archétypes de mécanismes génératifs du changement, servant de base à l'ensemble de ces théories. Nous proposons donc d'utiliser par la suite ces quatre archétypes, qu'il va nous falloir aménager à ce qui nous importe ici : décrire des mécanismes pouvant être utilisés pour rendre intelligible la dynamique des processus.

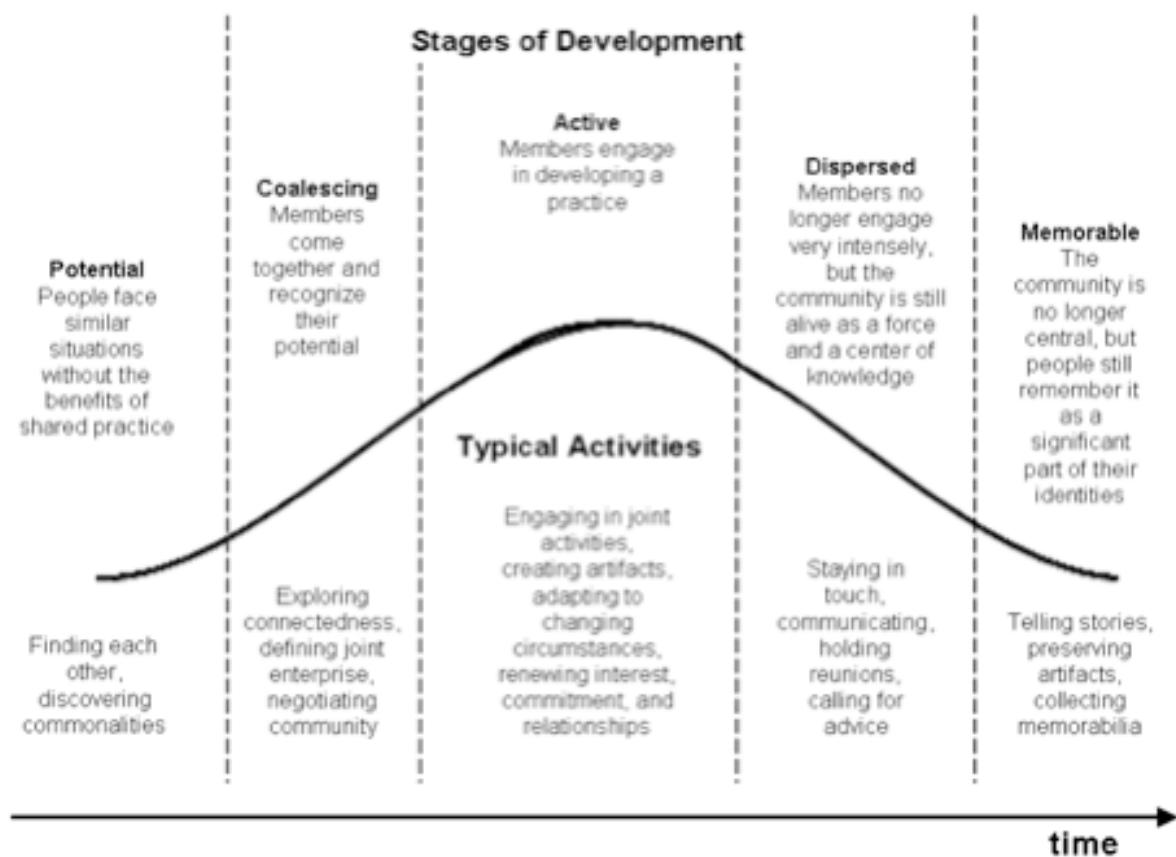
a) Le moteur cycle de vie

Selon Van de Ven et Pool (1995), ce mode de développement est le plus souvent cité dans la littérature. Selon les théories dites du cycle de vie , le changement est immanent, en ce sens que l'entité

qui se développe suit une logique, un programme qui régule le processus de changement. L'état final est connu d'avance, mais plus encore, les phases de l'évolution vers cet état final sont également connues d'avance, ainsi que leur ordonnancement. Les événements extérieurs peuvent certes influencer l'entité et son évolution, mais ils sont filtrés par ce programme, ou cette logique. Ils agissent comme des révélateurs des phases prévues par ce programme ou cette logique.

A titre d'exemple, nous reproduisons ci-après les phases de développement d'une communauté de pratique. Selon la théorie proposée par Etienne Wenger et ses collègues, les groupes humains qui partagent une même activité tendent à créer des communautés de pratique qui vont leur permettre de partager des apprentissages. Ces communautés se développent en passant par un certain nombre de phases qui sont connues d'avance.

Schéma 13: Les stades de développement d'une Communauté de Pratique (Wenger et al., 2002)



On comprend ce que de telles approches peuvent apporter en gestion. Elles sont souvent utilisées en management à des fins normatives, car elles ont un fort pouvoir prescriptif : il existe un enchaînement logique des étapes. Le rôle du manager est alors de faciliter les étapes de croissance prévues

par le modèle, comme le jardinier favorise la croissance de ses plans de tomates qui, eux aussi, suivent un cycle de vie prescrit.

Ce que suggère de façon forte ce moteur, c'est qu'il existe dans un processus un enchaînement ordonné de séquences. Pour révéler un moteur de type cycle de vie, le chercheur devra donc repérer des régularités dans l'ordonnement des séquences. L'existence d'un "programme immanent" peut aussi être utile. Cette logique peut d'ailleurs être enfouie sur des niveaux micro d'analyse (on pense au code génétique de la cellule) comme elle peut venir d'un niveau plus macro (le cycle de formation d'un étudiant lui est imposé par les règles universitaires).

Enfin, pour décrire le mécanisme de fonctionnement de ce moteur, on va être obligé de faire appel à d'autres mécanismes, pouvant expliquer les raisons du passage d'une étape à l'autre. Il ne suffit pas en effet de savoir qu'il existe un séquençage typique pour expliquer comment on passe d'une étape à une autre. Si l'on devait prendre une analogie avec les sciences du vivant, on pourrait rappeler que l'existence d'un cycle de vie des organismes vivants s'accompagne de mécanismes expliquant les évolutions de ces organismes : répliquations des cellules, spécialisation de certaines cellules, vieillissement cellulaire, etc. Cela suggère une idée que nous aurons l'occasion de développer plus loin : pour rendre un processus intelligible, il peut être important de repérer plusieurs moteurs.

b) Le moteur évolutionniste

Autre emprunt aux sciences de la vie : la métaphore de l'évolution. Celle-ci est souvent utilisée en sciences sociales pour rendre compte des mécanismes du changement. En fait, il y a trois mécanismes associés. D'une part, des **variations** se produisent au sein d'une population. Ces variations sont conservées ou rejetées via des mécanismes de **sélection**. Enfin, ces évolutions sélectionnées peuvent être conservées et reproduites, via des mécanismes de **réretention**. Nous employons ici le terme population au sens le plus abstrait possible. Il peut s'agir d'un ensemble d'individus, d'entreprises, de communautés, de projets, d'objets, mais aussi de comportements, de savoirs, de compétences, etc. Nous dirions ici une population "d'ingrédients". Il y a bien entendu de nombreux raffinements possibles de ce genre de théories, selon que l'on se réfère par exemple à Darwin ou à Lamarck. Dans le premier cas (Darwinisme), les variations ne peuvent apparaître qu'à chaque nouvelle génération d'entités : nouvelles entreprises, nouveaux produits, etc. Dans le deuxième cas (Lamarckisme), les variations peuvent apparaître au sein d'une population, chaque entité pouvant muter afin de s'adapter à un nouvel environnement.

En économie, cette vision a été particulièrement prolifique depuis le début des années 1980, et a donné naissance au courant évolutionniste. A titre d'exemple d'une application de ces théories aux

processus de développement des organisations, on pourra rappeler les travaux portant sur la firme évolutionniste (Dosi et al., 1990). La population d'entités concernée est ici l'ensemble des routines de l'entreprise, c'est à dire le répertoire de ses compétences, de ses procédures, des habitudes qu'elle peut mobiliser pour faire face aux situations et vivre dans son environnement compétitif. En quelque sorte, il s'agit de son patrimoine génétique. Ce répertoire est propre à chaque entreprise et a été créé par apprentissage au cours du temps, en fonction des expériences passées vécues par l'organisation. C'est grâce à ce répertoire que l'entreprise va pouvoir s'adapter aux conditions de son environnement, ce qui implique une idée fondamentale de l'évolutionnisme : **la dépendance de sentier**. Les voies que l'on pourra emprunter demain dépendent d'un répertoire forgé par le passé. En ce sens, toutes les routes ne sont pas possibles. Face à une situation nouvelle, l'organisation va puiser dans son répertoire certaines routines ou compétences et les tester. Si elles permettent à l'organisation d'être efficace, ces routines vont être conservées (sélection) et renforcées grâce à de nouveaux apprentissages (rétention). Une des limites de ces modèles (Coriat and Weinstein, 1995) est que la firme évolutionniste est vue principalement comme un assemblage cognitif, capable de créer et de sélectionner des routines, mais que sa construction sociale, l'existence en son sein de diverses communautés, de rapports de force, de tension, ne sont pas pris en compte. Nous reviendrons sur ce point dans la partie suivante en abordant en particulier le moteur dialectique.

Prenons l'exemple du processus de diffusion de l'utilisation d'internet dans une entreprise. Au départ, de leur propre initiative, quelques individus isolés installent un navigateur internet sur leur poste de travail (on suit ici l'ingrédient "équipement informatique" au niveau d'analyse des "individus"). Le temps passant, le management décide que la pratique de ces précurseurs est bonne (sélection). Ils décident de la généraliser à l'ensemble du personnel et pérennise le navigateur internet (rétention). Le phénomène change donc de niveau dans l'échelle des masses : de quelques individus, il concerne désormais des centaines. Il concerne même l'organisation toute entière. Une variation observée à un niveau micro s'est généralisée à un autre niveau, faisant ainsi "évoluer" l'ensemble de l'entreprise.

c) Le moteur Dialectique

L'idée d'une tension entre diverses entités comme moteur du changement, ce qui semblait nous manquer dans l'évolutionnisme, est en revanche au coeur des moteurs dit dialectiques. Dans cette approche, on décrit une **tension** entre au moins deux entités. Ce conflit peut être vecteur de stabilité lorsque les forces en présence s'accommodent et maintiennent leur rapport de force. Le statut quo

pourra être remis en cause soit par la victoire de l'une des forces, soit par la production d'une synthèse, c'est à dire d'une nouvelle entité englobant les forces contradictoires.

Le Marxisme, qui fait de la lutte des classes le moteur de l'histoire, se situe dans cette perspective. On pourrait aussi citer comme exemple la vision dialectique de l'entreprise (Benson, 1977), qui d'ailleurs fait expressément référence à certains postulats de Karl Marx. Cette théorie repose sur quatre piliers : le principe de construction sociale (les institutions, telles que les entreprises, sont socialement construites par des individus), le principe de totalité (l'organisation est un assemblage complexe de constituants, ses frontières sont floues et elle est intimement liée à l'ensemble des constituants de la société), le principe de contradiction (les organisations sont le sièges de nombreux conflits entre ses individus, ses constituants, et même son environnement) et le principe de Praxis (les membres des organisations peuvent prendre conscience de ces tensions et décider de reconstruire leurs organisations, de modifier les tensions qui fondent leur quotidien). L'entreprise dialectique est donc vue comme le résultat d'un conflit permanent, qu'une Praxis tente de résoudre et de négocier quotidiennement. Une caractéristique (et peut-être une limite) de ce genre d'approche est de mettre le conflit au coeur du changement.

Rappelons aussi que le moteur dialectique peut très bien expliquer des moments du processus où, en apparence, il ne se passe rien : l'action est bloquée par un conflit, la situation s'enlise, diverses entités défendant leur position (une "guerre froide" est un bon exemple d'un processus stabilisé, gelé par un conflit).

d) Le moteur téléologique

Le moteur téléologique repose sur une vision différente de la Praxis. Plutôt que la lutte, c'est au contraire l'existence d'un objectif commun, et la tentative d'atteindre cet objectif, qui est le principe génératif du mouvement. Le but, situé dans l'avenir, devient alors le moteur du processus. L'entité va donc devoir construire ses objectifs, mettre en oeuvre des actions pour tendre vers cet état final visé, contrôler son évolution réelle, et éventuellement modifier ses objectifs en fonction des apprentissages réalisés entre temps. C'est ce cycle permanent, tiré par un objectif, qui explique alors le changement. Un processus influencé par un moteur téléologique est un processus qui s'explique par sa **finalité**.

Ce type d'approche est souvent utilisé dès lors que l'action est vue comme le moyen d'atteindre un but. La figure typique du processus téléologique est le "**projet**", qu'il soit personnel ou d'entreprise. Parmi les caractéristiques canoniques du projet, il y a le fait que c'est une activité visant à "atteindre un but global en réponse à un besoin exprimé avec plus ou moins de clarté" (Midler, 1996). Cela ne

signifie pas que l'objectif ne pourra pas changer en cours de processus. Dans un processus d'innovation par exemple, la vision que l'on a de l'objectif visé peut évoluer en cours de processus, être remise en cause en fonction des apprentissages, des événements extérieurs, etc. Mais la définition, la redéfinition du but à atteindre, et le poids de cet ingrédient (la finalité) sur l'ensemble du processus reste essentiel.

Notons qu'en Sciences de Gestion, la question du moteur téléologique est centrale : en effet, il est difficile d'admettre, pour le praticien, que l'action collective est aveugle (sans moteur) ou qu'elle n'est que le fruit de luttes de pouvoirs (moteur dialectique). La question n'est donc pas seulement de savoir s'il y a un pilote dans l'avion, mais aussi de savoir où sont les commandes de pilotage (les ingrédients de ce moteur) et comment elles fonctionnent.

Section 4.5 Conclusion

L'encastrement de l'activité dans des structures sociales est une notion admise et est prise en compte dans de très nombreuses recherches. L'activité, et en particulier l'activité cognitive, est désormais analysée et comprise dans son rapport à un environnement particulier : les acteurs, dont les concepteurs, sont **situés**. Ils sont environnés d'outils, interagissent quotidiennement, et de façon réflexive, transforment de par leur activité leur environnement de conception. Ainsi, l'activité cognitive est inextricable de l'environnement des concepteurs. Cet environnement peut être distribué : c'est le cas par exemple dans un groupe international développant de nouveaux objets. Dans ce cas, la cognition elle-même est distribuée entre diverses filières. Un des rôles de l'organisation est alors de permettre aux concepteurs répartis dans le monde d'avoir une identité commune, de partager des ressources qui leur permettront de faire converger leurs travaux

Mais dans le cas d'un processus collectif d'innovation, réparti entre plusieurs organisations, sur quelles ressources s'appuie cette cognition distribuée ?

De plus, il faut rappeler que dans le processus d'innovation collectif cet environnement n'est pas donné : il se construit et évolue. Si l'on observe un processus long, impliquant de nombreux acteurs individuels, organisationnels, institutionnels, on constate que **l'environnement change dans le temps**, que les situations portant les activités cognitives sont plurielles et changeantes. Pour comprendre un processus collectif d'innovation, il nous faut donc décrire le rapport des concepteurs à un contexte large et changeant.

Selon des auteurs comme Pettigrew ou Grossetti, On peut définir plusieurs échelles d'analyse des phénomènes sociaux :

- **une échelle verticale**, qui lie les entités observées à un instant "t" entre elles : un designer est lié à d'autres designers, à des installations techniques, à des organisations, à des institutions, qui toutes participent au phénomène analysé.

- **une échelle horizontale**, ou "de temps", qui s'intéresse aux interconnexions temporelles entre les phénomènes : le phénomène observé à un instant "t" est lié à son passé, à des séquences de temps antérieures, à d'autres événements, ce qui permet de définir une durée.

Michel Grossetti parle même d'une échelle de généralités, qu'il définit comme une sphère particulière, ayant des coordonnées en masse (échelle verticale) et en temps (échelle horizontale). **La notion d'échelle verticale de Pettigrew réunit à la fois les échelles de masse et de généralité de**

Grossetti : sur un niveau vertical, on trouve diverses sphères (donc des niveaux de généralités), tels que des entreprises, des réseaux, des individus, liés en plus ou moins grand nombre (échelle de masse) entre eux.

Au cours du processus, une entité sociale est en tension entre sa dépendance et son autonomie par rapport aux autres entités sociales. Cette dépendance peut être qualifiée d'**encastrement (ou de couplage)**, et son autonomie est le résultat de son **découplage**. Découplage et encastrement des entités sociales sont en évolution perpétuelle dans le cours d'un processus

A partir de ces deux échelles d'analyse (verticale et horizontale) on va pouvoir replacer un processus (comme un processus collectif d'innovation par exemple) dans un contexte riche. Mais tout ne fait pas sens dans ce contexte. Certains éléments sont plus prégnants que d'autres, sont subis et ou utilisés comme ressource dans le cours du processus. Nous nommons ces éléments prégnants tirés du contexte des **ingrédients**.

Pour en revenir à notre objet de recherche - le développement temporel d'un processus collectif d'innovation - nous savons désormais "ce qui change" : ce sont les ingrédients et leurs assemblages, plus ou moins couplés, plus ou moins encastres, pour reprendre les termes de Grossetti. Mais comment rendre compte de ces changements ? La notion de "moteur", empruntée à la littérature sur le changement, nous offre des outils décrivant des mécanismes génératifs des changements.

Les théories de processus collectifs d'innovation (SAR, MIRP, CK) abordées dans le chapitre 2 donnent diverses explications aux mécanismes responsables de l'évolution au cours du processus. Dans le tableau suivant, nous comparons ces principes de changement avec les archétypes de moteurs de processus définis par Van de Ven et Pool (1995).

Tableau 4: Les moteurs dans les théories de processus d'innovation (interprétation selon l'auteur)

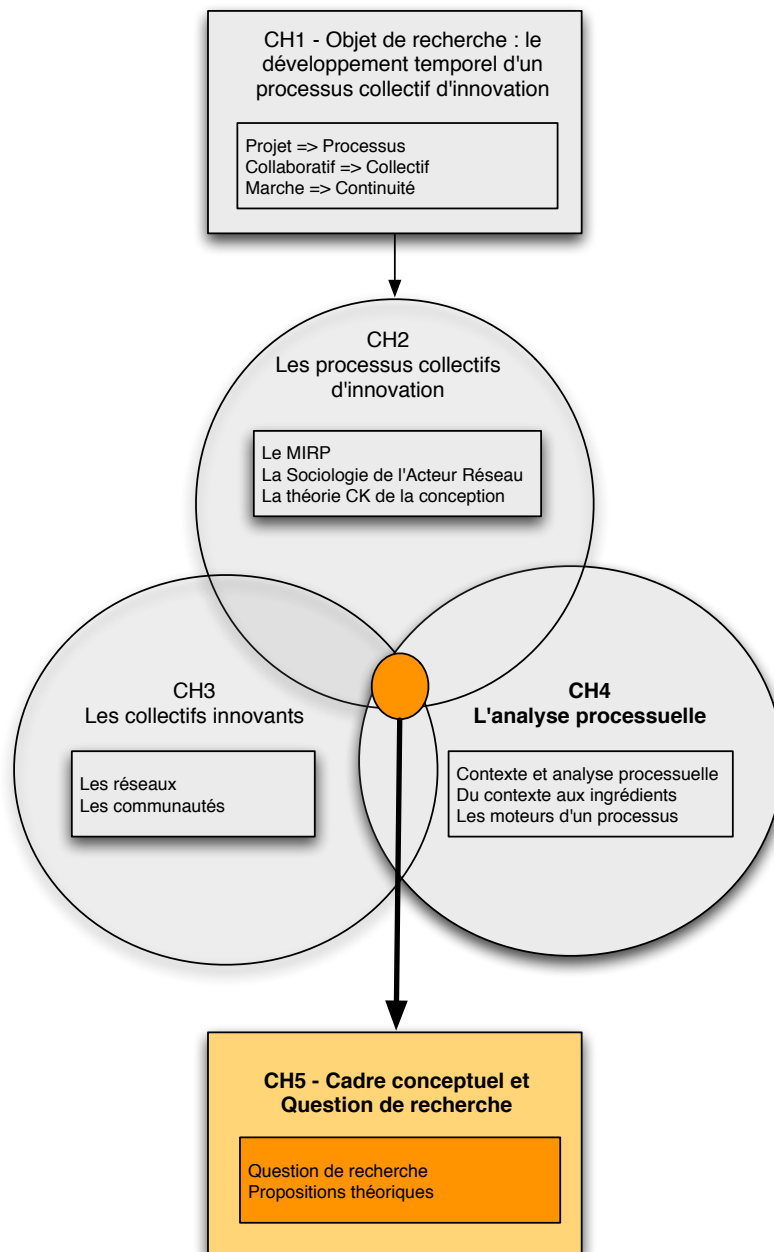
Théories	Principes génératifs du changement	Moteur(s) correspondant
MIRP	Le changement est enregistré (codage des événements) mais n'est pas explicité dans cette théorie. Le processus passe cependant par trois phases successives (initiation / développement / implémentation).	La réalisation d'un séquençage imminent, commun à tous les processus d'une même catégorie, émergeant du chaos et du foisonnement initial, peut être associé à un moteur de type " cycle de vie ".
SAR	Le changement est produit par des efforts de traduction et d'enrôlement. Les traductions réalisées sont souvent le fruit de controverses, ou des actants tentent de négocier, de "courber l'espace autour d'eux", de créer des visions du monde intégrant (par inscription) les visions des uns et des autres. Puis, des réseaux courts s'étendent, se structurent, s'allongent, permettant de reproduire ici et là les artefacts et les inscriptions.	La controverse, le fait d'opposer différentes visions de la réalité, agit comme un moteur dialectique sur le processus. Lorsque le réseau s'élargit, que la connaissance locale s'étend, se distribue et est acceptée par un nombre grandissant d'alliés, on peut voir un moteur évolutionniste en marche : un changement a été sélectionné puis est retenu par un ensemble plus large.
CK	Le changement est le fruit d'un processus collectif de conception. Ce processus est en partie dirigé : on vise à explorer un champs de conception, des questions de recherche sont créées, etc. La conception permet de guider la création des connaissances, et l'expansion des concepts tend à converger vers la réalisation d'artefacts.	Le processus de conception est guidé par des concepts nouveaux. Durant le processus, les concepts doivent parfois être revus, de nouveaux espaces de conception peuvent être nécessaires. L'existence de finalités (les concepts), même si elles peuvent être provisoires, nous montre qu'un moteur téléologique explique en partie le changement dans ce processus.

Selon la perspective théorique choisie, on peut voir des principes génératifs du changement différents s'appliquer. Il est donc possible d'utiliser les notions de moteurs pour rendre compte du développement temporel d'un processus d'innovation.

Nous voyons ici en quoi les concepts tirés des analyses de processus peuvent nous aider à mieux définir le développement temporel du processus collectif d'innovation. Le versant social du processus peut être décrit comme un assemblage d'ingrédients, qui sont sollicités dans le cours du processus. Cet assemblage change dans le temps, sous l'effet de divers principes génératifs. Les ingrédients sont plus ou moins couplés entre eux.

Il est donc temps de "reconstruire le puzzle", en rapprochant les trois piliers abordés dans les chapitres précédents.

Chapitre 5. Cadre conceptuel et question de recherche



Dans ce chapitre, nous allons reformuler notre question de départ afin de la positionner par rapport aux questions théoriques que nous venons d'aborder (section 1). Nous constatons que la question de départ peut-être reformulée en des termes issus de la triple influence théorique décrite dans les chapitres précédents. La question de recherche est alors la suivante :

"Comment expliquer la continuité du raisonnement de conception malgré les transformations de l'assemblage des ingrédients mobilisé au cours du processus collectif d'innovation ?"

Pour répondre à cette question, nous proposons le concept du véhicule. Ce concept sera expansé et enrichi par la suite, grâce à l'étude de cas MEMORY. Cependant, la thèse du véhicule se nourrit également de l'exploration théorique que nous venons de décrire. En particulier, elle s'appuie sur trois propositions théoriques que nous détaillons ici (section 2) :

- le véhicule est un assemblage d'ingrédients de conception (P1)
- il existe un couplage horizontal (ou temporel) des ingrédients du véhicule (P2)
- on peut rendre compte de l'évolution du véhicule grâce aux notions de moteurs (P3)

Section 5.1 Question de recherche

Les trois champs théoriques que nous venons d'explorer nous permettent de reformuler notre question de départ, de la replacer dans des questionnements issus de la littérature. Au début de notre réflexion nous posons la question suivante : "*qu'est-ce qui fait marcher un projet collaboratif d'innovation*".

Plus que le projet d'innovation, c'est le processus d'innovation qui nous intéresse ici. Dans un processus d'innovation, le projet n'est qu'une modalité d'organisation de l'activité. Un processus d'innovation peut exister avant ou après un projet, qui n'est alors qu'un moment particulier, un segment temporel dans un tel processus. Le concept à la base d'un processus d'innovation peut naître dans un laboratoire, au cours d'une recherche fondamentale. Il peut émerger dans l'esprit d'un entrepreneur. Il peut même venir de la demande d'un utilisateur, d'un client. C'est là que débute le processus, avant toute idée de projet. De même, le processus continuera souvent à l'issue d'un projet : un prototype peut ne pas être satisfaisant. Il faut l'améliorer, lancer de nouvelles investigations, monter pourquoi pas d'autres projets. Ainsi, questionner la continuité d'un projet d'innovation, c'est aussi se poser plus généralement la question de la continuité du processus d'innovation incluant ce projet.

Que nous apprend la littérature sur les processus d'innovation (chapitre 2) ? L'enseignement principal est qu'un processus d'innovation peut être vu de deux façons complémentaires : le processus a un versant cognitif et un versant social. Or, sur ces deux versants, que l'on utilise par exemple les théories CK de la conception ou la SAR, la continuité du processus d'innovation n'est pas linéaire.

Cognitivement, un processus d'innovation peut nécessiter l'enchaînement de plusieurs espaces de conception. A la fin d'un espace de conception, des concepts ont acquis un statut, des connaissances nouvelles ont été créées, de nouveaux concepts ont été énoncés. Pour ouvrir un nouvel espace de conception, pour pousser plus loin le raisonnement, pour en assurer la continuité, il faut prendre en compte les enseignements passés, désigner une nouvelle question de conception, émettre de nouveaux concepts. **Le processus ne va donc continuer que si ces opérations sont possibles** (ce que les auteurs nomment les "opérateurs d'extraction et de désignation").

Socialement, le processus d'innovation n'est pas non plus présenté par la SAR ou par le MIRP comme un processus linéaire. Pour la SAR, par exemple, il est qualifié de tourbillonnaire. Des réseaux courts grandissent, se solidifient. Ils peuvent aussi se dissocier (les boîtes noires s'ouvrent) et

le recrutement d'actants est toujours provisoire. La continuité sociale d'un processus d'innovation dépend donc de la faculté de certains actants à recruter d'autres actants, à solidifier leurs assemblages... Et à recommencer ce travail de traduction et de recrutement lorsque le réseau éclate (fin d'un projet, concurrence, échec de la recherche, etc.). Bref, socialement, un processus d'innovation peut s'arrêter, faute d'alliés, **parce qu'il est incapable de solidifier un réseau socio-technique**.

On comprend donc que la continuité d'un processus d'innovation est loin de n'être qu'une question cognitive : ce n'est pas la meilleure idée qui, par le simple pouvoir de son originalité ou de sa pertinence, va créer autour d'elle un engouement des actants, une adhésion sociale. La continuité cognitive du processus, la continuité du raisonnement, est fortement liée à la continuité sociale du processus : il faut que socialement, on puisse actionner des opérateurs de conception, il faut qu'un réseau socio-technique solide puisse se perpétuer. La continuité du processus d'innovation pose donc la question de la continuité du raisonnement (versant cognitif) dans un contexte social changeant.

La littérature que nous avons qualifiée d'analyse processuelle (chapitre 4) nous permet de mieux comprendre ce contexte social changeant. Un processus social, comme nous l'avons défini, est l'articulation d'ingrédients dans le temps. Les ingrédients, comme l'articulation de ces ingrédients, vont se modifier au cours du processus. Parfois, les ingrédients et leurs assemblages changent dans de telles proportions que le cheminement du processus est modifié. Dans ces conditions, le raisonnement en cours peut-il continuer ?

La question de recherche que nous proposons de traiter ici est donc la suivante :

"Comment expliquer la continuité du raisonnement de conception malgré les transformations de l'assemblage des ingrédients mobilisés au cours du processus collectif d'innovation ?"

- La question de la "marche" a été remplacé par celle de la continuité dans le temps (les questions de coordination, autre sens possible pour la marche, ne font pas partie de cette question).
- Le raisonnement de conception, qui est pour nous le versant cognitif du processus, nous sert d'indicateur du cheminement du processus. Si le raisonnement s'arrête, c'est que le processus ne fonctionne pas (cela peut être temporaire : le processus peut redémarrer après des semaines, des mois ou des années).

- L'assemblage des ingrédients nous permet de décrire le versant social du processus. Cet assemblage se transforme et évolue au cours du processus collectif d'innovation.

Section 5.2 Les propositions théoriques

5.2.1 *La thèse du véhicule*

Dans le monde des praticiens de l'innovation, on parle souvent de *porteurs de projet* pour désigner ces chercheurs ou ces entrepreneurs qui tentent de monter des projets ambitieux et innovants. Ce qu'ils portent, ce n'est pas seulement un raisonnement. C'est aussi une ambition, des moyens, des partenaires. Ils représentent souvent tout un ensemble d'entités, organisations, collègues. Au regard de la littérature que nous venons d'aborder, il semble abusif de faire porter des processus complexes d'innovation par un seul homme : que ce soit dans la SAR, ou dans la littérature sur les collectifs innovants, on voit bien que le processus est le fait d'un ensemble d'individus et d'objets.

Pourtant, l'idée du portage du processus nous semble intéressante, car elle pourrait en partie répondre à notre question de recherche : si il y a continuité du raisonnement, malgré l'évolution des ingrédients, c'est bel et bien que ce raisonnement est porté dans le temps. Si ce *porteur* ne peut pas être un individu seul, il pourrait être autre chose, un assemblage plus complexe. Nous défendons donc la thèse suivante :

La continuité du raisonnement de conception est assurée par un véhicule qui résiste à la transformation des ingrédients mobilisés au cours du processus d'innovation.

Pour étayer cette thèse, il va nous falloir préciser ce qu'est la matière de ce véhicule, comment il se transforme, comment il permet de perpétuer le raisonnement en cours. Pour ce faire, nous faisons, à partir de la littérature, des propositions théoriques. Ces propositions théoriques seront opérationnalisées dans l'étude de cas présentée dans la partie suivante.

5.2.2 *Première proposition théorique : le véhicule comme assemblage d'ingrédients de conception (P1)*

Les théories traitant des processus d'innovation nous montrent que le processus peut être abordé selon deux versants complémentaires : un versant cognitif et un versant social. Comme nous avons eu l'occasion de le montrer, ces deux aspects du processus sont intrinsèquement liés l'un à l'autre. L'ac-

tivité de conception est fondamentalement située et s'enracine dans un assemblage social. Inversement, l'activité de cognition produit des objets sociaux comme des liens entre chercheurs, des connaissances, des artefacts, des prototypes etc.

Cependant, la littérature sur les collectifs innovants nous montre le rôle central tenu par un collectif d'innovateurs tout au long du processus. Ce sont des individus, diversement liés entre eux, qui raisonnent tout au long du processus. Ils échangent des connaissances, ils utilisent en commun des installations, ils testent, ils produisent des documents, des échantillons. Ce collectif est donc au coeur de ce qui fait le versant social du processus.

Dans l'analyse processuelle, chaque élément mobilisé ou subi dans le cours d'un processus est nommé un ingrédient. Le versant social du processus est donc lui même un assemblage d'ingrédients, ingrédients subis et mobilisés dans le cours d'un raisonnement. Ainsi, à la croisée de ces trois influences théoriques, nous pouvons faire la proposition suivante :

P1 : Le raisonnement collectif s'appuie sur un assemblage d'ingrédients constitué par un collectif innovant et par les ingrédients mobilisés et subis par ce collectif.

5.2.3 Deuxième proposition théorique : le couplage horizontal (P2)

Selon l'analyse processuelle, un processus peut s'observer sur une échelle verticale et sur une échelle horizontale. La durée d'un processus, sa continuité, est donc à chercher sur l'échelle horizontale, celle où l'on repère l'encastrement et le découplage des ingrédients entre eux dans le temps. Un processus dure à un instant T+2 si certains ingrédients mobilisés en T+2 sont couplés à des ingrédients mobilisés en T+1. Sans ce couplage, on ne peut parler de processus. On est face à deux phénomènes indépendants dans le temps. Par exemple, dans mon processus de déplacement pour aller au travail, si ma voiture tombe en panne, je peux choisir de réorganiser mon processus pour prendre le bus. Quand je suis dans le bus, des ingrédients de la séquence précédente (déplacement en voiture) demeurent, et certains sont des ingrédients de mon processus en cours : j'ai mon costume de travail, mon ordinateur portable, mes clés de voiture, je suis peut-être un peu trop chargé pour prendre le bus, et pas assez couvert. Cela est un héritage du début du processus, basé sur la voiture. Nous restons dans un même processus, qui recycle des ingrédients du passé. Il y a un couplage horizontal entre les ingrédients mobilisés dans le bus, et ceux que j'utilisais lors de mon déplacement en voiture.

Il en va de même dans un processus de raisonnement collectif. La continuité repose sur la permanence, ou au moins la réutilisation ou le recyclage de certains ingrédients au cours du temps. Ainsi, si le raisonnement continue, c'est que des ingrédients du raisonnement en cours sont couplés au passé, à des étapes antérieures du raisonnement. On peut donc faire la proposition théorique suivante :

P2 : Il y a continuité du processus collectif de raisonnement s'il y a un couplage horizontal entre les ingrédients mobilisés dans le cours du processus.

5.2.4 Troisième proposition théorique : les moteurs du processus (P3)

Enfin, sous l'influence combinée de ces trois champs, à la jonction des collectifs, de l'innovation et des processus, on peut faire une proposition sur la logique temporelle d'un processus collectif d'innovation. Nous avons montré qu'un collectif mouvant et complexe était au cœur du processus d'innovation. Ce collectif mobilise et subit de nombreux ingrédients dans son activité de conception. Les ingrédients du processus sont ce collectif et les ingrédients mobilisés au cours de l'activité de conception. Or, cet assemblage d'ingrédients évolue au cours du processus, il peut changer graduellement, ou bien se modifier brusquement et nécessiter des réarrangements (des bifurcations). Pour rendre intelligible ces modifications, on peut emprunter à l'analyse processuelle le concept des moteurs de processus, considérés comme des principes génératifs de changement.

P3 : Au cours du processus, les ingrédients mobilisés pour la conception (et leurs assemblages) se modifient sous l'effet d'un ou de plusieurs moteurs.

Section 5.3 Conclusion

Nous souhaitons dans cette thèse répondre à la question de recherche suivante :

"Comment expliquer la continuité du raisonnement de conception malgré les transformations de l'assemblage des ingrédients mobilisé au cours du processus collectif d'innovation".

En répondant à cette question de recherche, nous aurons des éléments pour répondre de façon plus pratique à notre question de départ : savoir *ce qui fait marcher un projet collaboratif d'innovation*.

Pour répondre à cette question de recherche, nous proposons la thèse du véhicule, qui peut s'exprimer de la façon synthétique suivante :

"La continuité du raisonnement de conception est assurée par un véhicule qui résiste à la transformation des ingrédients mobilisés au cours du processus d'innovation."

Cette proposition a besoin d'être expansée et détaillée, afin de pouvoir être confrontée à la réalité. Nous faisons donc les propositions théoriques suivantes, qui sont déduites de la revue de littérature présentée dans cette partie :

Tableau 5: Propositions théoriques

P1, les ingrédients	<i>Le raisonnement collectif s'appuie sur un assemblage d'ingrédients constitué par un collectif innovant et par les ingrédients mobilisés et subis par ce collectif.</i>
P2, le couplage horizontal	<i>Il y a continuité du processus collectif de raisonnement s'il y a un couplage horizontal entre les ingrédients mobilisés dans le cours du processus.</i>
P3, les moteurs	<i>Au cours du processus, les ingrédients mobilisés pour la conception (et leurs assemblages) se modifient sous l'effet d'un ou de plusieurs moteurs.</i>

Cette thèse s'appuie à la fois sur les propositions théoriques que nous venons de présenter **et sur un travail d'exploration empirique que nous présentons dans la partie suivante**. Cette Thèse n'est donc pas directement induite des propositions théoriques. Au contraire, elle a été conçue après divers cycles de raisonnement pour comprendre la continuité d'un processus collectif singulier d'innovation, le processus MEMORY, que nous allons décrire dans les parties suivantes.

Deuxième partie

Une recherche exploratoire hybride

Notre recherche est celle d'un praticien jouissant d'un fort ancrage terrain, en particulier dans des consortia de R&D. Cette proximité avec la réalité influe sur notre questionnement, elle pèse sur notre méthode de recherche, sur le choix du terrain d'investigation : notre statut de chercheur acteur, qui donne une grande importance à l'exploration empirique, est donc central. Mais cette proximité avec la réalité pose également question : un acteur peut-il étudier scientifiquement un réel qu'il connaît trop intimement ? Peut-il s'en détacher, en faire un objet d'observation et de recherche ? Quelle est la place de l'exploration théorique par rapport à l'exploration empirique ? Comment l'une se nourrit-elle de l'autre ?

Dans cette partie, nous répondons à ces questions et décrivons notre démarche, notre propre raisonnement que nous pouvons qualifier d'exploration hybride (à la fois théorique et empirique). Dans le **chapitre 6**, nous abordons les questions d'épistémologie et de méthode générale qui sont liées à une telle recherche. Nous expliquons pourquoi notre démarche de connaissance est pragmatique et comment elle s'appuie sur une vision réaliste critique du monde. Nous expliquons également comment nous avons dû construire notre extériorité scientifique pour découvrir, ou re-découvrir un cas pratique, devenu le cas d'étude de notre thèse : le cas MEMORY. Cette démarche de connaissance nous permet d'ailleurs de rappeler le cas particulier du chercheur / acteur en Sciences de Gestion.

Dans le **chapitre 7**, nous décrivons dans le détail comment observations empiriques et propositions théoriques se sont nourries au cours de notre recherche. En particulier, le cas MEMORY, sa compréhension, sa description détaillée, ont nécessité d'opérationnaliser les notions d'ingrédients du processus, de décrire le développement temporel de MEMORY (sur son versant social comme son versant cognitif) et de repérer empiriquement des moteurs. Cela nous a obligé à résoudre un certain nombre de questions méthodologiques.

Deuxième Partie :

Une recherche Exploratoire hybride

Le concept du véhicule n'est apparu qu'après plusieurs mois d'exploration, après que diverses hypothèses sur la "marche des PCI" ont été réfutées. Ce concept a été abduit après plusieurs cycles de raisonnement, puis il a été affiné grâce à une mise en forme de notre matériel empirique. **La deuxième partie** de cette thèse est consacrée à présenter cette démarche de recherche.

Chapitre 6. Méthode et posture de recherche

Un praticien peut-il devenir un chercheur ? Peut on choisir comme objet de recherche sa propre pratique ? C'est la question qui est posée dans ce chapitre. Elle est essentielle à bien des égards. D'un point de vue épistémologique pour commencer : les connaissances créées dans une telle démarche, basée sur l'investigation, l'exploration, où le rapport au terrain est primordial, ont un statut particulier. Nous qualifions cette démarche de pragmatique. Elle repose sur une vision du réel tirée du réalisme critique (section 1).

Le cas MEMORY représente le fondement empirique de notre recherche (section 2). C'est en participant activement et durant trois ans aux travaux de MEMORY en tant qu'acteur / chercheur que nous avons pu comprendre de façon intime la problématique que nous traitons dans cette thèse.

Cependant, pour transformer ce terrain que nous connaissions de façon intime en véritable objet de recherche, nous avons dû construire notre extériorité par rapport à MEMORY, que MEMORY devienne un sujet d'étonnement (section 3).

La thèse du véhicule qui est présentée dans cette thèse est le résultat d'une investigation. Dans cette section (section 4) nous décrivons l'enquête qui, par abductions successives, nous a conduit à proposer le concept du véhicule, puis à expander ce concept pour en faire une théorie intermédiaire.

Bien entendu, sur un plan opérationnel, cette recherche a nécessité de mettre en oeuvre divers dispositifs d'observation. D'une part, grâce à une position centrale dans le processus MEMORY, nous avons pu constituer un corpus de documents secondaires sur plusieurs années : méls, livrables, propositions de projets, contrats, nous fournissent un grand nombre de données sur MEMORY de 2002 à 2006. Ce corpus a été complété par des entretiens ciblés avec des acteurs clefs du processus et des notes prises sur le terrain, dans une démarche ethnographique.

Section 6.1 Une démarche de connaissance pragmatique

Nous précisons ici dans quelle **Philosophie de la Science** nous nous situons. Après avoir rappelé qu'il existe de nombreux paradigmes pour les Sciences Humaines et Sociales, paradigmes souvent présentés comme des postures incompatibles, nous présentons des cadres permettant de dépasser ces oppositions, cadres desquels nous nous réclamons. Notre posture est ainsi basée sur une ontologie réaliste et une épistémologie pragmatique.

6.1.1 Les paradigmes multiples de la Philosophie des Sciences Sociales

Il y a une philosophie de la science derrière toute forme de recherche, c'est à dire une façon de considérer la nature de la réalité (une ontologie) et une méthode pour créer des connaissances (une épistémologie). Le plus souvent, une philosophie de la science est basée sur un couple ontologie / épistémologie et va donc fournir des critères différents pour décider de ce qui est, ou non, une connaissance valide, de ce qui est, ou non, une bonne méthode scientifique, de ce qui est connaissable ou de ce qui ne l'est pas. **Bref, une philosophie de la science va fournir un paradigme pour le chercheur.**

La difficulté pour le chercheur en sciences humaines, comme le soulignent Perret et Séville (Perret and Séville, 2003), c'est la multiplicité de ces paradigmes. Ces auteurs citent par exemple trois grands paradigmes souvent utilisés dans le domaine du management : le positivisme, l'interprétativisme et le constructivisme. Bechara et Van de Ven (Bechara and Van de Ven, 2007) distinguent quant à eux quatre paradigmes possibles : le positivisme, le relativisme (qui recouvre en partie ce que l'on nomme en France le constructivisme), le pragmatisme et le réalisme, tout en constatant qu'au sein même de ces paradigmes **existe un foisonnement des courants et des débats qui font la diversité, la richesse – et la complexité - de la philosophie de la science.**

6.1.2 Incompatibilité des paradigmes constructivistes et positivistes ?

Etant donnée cette diversité des philosophies de la science, il peut y avoir des effets négatifs à s'attacher à un paradigme « pur » et à y adhérer sans restriction. L'un de ces effets négatifs étant de perdre la possibilité d'échanger et de débattre avec d'autres scientifiques, d'autres disciplines,

d'autres manières de pratiquer la recherche, sous prétexte que **le paradigme des uns serait incommensurable à celui des autres**. Si l'on s'intéresse, par exemple, à l'ontologie (l'idée que l'on a de la nature des choses) du positivisme et qu'on la compare à celle du constructivisme, la différence semble en effet fondamentale. Dans le positivisme classique, issu des lumières, le monde existe hors de celui qui l'observe, il est fait de nécessités, est régi par des lois qu'il est possible, pour un observateur extérieur, de découvrir. En revanche, dans une vision constructiviste, le monde est une construction permanente, il est fait, non pas de nécessités et de lois, mais de possibilités. De plus, le monde n'existe que par les représentations que les acteurs sociaux construisent de lui. L'objet « monde » est inextricablement lié au « sujet », chercheur, qui vit ce monde, l'invente, tente de le construire. Il y a donc monde objectif, empirique (celui des positivistes) face à un monde subjectif et construit (celui des constructivistes) et l'on pourra se demander, en effet, si des tenants exclusifs de l'une ou de l'autre vision parlent (et vivent) dans le même monde !

6.1.3 *Dépasser les oppositions paradigmatiques*

De plus en plus de chercheurs en sciences sociales se détachent des positions trop radicales du positivisme et du constructivisme, et tentent d'avoir une épistémologie plus assouplie, en adoptant des **visions dites « aménagées »**.

Par exemple, peu de positivistes contemporains considèrent que les théories scientifiques ne sont que le reflet du monde tel qu'il est, tel qu'il existe en soit et hors du regard des acteurs sociaux qui font ce monde. Le positivisme aménagé prend donc aussi en compte le monde tel que les individus, les acteurs sociaux se le représentent :

« [...] Nous pensons que les phénomènes sociaux existent non seulement dans les esprits mais aussi dans le monde réel et qu'on peut découvrir entre eux quelques relations légitimes raisonnablement stables [...] ces perceptions sont donc cruciales lorsqu'il s'agit de comprendre pourquoi les comportements sociaux prennent telle ou telle forme [...]. »

(Huberman et Miles cité par Perret et Séville 2003).

Il y a dans une telle déclaration l'acceptation que, si le monde réel existe (ontologie positiviste), le monde est aussi une représentation construite par les acteurs qui vivent ce monde, que cette représentation est digne d'intérêt et source de connaissance (épistémologie en partie interprétativiste).

A l'opposé, les recherches purement « constructivistes », posent la question de la « généralisation » des connaissances produites : *« Dans le constructivisme, chaque acteur construit sa connaissance,*

ce qui tend vers une définition acceptable pour la pédagogie et l'action (praxéologie), mais il ne résout pas la question scientifique par excellence de la généralisation ou de la transposition. » (Paturel and Savall, 1999). Autrement dit, une connaissance construite localement, avec des acteurs, dans un contexte donné, peut-elle s'appliquer ailleurs, à d'autres phénomènes comparables ? Ne peut-on pas, dans une autre séquence de recherche, tenter de voir si la représentation construite ne correspond pas à des régularités observables ailleurs, et passer ainsi à une épistémologie positiviste ?

Pour des auteurs comme G. Koenig (Koenig), une recherche peut tout à fait se fonder sur divers paradigmes, des « moments » constructivistes pouvant alors suivre des « moments » positivistes, en fonction de l'évolution du questionnement et des perspectives du chercheur. Selon Charreire (Charreire, 2003), ce sera en particulier le cas lors de démarches de recherches longues de type longitudinales, **le chercheur effectuant alors des oscillations entre paradigmes**, selon les questions qu'il se pose, les contingences du terrain, l'évolution de sa recherche.

Notons enfin qu'il existe, dans la littérature anglo-saxonne, des traditions de philosophie des sciences qui sont, selon nous, peu évoquées explicitement dans les recherches en sciences sociales et en gestion en France. Ces traditions, à savoir le courant « **pragmatique** », dont une partie des préceptes se retrouve dans la Philosophie de la Science dite du « **réalisme critique** » ont justement été développées afin de **dépasser cette opposition entre Positivisme et Constructivisme** (Bechara & Vand de Ven, 2007).

Le réalisme critique (terme introduit par le philosophe Roy Bhaskar), par exemple, assume en partie les visions ontologiques des constructivistes, en acceptant la faillibilité de notre connaissance de la réalité : notre possibilité de comprendre le réel ne repose que sur des concepts socialement construits, des théories, du langage, des structures cognitives prédéfinies qui vont limiter notre perception du monde. Le « monde réel » est ainsi difficilement connaissable en soi. Pourtant, le réalisme postule l'existence de ce monde réel (emprunt au positivisme), hors de nos efforts pour le comprendre, seule condition permettant de rendre possible les recherches empiriques, l'observation du monde, la collecte de données. Ce principe de réalisme (l'existence d'une réalité indépendante) est un présupposé aux recherches et non un résultat de ces recherches. Ainsi, **si nos recherches ne peuvent pas révéler le monde tel qu'il est, elles sont des tentatives pour construire une représentation qui va capturer certains aspects de la réalité**. La réalité du réalisme critique a une « profondeur ». La recherche plonge dans cette réalité stratifiée, sachant qu'il lui est impossible d'en

atteindre le fond, du fait de nos limitations cognitives. Dans le paradigme réaliste, on pourra dire, par exemple, que *faire des conjectures sur l'existence du Bozon de Higgs est possible si et seulement si... le monde est tel que le Bozons de Higgs y soit possible.*

Cette acceptation d'un monde réel mais en partie inconnaissable est commune avec le courant américain qualifié de « pragmatisme » introduit à la fin du XIX^{ème} siècle par Charles Sanders Pierce. La base du pragmatisme est que l'action n'est pas dissociable des idées. Dans ce cas, la force d'une idée, d'une théorie, sa validité, est intimement liée à la façon dont elle est utilisée dans l'action (y compris dans l'action scientifique, dans l'activité consistant à comprendre le monde). L'apport du pragmatisme est particulièrement intéressant, parce qu'il introduit la notion de « succès » au sens large comme critère pour dire si une proposition est vraie ou fausse : une théorie est vraie si elle est utile, si elle fonctionne, si elle permet la prédiction ou le contrôle d'un phénomène. **La validité des théories ne dépend donc pas seulement ici du mode de raisonnement utilisé** (l'hypothético-déductif des positivistes ou l'abductif des constructivistes), **mais de sa faculté à être utilisée concrètement dans l'action.** Le mode de production des connaissances, par la découverte de lois, l'interprétation des discours ou par la construction de connaissances, n'est donc pas ici un critère de vérité définitif, comme c'est le cas dans les paradigmes positivistes ou constructivistes purs.

On pourrait faire l'hypothèse, que nous n'allons pas tenter ici de vérifier, que nombre de recherches se réclamant de positions aménagées ou de postures oscillantes (voir plus haut) pourraient très bien se réclamer des paradigmes réalistes critiques et / ou pragmatiques : elles considèrent que le réel existe indépendamment de nous, mais que notre capacité à le connaître est limitée par nos structures cognitives, elles acceptent que ce monde mental, intermédiaire, celui de nos représentations, est un monde socialement construit, tout en continuant à prêter un intérêt pour les expérimentations et les conjectures sur le réel (ce qui correspond à l'ontologie du réalisme critique). Eventuellement (cas des démarches oscillantes à la Koenig), elles acceptent que les connaissances soient créées selon divers modes de raisonnement complémentaires, en fonction des moments, des contingences, et pourvu que les connaissances ainsi produites soient utiles pour la démarche du chercheur (ce qui correspond à une épistémologie pragmatique).

Notre propre recherche correspond à un tel paradigme : le phénomène que nous tentons de comprendre (le processus collectif d'innovation) se déploie dans un monde changeant, complexe, multi-niveaux, « stratifié », un monde ayant une profondeur, mais néanmoins un monde d'objets, d'artefacts, d'individus réels qui existent sans nous. Malgré nos limitations cognitives, il nous est possible

de comprendre en partie ce monde, soit en tentant d'en construire des représentations, à l'aide de ceux qui vivent aussi ce monde, soit en en découvrant des caractéristiques, des régularités, en y testant des hypothèses, le mode de raisonnement n'étant pas pour nous le seul critère de vérité.

❑ **Notre démarche scientifique est dans un paradigme pragmatique, pour ce qui est de l'épistémologie (plusieurs façons de créer des connaissances sont acceptables) et une ontologie conforme à celle du réalisme critique (nous postulons qu'un monde réel existe, partiellement connaissable)**

Section 6.2 L'ancrage terrain de notre projet de recherche

6.2.1 Généalogie du projet de recherche

La thèse que nous rédigeons aujourd'hui est nourrie par un processus de connaissance plus long que ces quatre dernières années de doctorat. Notre intérêt pour l'innovation collaborative est lié à notre pratique professionnelle antérieure : de 2001 à 2005, nous avons été consultant en management de l'innovation à plein temps au sein d'un petit cabinet de conseil de la Région Provence Alpes Côte d'Azur (PACA). Durant ces années, nous avons donc accompagné des industriels et des chercheurs dans leurs projets innovants : trouver des partenaires, répondre à des appels d'offre, obtenir des financements, gérer des projets collaboratifs, etc. Lorsqu'en 2005 nous nous lançons dans l'aventure de la thèse, nous avons un objectif : nous souhaitons acquérir de nouvelles connaissances à propos de notre propre pratique professionnelle et de celle de nos collègues et clients, nous souhaitons avoir une idée plus formelle, plus explicite de la pratique collaborative de l'innovation. Trop souvent, en effet, nous avons eu l'impression d'improviser, d'agir souvent dans l'urgence face aux situations, de nous appuyer principalement sur des connaissances tacites, sur de «l'expérience », sans méthodologie spécifique pour ce genre de projets et de tâches collectives.

Cette généalogie nous fournit donc deux clés d'entrées pour notre projet de recherche :

- un premier questionnement de recherche (comment fonctionnent les *projets* collaboratifs d'innovation) issu du terrain, correspondant à une problématique managériale ancrée dans une réalité et une pratique professionnelle. Cette question initiale, comme nous l'avons évoqué dans la partie précédente, ayant évolué par la suite vers un questionnement sur le *développement temporel du processus collectif d'innovation*.
- une orientation méthodologique vers une *recherche terrain*. En effet, du fait de notre passé de praticien, nous pensions pouvoir bénéficier d'un accès privilégié à des terrains d'investigation, et notre objectif était de profiter de cet ancrage pour mener une recherche basée sur une forte intimité avec une réalité parfois difficile d'accès.

6.2.2 Le choix d'un cas empirique : MEMORY

a) Le consortium MEMORY

Le projet MEMORY est mené par consortium qui regroupe neuf organisations réparties dans quatre pays européens. Ce consortium a répondu à un appel d'offre de la Commission Européenne publié lors du Sixième Plan Cadre de Recherche et Développement (PCRD). Le projet a ainsi reçu une subvention de 3,2 Millions d'Euros pour mener un projet Collaboratif d'Innovation de trois ans à partir de Septembre 2005. Les partenaires de ce projet sont les suivants :

Tableau 6: Les partenaires du projet MEMORY en Septembre 2005

Partenaire	Pays
LABO	France
CENTRE SCIENTIFIQUE	France
INSTITUTE	Allemagne
AUSTRIAN	Autriche
the University of ONYX	Royaume-Uni
STARTER	France
SCANNEX Europe Ltd	Royaume-Uni
UNIVERSITE DES SCIENCES	France
SPARKS INNOVATION	France

Le projet MEMORY a comme objectif de produire des mémoires informatiques d'un nouveau type, les eMRAM. Pour de nombreux spécialistes de l'informatique les MRAM représentent, en 2001, la technologie candidate pour toutes les mémoires du futur, puisqu'elles associent les caractéristiques des deux types de mémoires qui coexistent dans la plupart des dispositifs électroniques actuels (téléphones, ordinateurs, etc.), à savoir :

- les MRAM sont des mémoires non volatiles et de faible consommation, comme les disques durs ou les mémoires Flash. Hors tension, les informations restent écrites sur le support.
- les MRAM sont aussi des mémoires rapides et denses, comme les mémoires vives, et peuvent être écrites et lues à des fréquences élevées

Nous aurons l'occasion de préciser les caractéristiques des mémoires visées par MEMORY dans le chapitre suivant. Retenons cependant que MEMORY est un projet ambitieux, européen, regroupant des équipes de chercheurs et d'industriels issus d'organisations très réputées.

b) Raisons de ce choix

Selon Yin (**Yin, 2002**) une étude de cas basée sur un cas unique peut se justifier de différentes manières :

- (1) le cas en question représente une situation critique pour tester certaines théories,
- (2) le cas représente un phénomène rare
- (3) ou encore, le chercheur a une opportunité rare d'accéder à l'observation d'un phénomène difficile d'accès

Les projets collaboratifs européens ne sont pas rares : le PCRD finance plusieurs centaines de consortia d'innovation chaque année. En revanche, la situation d'innovation collective répartie, comme nous l'avons vu dans la partie précédente, constitue une situation critique, qui met en tension les théories de la gestion de projet, ou celles des processus d'innovation et de conception. De plus, compte tenu de la nature souvent confidentielle de ces projets (ils travaillent sur des innovations pouvant avoir des retombées importantes à terme) et de l'existence quasi systématique d'accords de non divulgation entre les partenaires, il est très difficile pour un chercheur en sciences sociales d'accéder à de tels terrains. D'ailleurs, à part quelques exceptions (Browning et al., 1995 par exemple) nous avons pu constater lors de notre exploration théorique que les études empiriques sur des consortia de R&D étaient rares.

Le projet MEMORY correspond donc aux cas (1) et (3) évoqués par Yin et justifie pleinement que l'on se penche spécifiquement et uniquement sur lui dans une logique d'exploration.

6.2.3 Recherche terrain et accès au terrain

La réussite d'une recherche terrain est liée à l'accès au terrain que le chercheur va parvenir à négocier, qui va lui permettre d'accéder à des données plus ou moins rares, précises et riches. Les chercheurs spécialisés dans les recherches terrain insistent tous sur l'importance de savoir tisser des liens avec un terrain, d'y avoir des relais, d'entretenir des relations de confiance avec des référents dans une organisation, d'en comprendre les codes, le fonctionnement. Michel Berry (Berry, 2000) par exemple, parle du moment de "socialisation" vécu par le chercheur terrain, ce moment où il devient quelqu'un pour les individus du terrain avec qui il partage un quotidien. Berry (Berry, 1995)

précise même que ce premier temps d'une recherche terrain est un processus, qu'il y a un chemin important à parcourir entre le moment où, par exemple, une convention de recherche est formellement signée entre un chercheur et un manager dans une entreprise, et le moment où ce chercheur peut réellement accéder à certains documents, à certaines réunions. Il y a une négociation délicate à mener pour que le chercheur puisse enfin accéder à des observables pertinents. Bruni (Bruni, 2006:n@gement, 9 , 129-44) insiste même sur l'importance de ce moment de négociation comme étant un moment privilégié d'observation, puisqu'il est l'occasion pour le chercheur de comprendre certaines réticences, certains blocages, certains aspects de la réalité qu'il souhaite observer.

Il se trouve que, en tant que praticien, nous côtoyons les promoteurs du projet MEMORY depuis plusieurs années. Notre premier contact avec Hector, dirigeant de STARTER, l'un des principaux porteurs du projet, remonte à Mai 2003, date à laquelle STARTER signe avec SPARKS Innovation, notre employeur de l'époque, un contrat d'assistance pour le montage d'un partenariat technologique. En Septembre 2005, alors que le projet MEMORY commence officiellement, cela fait déjà deux ans que nous rencontrons très régulièrement Hector et ses partenaires. Nous l'avons aidé à trouver des partenaires, à rédiger un accord de partenariat, à répondre à l'appel d'offre de la Commission Européenne, et à négocier avec la CE le contrat de recherche financé, et avons même animé des réunions de consortium entre les futurs membres du projet. Nous connaissons donc personnellement, dès le début de ce ce projet de recherche, l'ensemble des chefs de projet de ce consortium et avons une connaissance intime du contexte de ce projet. On peut d'ailleurs penser que l'une des difficultés pour négocier l'accès à un terrain de ce type est la nature pluri organisationnelle d'un consortium de R&D : il faut négocier l'accès au terrain non pas avec une organisation, mais avec plusieurs, ceci pouvant expliquer la rareté des études empiriques de ce phénomène.

Nous sommes donc dans une situation particulière pour une recherche terrain : **la phase de socialisation, de négociation d'accès aux données est en grande partie d'ores et déjà réalisée.** Mais, cette forte intimité pose d'autres problèmes que nous évoquons ci-dessous.

6.2.4 Le statut particulier d'acteur / chercheur

Notre position initiale, au début de cette recherche, est une position opposée à celle d'un chercheur souhaitant faire une recherche terrain. Nous sommes au contraire un Acteur, un praticien, qui souhaite faire une recherche terrain. Le problème qui se pose n'est donc pas celui de "l'entrée" dans le terrain, mais celui de la "mise à distance" du terrain. Nous ne cherchons pas à devenir un "insider"

du phénomène (nous le somme déjà), mais au contraire, à en devenir en partie un observateur extérieur, capable d'avoir une pensée réflexive sur l'action en cours.

Rappelons en préambule, à la suite de Hatchuel (Hatchuel, 2000) ou de Garel (Garel, 2003), qu'une telle posture n'était pas rare aux origines des Sciences de Gestion. Fayol et Taylor, que l'on peut considérer comme les pères des Sciences de Gestion, étaient aussi des praticiens du début du XX^{ème} siècle, qui ont mené une réflexion théorique à partir de l'observation de leurs propres pratiques managériales.

Depuis Fayol et Taylor, de nombreuses réflexions épistémologiques et méthodologiques se sont développées pour que les *Sciences* de Gestion soient intimement liées aux *Pratiques* de Gestion. C'est le sens par exemple des nombreuses pratiques intervenantes de recherche. On pourrait citer pour la France les recherches cliniques (Berry, 1995), les recherches ingénieriques (Chanal et al., 1997) ou encore la recherche intervention (David, 2000), où un chercheur participe activement à l'activité, co-conçoit avec les acteurs des dispositifs de gestion, dans le but de mieux comprendre l'activité collective à laquelle il participe, mais aussi dans le but de fabriquer des connaissances actionnables et utilisables sur le terrain.

D'autres traditions, issues de la sociologie ou de l'ethnologie, ont aussi mené des réflexions importantes sur le lien Acteur / Chercheur, sur l'importance de ne pas "*travailler sur*" mais "*travailler avec*" les acteurs (Macpherson et al., 2004), pour reprendre une proposition méthodologique de "l'action-research" anglo-saxonne. Notons aussi que, pour les tenants de ce courant, le chercheur n'est pas le seul à pouvoir mener une réflexion sur la pratique : **le praticien, lui même, en ayant une posture réflexive sur son activité**, peut contribuer à expliciter des pans tacites de sa pratique, en devenant alors un "reflective practitioner" (Schon, 1983).

La situation de l'acteur réflexif, ou de ce que Lallé (Lalle, 2004) nomme un "chercheur-acteur" se distingue pourtant de la posture du chercheur intervenant ou du "chercheur terrain" sur un point essentiel : il lui faut **construire une extériorité par rapport à son terrain** (ibid). La négociation de l'accès, la socialisation avec le terrain est son point de départ. De là, il peut accéder à la réalité d'une pratique de l'intérieur. Il connaît les codes de son métier, de sa profession. Son réseau social lui permet d'accéder à des ressources rares, il entretient souvent des liens de confiance avec ses collègues, pairs, clients... Mais dispose-t-il du recul nécessaire, de la mise à distance indispensable pour que ce terrain, qui est son quotidien, devienne un *Objet* de recherche ?

Section 6.3 Construction d'une extériorité

Afin de construire cette extériorité, et donc d'objectiver notre terrain, d'en faire un objet d'étonnement, de questionnement puis d'étude, il nous a fallu construire peu à peu une position extérieure à MEMORY, sortir de notre position de simple praticien. Cette extériorité a pu se construire sur les trois piliers suivants : l'ancrage académique, l'exploration théorique et la mise en place d'un dispositif de collecte de données, points que nous allons détailler par la suite.

6.3.1 *L'ancrage académique*

L'ancrage dans un Laboratoire de Recherche, en l'occurrence le Laboratoire d'Economie et de Sociologie du Travail (LEST) a bien entendu été un facteur décisif pour acquérir le recul nécessaire par rapport à notre statut de praticien. Participer à la vie d'un laboratoire tel que le LEST, c'est avoir la possibilité de devenir aussi un apprenti chercheur, et donc d'y côtoyer d'autres doctorants, des chercheurs expérimentés, d'être en rapport avec toute l'infra-structure administrative de soutien à la recherche (en particulier les services de documentation scientifique). C'est aussi multiplier les occasions de soumettre son travail au regard critique d'autres scientifiques, d'en valider régulièrement la progression, d'avoir des validations (positives ou négatives) sur l'avancée de notre processus de recherche. Nous avons ainsi pu présenter divers rapports d'avancement de notre recherche dans le cadre des séminaires organisés par le LEST, comme par exemple le séminaire ECI (consacré à l'étude des processus en Sciences Sociales) auquel nous avons pu participer très régulièrement durant ces trois années de doctorat. Il est évident que notre réflexion sur le *processus* d'innovation n'aurait pas été possible si nous n'étions pas devenu un "insider" de ce groupe académique de travail.

Notre ancrage académique s'est aussi renforcé en s'étendant au delà des frontières même du LEST. D'abord grâce à l'organisation de deux séminaires doctoraux, obligatoires dans notre laboratoire, qui ont été l'occasion d'inviter des chercheurs extérieurs (Benoît Weil, Di Ruzza) à commenter et discuter nos travaux. Nous avons aussi pu présenter l'avancée de notre recherche et la soumettre à la controverse du milieu académique, en participant à diverses conférences où nous avons présenté des papiers basés sur nos travaux en cours : le séminaire doctoral de l'AIMS en 2006, ou la Conférence du PESOR sur les Pôles de Compétitivité en 2007, ont été des moments décisifs dans notre processus. Rétrospectivement, nous constatons que ce sont autant les critiques que les encourage-

ments reçus en ces occasions, lors de la révision de nos articles ou lors de la présentation de nos papiers, qui nous ont permis de faire avancer notre réflexion, de prendre du recul sur notre objet de recherche, vers lequel nous revenions le plus souvent avec de nouvelles questions, de nouvelles hypothèses, de nouvelles lectures. C'est ainsi qu'en 2006 par exemple, Benoit Weil nous déclarait : "*ce que vous décrivez-là est intéressant, mais il me semble que vous essayer d'attraper ce phénomène avec des gants de boxe*". Derrière son humour, c'est la pertinence de cette remarque qui nous a poussé à nous construire un cadre théorique d'analyse robuste pour dépasser l'analyse purement descriptive de MEMORY, en nous plongeant, par exemple, dans la théorie CK de la Conception.

Ceci nous permet d'introduire le deuxième pilier de la construction d'une extériorité par rapport au terrain : l'exploration théorique.

6.3.2 L'exploration théorique

Nous avons mené pendant 18 mois une recherche suivant une démarche dite d'exploration hybride (Charreire and Durieux, 2003). "L'hybridation" en question est celle qui associe une exploration théorique, basée sur la littérature, à une exploration empirique, basée sur l'exploration d'un terrain selon une démarche de recherche qualitative. Nous décrivons ci-dessous les caractéristiques de cette exploration, faite d'allers-retours constants entre théorie et observations empiriques.

Rappelons que la connaissance de l'Etat de l'Art n'est pas toujours un pré-requis absolu dans la recherche en sciences sociales, en particulier dans les recherches terrain. Par exemple, les tenants des méthodes dites des "Théories Enracinées" (Strauss et Corbin) insistent régulièrement sur l'importance de ne pas avoir de schémas préconçus ou de théories par défaut lorsque l'on aborde un terrain. Bien entendu, cette "Tabula Rasa" du chercheur n'est que théorique : chacun découvre un terrain avec son propre passé, ses connaissances, ses *a priori*, ses préférences méthodologiques. Cette recommandation doit être prise plutôt comme une injonction à garder ouvertes le plus longtemps possible un certain nombre d'hypothèses, afin d'aborder le terrain dans toute sa richesse et son ambiguïté, de ne pas y plaquer une réalité mentale, des concepts tous prêts, qui nous feraient passer à côté de certains aspects pertinents de la réalité.

Le Chercheur/Acteur, lui, n'est pas dans cette situation : le plus souvent, il ne découvre pas le terrain au début de sa recherche. Au contraire, il le connaît souvent de façon intime depuis longtemps avant de l'aborder sous un angle différent, dans le cadre d'un projet de recherche. Il n'a donc pas ce privilège de "l'oeil neuf", celui du scientifique qui découvre une situation extérieure et nouvelle pour lui. D'une certaine façon, **il n'est plus "étonné" par le monde qui l'entoure**. Il en a intégré

les contradictions, qu'il considère comme des propriétés de son environnement, des difficultés connues, inhérentes à son métier. Pour renouveler son regard sur ce qui l'entoure et retrouver une faculté à s'étonner de ce qu'il connaît, la découverte de cadres théoriques nouveaux est souvent nécessaire. C'est donc là le premier rôle des cadres théoriques pour le Chercheur / Acteur : parvenir à renouveler son cadre d'analyse, ses concepts, lui permettre d'avoir un nouveau regard sur sa pratique.

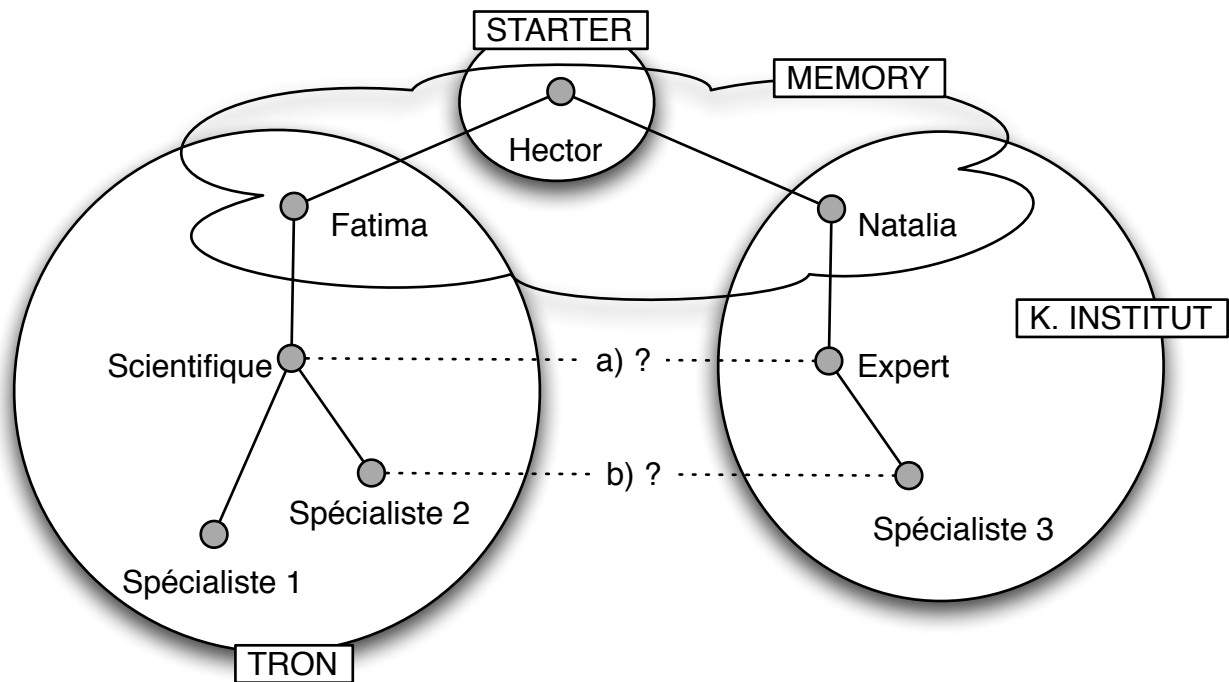
Pour donner un exemple de ce rôle des cadres théoriques dans la construction d'une extériorité intellectuelle du Chercheur / Acteur par rapport à son terrain, donnons un exemple puisé de notre propre exploration de MEMORY.

Nous sommes en Janvier 2006, et nous discutons avec Hector des difficultés qu'il a rencontré pour mettre au point le *Process Flow*, un document devant décrire dans le détail toutes les étapes de fabrication par lesquelles les plaquettes de silicium devront passer afin d'être produites selon les spécifications du projet. Ce *Process Flow* est d'autant plus nécessaire que les étapes de fabrication ne sont pas réalisées en un seul et même endroit, mais réparties entre plusieurs partenaires du projet. Hector a passé des mois à interagir avec les différents chefs de projet avant de mettre au point ce document et il m'explique ses difficultés (extrait d'un entretien enregistré avec Hector le 27 Janvier 2006) :

"Dans le projet on n'a pas les spécialistes de chaque domaine. On a quelqu'un qui parle pour les spécialistes. Par exemple TRON, pour le dépôt de couches minces, c'est pas la personne qui impose le dépôt de couche qui nous dit ce qu'il faudra faire. C'est la personne qui intervient dans le projet qui nous dit cela pour quelqu'un d'autre. On a plein de couches intermédiaires qui sont les responsables de projet, qui brouillent un peu le message et ont une compréhension partielle, et en plus, moi même je brouille à mon tour. C'est assez compliqué."

Pour mieux comprendre ce que Hector nous explique, nous décidons de faire avec lui, sur papier libre, un sociogramme des individus impliqués dans la rédaction de ce Process Flow, en ciblant sur le problème qu'il évoque ici. Nous mobilisons donc **les théories relatives aux réseaux sociaux**, ce qui va nous donner une image nouvelle pour nous du problème exprimé par Hector.

Schéma 14: Sociogramme du problème de communication pour réaliser le Process Flow de MEMORY



Ce sociogramme nous montre que la difficulté rencontrée par Hector est en partie liée à la structure sociale du projet MEMORY. Les personnes qui interagissent dans ce projet sont les chefs de projets de chaque organisation (Il sont en haut du schéma dans un même cercle : Fatima, Natalia et Hector). Mais les personnes qui vont intervenir dans le projet (Scientifique de TRON, Spécialistes 1 et 2 d'un côté, et Expert et Spécialiste 3 de l'autre), ne sont pas directement connectés entre eux. Les scientifiques et ingénieurs de TRON n'interagissent pas directement avec ceux du K. INSTITUT (segments a) et b) sont en pointillés et ne correspondent pas à un lien social). La difficulté d'Hector, c'est qu'il essaie de rendre compatibles les besoins du Spécialiste 1 avec ceux du Spécialiste 3, ces deux spécialiste étant séparés, dans le socio-gramme du projet, par au moins 5 liens interpersonnels. On comprend mieux qu'un tel travail prenne du temps, et que les informations transmises via autant de canaux finissent par être filtrées et déformées...

Grâce à ce cadre théorique, nous avons un nouveau regard sur MEMORY. Nous commençons à nous intéresser à l'ensemble des individus qui vont participer au projet, aux connections qui pourraient exister entre les uns et les autres, à l'existence possible de trous structuraux (représentés plus haut par le segment "a") qui pourraient contraindre la coordination de ce consortium par exemple. Nous réalisons à quel point la "structure sociale" du projet MEMORY est un élément contingent qui

va agir continuellement sur les résultats du projet. Ceci est un exemple de l'apport théorique sur le renouvellement de la vision que le chercheur / acteur peut avoir de son terrain.

Le dialogue entre exploration empirique et observation théorique a été constant au cours de cette recherche. Notons que ce dialogue a fonctionné dans les deux sens, pouvant aussi, contrairement à l'exemple donné ci-dessus, aller du terrain vers la littérature. Par exemple, nous nous sommes penchés sur la thématique des "communautés" après qu'Hector nous aie fait remarquer que "*la communauté du magnétisme est une communauté à part. Habituellement, on a peu de lien avec le silicium*". Qu'entendait-il par "communauté du magnétisme" ? Était-ce un monde à part, étanche aux autres ? C'est pour tenter d'éclaircir cela que nous avons alors exploré la littérature portant sur les communautés de pratique et les communautés épistémiques et leur rapport à l'innovation.

La première partie consacrée à la revue de l'Etat de l'Art est une tentative pour mettre en forme et organiser la littérature que nous avons utilisé lors de cette exploration. Dans la réalité, elle a été découverte de façon moins organisée, plus contingente, en fonction des questions que nous posaient nos observations ou des conseils de lecture venus du monde académique ou de nos collègues doct-rants et chercheurs.

Section 6.4 Un raisonnement en forme d'enquête

Nous avons été présent sur le terrain MEMORY de Juin 2005 à Novembre 2006. Durant cette période, notre objet de recherche a évolué, au gré de nos lectures, de nos observations et des aléas du terrain, des retours qui pouvaient nous être faits dans le milieu académique. En fait, le *développement temporel du processus collectif d'innovation* ne s'est imposé comme objet de recherche de cette présente thèse qu'après un long cheminement. Nous retraçons ici brièvement le déroulement de ce cheminement, car c'est ce cheminement qui a guidé notre exploration théorique et empirique. C'est en quelque sorte le fil rouge de ces premiers temps passés sur le terrain.

6.4.1 Etonnement et abductions

Si nous insistions sur l'importance d'être "étonné" pour mener une recherche terrain, c'est que l'étonnement est à la base du raisonnement par abduction, qui est le mode de raisonnement privilégié dans les recherches de terrain (David, 2002, Yin, 1981). Par exemple, on est étonné lorsque des faits semblent se contredire les uns les autres, lorsque les observations empiriques ont l'air de contredire une règle établie, une théorie, ou encore lorsqu'une question inédite nous est posée. Cet étonnement marque en fait l'absence de connaissances pour rendre compte d'une réalité : l'observateur n'a pas de théorie, de modèle, ni même d'hypothèse, pour interpréter une situation, une observation nouvelle, une contradiction. **Il lui faut donc créer de nouvelles hypothèses.**

La création d'hypothèses nouvelles s'appuie le plus souvent sur un raisonnement que l'on qualifie d'abductif. Pour Koenig (1993) « l'abduction est [...] un essai de conjecture sur les relations qu'entretiennent effectivement les choses[...] conjectures qu'il convient ensuite de tester et de discuter ». C'est donc un raisonnement par lequel le chercheur va tenter de lier entre eux des observations sous la forme de propositions nouvelles. Selon Umberto Eco (Eco, 1983), il existe trois formes principales d'abduction :

➤ **l'abduction sur-codée** (*overcoded abduction*) : l'hypothèse proposée s'impose comme découlant d'une règle assez largement admise, d'un préjugé, c'est une explication "naturelle", relativement automatique, dans le contexte culturel de celui qui raisonne. Par exemple, si je ne reçois pas de courrier depuis trois jours, je vais abduire l'hypothèse que "les postes sont en grève". La non distribution du courrier étant alors la conséquence de cette hypothèse. Pourtant, il y aurait d'autres hypothèses crédibles et testables (mon nom n'est plus sur la boîte aux lettres, personne ne m'a

écrit, on m'a volé le courrier, etc.), mais elles ne s'imposent pas naturellement compte tenu des idées pré-conçues que nous pouvons avoir sur les PTT.

- **L'abduction sous-codée** (*undercoded abduction*) : par ce raisonnement, on va proposer et évaluer plusieurs hypothèses, chaque hypothèse pouvant être rapprochée d'une théorie plus large. C'est un type de raisonnement classique en sciences humaines, où l'on va chercher à émettre et évaluer le potentiel de diverses hypothèses en fonction de théories existantes. Par exemple, si je cherche à expliquer pourquoi un employé se rend à son travail en utilisant de préférence son véhicule personnel, je pourrai faire l'hypothèse qu'il choisit le mode de locomotion le moins cher (je fais référence ici au paradigme du choix rationnel), ou bien faire la conjecture qu'il se contente de reproduire une habitude de mobilité acquise (je fais alors référence aux théories liées à la construction sociale des comportements). Chacune de ces hypothèses pouvant être alors discutée et validée par d'autres théories et / ou d'autres observations.
- **L'abduction créative** (*creative abduction*) : est un raisonnement par lequel le chercheur (ou l'enquêteur !) va faire une proposition radicalement nouvelle, s'appuyant sur un effort de théorisation innovant. Selon Eco, c'est ce type d'abduction qui va permettre de renouveler les cadres de pensée et faire les sauts théoriques les plus importants. Citons par exemple le cas de Freud qui, pour donner un sens aux rêves "étonnants" de ses clients, invente la théorie de l'inconscient, et donne une explication nouvelle à ces rêves, qui apparaissent désormais comme issus d'un travail d'expression de l'inconscient en partie refoulé durant le sommeil.

6.4.2 *Les divers abductions réalisés*

a) Première phase : le modèle collaboratif

Lorsqu'en Mai 2005 nous commençons notre recherche sur MEMORY, nous sommes dans une phase d'avant projet : la proposition du consortium est officiellement retenue par la CE pour financement, mais le projet ne pourra commencer qu'une fois les accords de partenariat signés et le contrat de financement mis au point et validé par la CE. SPARKS doit être partenaire de ce projet, où il sera en charge d'assister le coordinateur officiel du projet (un centre de recherche du LABO). Initialement (c'est ce qui était prévu de la proposition de projet), SPARKS devait déployer un portail informatique "clé en main" nommé Vitamib™, pour offrir à tous les membres du projet un outil de reporting. Grâce à cet outil, qui est un logiciel existant et déjà utilisé par des dizaines de consortia européens, le suivi de l'avancement des travaux et la rédaction des rapports est facilitée. Dès les réunions de préparation du contrat de R&D avec la CE, Nikita, qui dirige le Laboratoire coordina-

teur du projet, nous fait remarquer qu'il ne voit pas l'intérêt de déployer un tel outil juste pour "suivre" le travail des autres. Selon lui, quelques coups de fil et l'envoi de méls, couplés avec une grille de saisie tenue dans un simple tableur devrait suffire. Parallèlement, Litang, qui est le Scientific Officer représentant le CE pour suivre le projet MEMORY, et avec qui nous menons les négociations devant déboucher sur la rédaction du contrat de financement, émet une série de recommandations. Parmi celles-ci, il souhaite que le projet MEMORY se dote d'un site Internet officiel.

Les coordinateurs de ce projet, et en particulier SPARKS, se trouvent donc devant la question suivante (**l'étonnement**) : quel site internet devons-nous créer et déployer dans ce projet afin, d'une part, de répondre aux exigences de la CE et, d'autre part, de fournir un outil réellement utile pour la coordination de ce consortium ? Le terrain interroge ici notre pratique habituelle tout en remettant en cause ce qui était prévu : il nous faut "créer" une réponse, faire la proposition d'une autre façon de faire. On se trouve ici dans une situation de recherche très participative, puisque la construction mentale de la réalité que nous allons proposer (l'idée que nous avons de la bonne coordination d'un projet collaboratif, de l'outil informatisé pouvant soutenir ce mode de travail) va aussi guider la construction de la réalité (cet outil sera bel et bien mis en oeuvre).

Le 5 Juillet 2005, une réunion des partenaires de ce projet est organisée à l'Aéroport de Marseille. Lors de cette réunion, nous présentons aux chefs de projet présents divers outils de travail collaboratif pouvant être utilisés dans leur futur site internet (tels que des Fora de Discussion, des Bases de Documents partagés). Nos propositions sont bien reçues et les membres présents du consortium valident le principe d'un tel site. Dans le principe, ce site ne sera pas utilisé pour suivre pas à pas l'avancée des travaux des uns et des autres, en se conformant au plan de travail prévu (comme c'est le cas dans Vitamib). Il permettra plutôt aux divers membres de MEMORY d'inter-agir librement, de mener des discussions, de trouver des solutions au fil de l'eau lorsque des problèmes se poseront. La solution que nous proposons là n'a cependant rien de révolutionnaire en 2005. Le site internet que nous envisageons de développer s'appuie sur des logiciels libres très répandus (comme Joomla™, ou BBEdit™) qui sont à la base de milliers de sites dans le monde. La solution s'est "imposée" d'elle-même. C'est, pour reprendre la typologie d'Eco, une **Abduction Surcodée**, qui correspond à un discours récurrent en management à l'époque sur la force des collectifs, le travail collaboratif, où des "communautés" telle que celle de Linux, ou encore des entreprises en réseau comme Toyota, sont souvent citées en exemple (Ewans et Wolf 2005).

Le jeu d'hypothèses, voire même la théorie intermédiaire ainsi abduite est celle que nous nommons dans nos documents de travail de 2005 le "**modèle collaboratif**". La théorie intermédiaire en question peut être ainsi exprimée : *des individus répartis dans diverses organisations peuvent former*

une communauté et / ou un réseau dense de collaborateurs, capable de mener conjointement une activité innovante, complexe, capable de s'auto-coordonner, de régler localement les problèmes, en s'appuyant sur des outils informatiques de collaboration.

Au niveau théorique, cette théorie intermédiaire s'appuie sur les travaux de Lave et Wenger (91) et Wenger (1998) et sur la notion de communauté de pratique. Puisqu'une communauté de pratique semble efficace pour partager des connaissances, pour résoudre localement des problèmes, pourquoi ne pas faire en sorte que, au sein de MEMORY, les participants au projet puissent s'organiser comme une communauté de pratique ? Cette proposition, qui peut sembler naïve aujourd'hui, était bien dans l'air du temps en 2005.

Dans un document présenté en 2006 lors d'un séminaire de Thèse, voilà comment nous décrivons l'organisation visée :

"Dans ce genre d'organisation virtuelle, tout le monde est potentiellement relié à l'ensemble de la communauté. Une question posée sur un Forum est visible de tous, et chacun peut y répondre librement. Les connaissances créées dans ce plateau virtuel sont mutualisées en une seule et même base de données. Les Pilotes du projet (cellule management), en suivant le travail réalisé dans la communauté, se concentrent sur l'activité stratégique du projet, et tiennent à jour le planning du projet. Ce type d'organisation temporaire et virtuelle est rendu possible par la mise à disposition d'un portail collaboratif, qui comporte des Fora de discussion par thème, une base documentaire partagée, un calendrier partagé et un panneau d'affichage virtuel. Chaque membre du projet désigné par le chef de projet de son organisation, reçoit un mot de passe personnalisé. Il peut alors accéder au site par un simple navigateur internet."

De Juillet 2005 à Janvier 2006, nous participons activement à la construction de ce site, à son déploiement dans le consortium. Nous rédigeons un "mode d'emploi" de ce site, qui va être donné à chaque personne, formons les chefs de projet à l'utilisation des outils, créons des codes d'accès pour 48 personnes réparties dans les diverses organisations, relançons régulièrement les utilisateurs pour les inciter à utiliser les Fora. Cela va nous permettre de tester nos hypothèses, de voir si la réalité se construit bel et bien en suivant le modèle collaboratif proposé, auquel semble adhérer le comité de pilotage de MEMORY.

b) Deuxième phase : le noyau dur

Au début de l'année 2006, nous allons devoir remettre en cause nos premières pistes d'exploration et passer à une nouvelle phase. Il nous faut en effet constater que le "modèle collaboratif" ne prend pas. Extrait du document présenté lors de notre séminaire de Thèse 2007 :

"après six mois d'exploitation, on remarque que plus de 80% des messages sont émis par cinq personnes (sur 48 utilisateurs répertoriés) et que ces messages concernent principalement les problèmes liés à des choix stratégiques pour le projet (et non des discussions techniques). [...] malgré cela, le projet avance. Des aléas sont détectés et pris en compte (comme par exemple le démantèlement d'un équipement essentiel pour le projet), les plans de travail adaptés et la participation de chacun renégociée... "

On trouve ici mis en forme le second **étonnement**, à l'origine de nouvelles abductions : les membres du consortium ne collaborent pas selon le modèle proposé, mais malgré cela, le consortium parvient à résoudre des problèmes et le projet avance correctement.

Pour expliquer cela, nous allons abduire plusieurs hypothèses. Ces hypothèses sont toutes liées à diverses théories issues de la littérature ou bien s'imposent pour des raisons méthodologiques. Dans la typologie de Eco, on parlera donc d'une **abduction sous-codée**. Voici les principales hypothèses émises alors pour expliquer cette apparente contradiction :

- H1 : il existe des coordinations multiples entre les membres du consortium, mais elles échappent à notre dispositif d'observation : les spécialistes (et non les chefs de projet) s'échangent des méls, se téléphonent, ou se rencontrent physiquement lors de réunions de travail, mais n'utilisent pas les Fora de discussion mis en oeuvre sur le site internet.
- H2 : la gestion de projet classique, basée sur le suivi de l'avancée des travaux par le coordinateur, qui reçoit en théorie, chaque mois un rapport de la part des divers partenaires, est un mode suffisant pour permettre à MEMORY de fonctionner.
- H3 : c'est le récit qui est fait du projet qui fonctionne, alors que le projet réel accuse des retards en partie dissimulés dans les rapports officiels.
- H4 : il existe un noyau restreint d'acteurs, fortement liés entre eux, répartis chez divers partenaires, qui parvient à faire fonctionner ce projet par des échanges fréquents sur et surtout hors de Fora du site internet MEMORY.

L'hypothèse H1 est déduite de ce que nous savons des dispositifs d'observation en sciences sociales, qui par définition ne peuvent pas saisir toute la réalité. Il peut toujours exister des phéno-

mènes échappant à nos outils d'observation. Pourtant, H1 n'est pas confirmée par nos observations empiriques. Nous constatons par exemple, lors d'une réunion de consortium en Octobre 2006 à Grenoble, que les chercheurs des différentes équipes présents ce jour et qui ont accompagné leurs chefs de projet se rencontrent pour la première fois. Cela est confirmé par Paulin, chef du projet, lors d'un entretien (E2) :

"Je ne vois pas assez d'échanges. Si c'est pas spontané, c'est très difficiles à imposer. Faudrait faire des échanges physiques de Thésards. Sans échanges physiques, y' a pas de communication réelle. J'ai vu des projets comme ça où à la fin les gens ne se connaissent pas."

L'hypothèse H2 peut être déduite des théories et des méthodes classiques de gestion de projet (tel que le PMBOK) qui affirment de façon normative que si les procédures de pilotage de l'activité du projet sont bien suivies, le projet va avoir plus de chances d'atteindre les objectifs fixés. Mais H2 n'est pas non plus confirmée par nos observations empiriques. Durant nos journées passées chez SPARKS, nous constatons aussi que Jim passe beaucoup de temps à relancer par méls et par téléphone les partenaires du projet, pour réclamer des données chiffrées sur l'avancement des travaux. Le 3 mars 2006, Paulin, le coordinateur du projet, envoie un mél de relance à certains partenaires pour se plaindre de leur défaillance à envoyer leurs reportings, insistant sur la difficulté qui en résulte pour suivre ce projet et sur les retards qui sont liés à ce manque de communication (extrait de M120060303, quelques mots clefs étant surlignés par nous dans le texte) :

"Chers partenaires,

Nous avons eu ce matin, avec Hector et l'équipe de SPARKS Innovation, une réunion préparatoire à notre "six monthly meeting" qui se tiendra vendredi prochain au Fraunhofer de Duisburg.

*Il apparaît un certain nombre de **dysfonctionnements** par rapport à ce qui avait été demandé, en terme de management au "kick off meeting" à Bruxelles en septembre 2005. Tout d'abord, j'avais personnellement, en tant que coordinateur du projet, demandé que chaque partenaire me fasse parvenir, **chaque mois, une feuille de compte-rendu** [...] Je vous rappelle que c'est pour nous une obligation d'être à même de fournir, à la demande de la CEE, les feuilles de temps mensuelles. Ceci sera d'ailleurs très certainement demandé lors des audits annuels exigés par cette même CEE. [...] Le second point que je veux aborder est la fourniture par TRON, de wafer de 200 mm à SCANNEX pour que ce dernier étudie les procédures de décontaminations en*

espèces ferromagnétiques et les quantifie. A l'heure où j'écris ce message, il semble que SCANNEX n'a toujours rien reçu de TRON ce qui est extrêmement inquiétant pour la suite du projet. [...] Aussi, si TRON est dans l'impossibilité de fournir ces wafer dans les plus brefs délais (une quinzaine de jours), je me verrai dans l'obligation, en tant que coordinateur, de trouver une autre source (par exemple la société EXPERT) et de prélever le montant de cette opération sur les avances de la CE destinées au CENTRE SCIENTIFIQUE.[...] "

Ce n'est donc pas ce suivi, qui n'existe pas formellement, qui peut expliquer que le projet fonctionne, c'est à dire produit des résultats et mène une activité de conception sur les eMRAM.

L'hypothèse H3 pourrait être elle-même déduite de la théorie de Boudès et Christian (Boudès and Christian, 2000) selon laquelle le récit qui est fait du projet pour les tiers, peut être différent du projet réel vécu par ses membres (c'est la différence entre le *reporting* et le *raconting*). Aussi, quand nous affirmons que ce projet semble fonctionner, ne confondons-nous pas le récit qui en est fait par les acteurs avec la réalité de ce projet ? Notre positionnement au coeur du projet, notre participation aux comités de pilotage par exemple, nous permet d'échapper à cet effet de récit. Certes, le "projet" tel qu'il est narré dans les rapports à la CE est présenté sous un angle qui se veut le plus positif possible. Mais nous constatons aussi que, malgré les aléas déjà traversés (le démantèlement d'un équipement clef au CENTRE SCIENTIFIQUE, le retard pris par certains partenaires), le travail continue : des échantillons sont produits, des plaquettes de silicium circulent entre les partenaires, des rapports d'analyse sont produits, commentés, etc. Il y a donc bien un décalage possible entre le projet réel et son récit, mais rien qui permette d'affirmer que seul le récit fonctionne. Le projet MEMORY continue, produit des résultats, est le lieu d'une activité collective de conception.

C'est donc l'Hypothèse H4 qui nous semble la plus intéressante. Premièrement, elle est confirmée par d'autres observations empiriques : par exemple, Jim de SPARKS nous fait suivre un mél relatant divers échanges techniques entre Hector, Natalia et Fatima, des chefs de projet de ce consortium, en faisant précéder cette réexpédition par le message explicite suivant (extrait M120050925) :

"Encore une preuve qu'ils travaillent tous ensemble et communiquent... sans pour autant toujours nous mettre en copie (je suis en PJ du dernier mail).

CB [...]"

Le "tous ensemble" de Jim désigne les chefs de projet de MEMORY, Jim se plaignant ici que ces échanges n'aient pas lieu sur le Forum que nous avons mis en place, mais via l'échange de méls classiques.

Toujours à partir de nos observations empiriques, si l'on regarde les statistiques d'utilisation du Forum par exemple, on constate que sur les 79 contributions au Forum, 63 ont été rédigées par 6 collaborateurs de ce consortium, sur les 42 ayant été inscrits dans le système (79 % des contributions sont faites par 14% des membres). Ces membres sont, dans l'ordre décroissant de contribution : Jim (SPARKS), Hector (STARTER), Florent (SPARKS), Natalia (K. INSTITUT), Timo Dimopoulos (AUSTRIAN) et Paulin (LABO).

On constate donc empiriquement qu'un groupe restreint d'individus échange activement dans ce projet, que ce soit par mél ou sur les Fora du site extranet du projet.

Cette hypothèse correspond aussi à des déductions que l'on pourrait faire, par exemple, du rôle des "knowledge Brokers" dans la théorie de l'organisation des connaissances de Brown et Duguid (98) exposée précédemment, ou encore sur celui des "brokers" en proximité de trous structuraux (Burt 2004). En effet, les membres du projet MEMORY sont répartis dans diverses structures et dans plusieurs pays. Les membres du projet travaillent sur des thèmes différents : il y a des spécialistes des matériaux, de l'électronique, du magnétisme. On a donc une structure hétérogène, tant d'un point de vue structurel (tout le monde n'est pas lié aux autres membres de la même façon) que d'un point de vue cognitif (les répertoires des uns et des autres sont différents). Théoriquement, on peut donc s'attendre à ce que certains individus clefs fassent le lien entre leurs équipes respectives, assurent des traductions entre leurs spécialistes, servent d'intermédiaires pour passer les informations et résoudre des problèmes liés aux distances qui existent entre les diverses communautés constituant le consortium MEMORY.

L'hypothèse 4 est celle que nous allons retenir pour continuer notre exploration de MEMORY.

c) Troisième phase : le véhicule du processus collectif

d'innovation.

Partant de l'hypothèse 4, nous décidons d'explorer plus avant le rôle joué par certains individus clefs dans ce consortium. Quelle est la nature des liens unissant ces acteurs ? Depuis quand se connaissent-ils ? Que font-ils pour faire avancer le projet MEMORY, pour surmonter les épreuves, pour résoudre les problèmes qui se présentent à eux ?

Pour répondre à ces questions, nous allons, d'une part, mener une série d'entretiens ciblés avec ces individus clefs et d'autre part, tenter de tracer les échanges qu'ils réalisent depuis le début de MEMORY, en récupérant quand c'est possible les méls qu'ils échangent dans le cours du projet (nous pouvons pour ce faire compter sur les bonnes relations que nous avons avec certains membres du consortium en leur demandant d'être en copie de leurs messages).

Le 21 Septembre 2006, nous assistons à une réunion de coordination à laquelle participent Hector de STARTER, Paulin et Nikita du LABO et Jim de SPARKS, soient quelques uns des membres de ce noyau dur du projet. Durant la réunion, **Hector nous informe que sa société, STARTER, connaît des difficultés financières. Il va donc devoir la mettre en cessation d'activité et quitter ce projet qu'il a porté depuis si longtemps.**

Le 20 Novembre, Paulin annonce officiellement cette nouvelle à certains partenaires du projet projet (Méls à Natalia de K. INSTITUT, Lisandro de AUSTRIAN et Fatima et Sébastien du CENTRE SCIENTIFIQUE). Il y propose une nouvelle répartition des tâches et lance ainsi une négociation sur le remplacement de STARTER. Fin décembre, cette réorganisation est actée par les partenaires du consortium et par la Commission Européenne, qui lance la rédaction d'un avenant au contrat : le projet MEMORY est relancé dans une nouvelle configuration, à peine trois mois après le départ d'Hector.

Cette séquence d'événements est **étonnante** : le noyau dur auquel nous donnions un rôle si important vient de perdre l'un de ses principaux éléments. Malgré cette perte, le projet s'est rapidement organisé et continue son activité. Cela vient remettre en cause notre hypothèse sur le rôle central de ce noyau dur. Certes, il y a des individus clefs dans ce projet, qui résolvent des problèmes, permettent aux spécialistes du projet de communiquer, veillent à la destinée du projet, mais cela ne suffit pas à expliquer la continuité du processus. MEMORY survit à la disparition de son principal promoteur, les travaux de STARTER sont redistribués, l'apport personnel (intellectuel, cognitif) d'Hector n'est plus, à ce moment là du projet, une condition nécessaire pour que l'activité collective puisse continuer.

Il nous faut alors **abduire** de nouvelles hypothèses permettant de comprendre la continuité de l'activité collective MEMORY dans le temps. C'est ici que nous avons tenté de faire preuve de créativité, de proposer un concept nouveau afin de mieux rendre compte de la continuité de l'activité collective MEMORY (ce que Eco nomme une **abduction créative**). C'est à partir de ce moment là (Décembre 2006) que nous avons compris que le projet n'était probablement pas porté par un individu, ni même par un groupe soudé d'individus, **mais par un assemblage plus complexe et changeant**

dans le temps, fait d'individus, d'institutions, d'objets. Nous nommons cet assemblage changeant et hybride un "véhicule" (ce qui véhicule le processus collectif MEMORY dans le temps).

Partant de cette abduction, et afin de voir si cette théorie intermédiaire pouvait en effet nous aider à mieux comprendre le fonctionnement et en particulier la persistance dans le temps de MEMORY en tant que processus (on est alors dans un mode déductif : "*si il existe un véhicule, alors...*"), nous avons entrepris d'organiser l'ensemble des données recueillies jusque là, de les compléter lorsque nécessaire, et de **mener une analyse processuelle de MEMORY, de nous intéresser au développement temporel de ce processus.**

C'est dans cette séquence de notre propre recherche que nous avons utilisé les propositions P1, P2, P3, qui nous servent à expander le concept du véhicule, à enrichir ce concept d'apports théoriques, puis à tester empiriquement le statut de ces apports théoriques, ce que nous allons détailler par la suite (Chapitre 7).

Section 6.5 Le dispositif d'observation de MEMORY

Le dispositif d'observation est un ensemble de moyens organisationnels et techniques pour recueillir et organiser des données à propos du terrain d'investigation. Pour le Chercheur / Acteur c'est un moyen essentiel pour objectiver le terrain, pour lui comme pour d'autres chercheurs souhaitant évaluer son travail. Le but ultime d'une recherche est de produire des connaissances ayant un certain degré de scientificité. Il est donc essentiel de dépasser le stade du "témoignage d'expert" et de produire, au cours du processus, des données scientifiques critiquables. C'est aussi un instrument essentiel pour construire l'extériorité recherchée.

6.5.1 Notre positionnement dans le projet MEMORY

Pour ce qui est du dispositif organisationnel, nous avons convenu avec les dirigeants de SPARKS et avec l'accord des chefs de projet de MEMORY que notre présence dans MEMORY serait **institutionnalisée par un contrat de travail spécifique**. A partir de Juin 2005, nous sommes donc "chargé de recherche" à temps partiel pour SPARKS Innovation, **en charge de la mise en place d'un outil de travail collaboratif à l'usage des partenaires de MEMORY**. Notre statut de chercheur doctorant est alors communiqué à tous nos partenaires. En faisant cela, notre objectif est de clarifier le plus possible le cadre de notre intervention vis à vis de partenaires que nous connaissons pour certains depuis plusieurs années. Il est ainsi précisé que le consultant SPARKS qui va assister ce projet dans ses tâches administratives est Jim. Florent n'est là "que" pour mettre en oeuvre une plateforme de travail collaboratif et pour observer et analyser le consortium dans le cadre de sa thèse. En faisant cela, notre objectif est là encore de sortir de notre cadre habituel d'intervention, de construire une extériorité : nous ne sommes plus le consultant en charge de suivre ce projet et d'assister les coordinateurs de MEMORY. Parallèlement, ce contrat de travail avec SPARKS rend légitime notre présence dans ce consortium, notre participation aux réunions de MEMORY, notre présence dans la liste de diffusion des messages, ou encore justifie que nous soyons régulièrement en copie des méls échangés entre les coordinateurs de ce projet. Du fait de ce contrat, **nous sommes physiquement présents dans les locaux de SPARKS environ deux jours par semaine pendant 18 mois** (de Mai 2005 à Décembre 2006). Ce dispositif est conforme à notre posture que l'on pourrait qualifier de **Participation Observante Déclarée**, notre statut de chercheur ne faisant ici de mystère pour personne.

Dernière remarque en ce qui concerne notre positionnement : celui-ci **influence ce que l'observateur va pouvoir observer**. Notre place dans MEMORY, par exemple, nous permettait de voir ce

qui se passait au quotidien chez un seul des partenaires (SPARKS), mais nous permettait aussi d'observer ce qui se passait dans les communications entre chefs de projet tenues par méls, sur les fora de discussion ou encore durant les réunions de consortium. **C'est donc une position interstitielle**, entre les individus clefs et les organisations participant au projet. En revanche, ce qui se passait dans le laboratoire de AUSTRIAN ou dans les bureaux de SCANNEX nous restait en grande partie inconnu. Il est évident que cela a pesé sur ce que nous avons observé de façon préférentielle, à savoir les interactions entre les chefs de projet.

Depuis ce poste d'observation, nous avons multiplié les sources de collecte de données pour MEMORY, pour rendre possible leur **triangulation** afin de valider nos observations. Nos principaux instruments de collecte de données ont donc été les suivants :

6.5.2 Documents et Observations

Un projet collaboratif financé par la Commission Européenne produit une importante documentation, une grande part étant une documentation imposée par la CE, certains documents étant même publics et mis en ligne sur un site internet spécifique (www.cordis.lu). Notre ancrage au coeur du projet nous a permis d'avoir accès à bien d'autres documents essentiels : méls échangés entre les partenaires, compte-rendus de réunions, contrats, messages laissés sur les forums du site internet MEMORY, etc. De plus, notre documentation sur ce processus est ancienne, de nature "archéologique" : nous avons conservé les documents et méls échangés avec Hector, puis avec les futurs membres de ce consortium depuis avril 2003, soit plus de deux ans avant le début officiel du projet. En étant administrateur du site internet, nous avons aussi pu capitaliser l'ensemble des rapports et documents produits dans le cadre de ce projet et postés sur la base documentaire du site (une soixantaine en Janvier 2008). Le problème est ici la masse des données : ces documents, que nous avons stocké au format numérique **représentent plus de 150 Mega Octets pour plus de 620 fichiers, dans des formats divers.**

Afin de pouvoir faire des recherches rapides dans le corps de ces documents, de façon automatisée, cette base documentaire a été indexée par le logiciel FoxTrot™. Ce logiciel permet de faire des recherches selon des mots-clés à l'intérieur des documents, de compter les documents selon ces critères, de les prévisualiser, et donc de retrouver très rapidement, par exemple, dans quels méls la question du Tungsten est abordée, ou dans quel document (et où) le nom de Uwe Posset est cité. Cet outil nous a été très utile dans les phases ultérieures d'analyse de nos données. Une analyse plus

fine de ce corpus a été ensuite réalisée grâce à un logiciel d'analyse qualitative, ce que nous décrivons plus loin.

Nous avons également tenté de **garder une trace de nos observations au fil de l'eau**, en rédigeant des notes suites à notre participation à diverses réunions entre des représentants du consortium (réunion de management le 09 décembre 2005, réunion annuelle du consortium les 16 et 17 octobre 2006). La difficulté de cette prise de note étant que, de part notre statut d'acteur / chercheur, nous étions nous-même partie prenante aux discussions et négociations en cours. Nous ne pouvions donc pas prendre une posture distante, de simple observateur, afin de noter nos observations de manière systématique, puisque notre participation active à la réunion était souvent nécessaire. Le plus souvent, ces notes d'observation ont été prises de façon rétrospective. Notons que chaque réunion entre membres du consortium a fait l'objet d'un compte-rendu, souvent rédigé en partie par nos soins, et conservé dans la base documentaire citée plus haut.

6.5.3 Entretiens Ciblés

Dans le cours de notre exploration, nous avons également mené quelques entretiens individuels avec certains membres du consortium MEMORY. Nous avons choisi cet outil d'investigation au moment où nous nous sommes intéressé au rôle de certains individus clefs dans ce consortium, et à la généalogie de ce groupe d'individus. Nous avons donc centré ces entretiens sur ce "noyau dur" d'acteurs, en profitant, pour des raisons de logistiques, d'une réunion du consortium MEMORY pour rencontrer physiquement certains acteurs non français du projet.

Personne rencontrée	Organisation	Date
Hector	STARTER	31 Janvier 2006
Paulin	LABO	4 Mai 2006
Nikita	LABO	15 Décembre 2006
Lisandro	AUSTRIAN	17 Octobre 2006
Zacharia	LABO	4 Mai 2006
Litang	CE	16 Octobre 2006
Cédirc Brémond	SPARKS Innovation	12 Décembre 2006

Les entretiens ont été menés de façon semi directive : nous n'avions pas de liste de questions, mais seulement un guide d'entretien construit autour de notre question de recherche et des thèmes sur lesquels nous souhaitions obtenir de nouvelles informations. Ce guide était le suivant :

Encadré 5 : Guide pour les entretiens individuels MEMORY

Thèmes à aborder :

- Depuis quand travaillez-vous sur le eMRAM ? (ou la spintronique)
- Depuis quand connaissez-vous les partenaires MEMORY ?
 - Pour chaque partenaire : circonstances de la rencontre ?
 - Avez-vous déjà fait des projets avec les partenaires ?
- Dans le cadre de votre travail sur MEMORY, avez-vous l'occasion d'interagir régulièrement avec les autres partenaires MEMORY ? Avec qui de préférence ? Fréquence ?
- Quelles sont vos principales difficultés dans un tel projet ?
- De quoi avez-vous besoin pour mener à bien vos travaux (ressources humaines, matérielles, financières, etc.) ?

Ce guide très simplifié n'était pas montré à l'interviewé. Il nous servait juste de repère pendant l'entretien, présenté comme étant un entretien informel, et nous permettait surtout de recadrer les échanges sur ce qui nous intéressait alors, à savoir : il existe dans ce projet un noyau dur d'acteurs individuels qui résolvent la plupart des aléas du projet. *Quelle est l'origine de ce noyau dur et son rôle réel dans le projet MEMORY depuis ses débuts ?*

Pour ce qui est du "recrutement" des interviewés, il nous a suffi de rencontrer un à un les individus de ce noyau dur, qui avaient émergé depuis le début du projet en étant les principaux acteurs dans la résolution des problèmes rencontrés par MEMORY. La tenue d'entretiens informels, qui ont duré parfois plus de deux heures, a été facilitée par la relation de confiance que nous avons pu tisser avec la plupart des personnes interviewées. On peut par exemple préciser que, en 2005, nous connaissons Jim, Nikita et Hector depuis plus de deux ans.

Section 6.6 Conclusion

Notre démarche de connaissance prend racine dans notre propre pratique professionnelle en tant que consultant en management de l'innovation : de cette pratique est issue le questionnement au départ de notre thèse, et aussi une orientation vers une recherche terrain.

Ainsi, nous avons choisi d'appuyer notre réflexion sur un cas concret de projet collaboratif d'innovation, le projet MEMORY, financé par la Commission Européenne, et regroupant neuf organisations européennes durant trois ans. Il y a deux raisons principales guidant ce choix :

- d'une part, nous avons un accès privilégié à ce terrain de part nos contacts antérieurs, notre "encastrement" avec les porteurs de ce projet, ce qui nous offrait un accès privilégié à un cas peu souvent observé de façon empirique
- d'autre part, il nous semblait qu'un projet tel que MEMORY était un projet dont la complexité pouvait mettre en tension les règles classiques de la gestion de projet, ce qui correspondait parfaitement à la problématique que nous souhaitions explorer.

Notre situation de départ était donc celle d'un **acteur / chercheur**, bénéficiant certes d'un accès fort à un terrain, d'une importante socialisation avec celui-ci, mais devant pourtant se détacher de cette réalité afin d'en faire un objet d'étude. Il nous a donc fallu construire une extériorité vis à vis de MEMORY. Cette extériorité s'est construite sur trois piliers : le développement d'un ancrage dans le milieu académique, le renouvellement de notre regard grâce à des apports théoriques, et la mise en place d'un dispositif d'observation nous permettant de sortir de notre positionnement de praticien.

C'est grâce à cette extériorité que nous avons pu objectiver MEMORY, en faire un sujet d'étonnement et d'analyse, et y mener une investigation, dans laquelle des raisonnements par abductions successives ont été essentiels. Il y a eu trois cycles durant cette recherche, qui ont permis de converger vers la thèse présentée ici, visant à rendre intelligible la dynamique d'un processus collectif d'innovation.

Dans notre démarche, nous avons utilisé divers modes de raisonnement, en fonction des aléas du terrain, de l'évolution de notre questionnement, du matériel empirique disponible. Cela nous place dans une épistémologie pragmatique. La vision de la réalité que nous présentons ici, la façon dont

nous la rendons intelligible, n'est bien entendu qu'une représentation de celle-ci, en partie liée à nos capacités cognitives limitées. Elle ne peut pas se confondre avec la nature profonde de cette réalité. Cependant, nous pensons que l'image que nous proposons permet de saisir des caractéristiques intrinsèques de cette réalité, telle qu'elle s'est partiellement dévoilée à nous. Cela nous situe donc dans une ontologie proche de celle du réalisme critique.

Chapitre 7. Opérationnaliser notre question de recherche

Notre démarche d'exploration hybride s'est appuyée sur l'exploration empirique de MEMORY, selon la méthode que nous avons exposée dans le chapitre précédent. Dans la première partie de cette thèse, nous avons situé notre question de recherche dans son cadre théorique. Si nous la recontextualisons dans le cadre de MEMORY, nous pouvons dire que notre question d'investigation est la suivante :

"Comment expliquer la continuité du raisonnement de conception sur les mémoires eMRAM malgré les transformations de l'assemblage des ingrédients mobilisé au cours du processus collectif d'innovation MEMORY".

Par abduction, suite à plusieurs cycles de raisonnement présentés dans le chapitre précédent, nous proposons la thèse qu'il existe un véhicule assurant la continuité du raisonnement de conception. Pour pousser ce raisonnement, il nous faut alors procéder à deux opérations :

- 1) élargir ce concept du véhicule (par exemple dire ce qu'il est, comment il fonctionne, en quoi il permet la continuité du processus)
- 2) donner un statut à ces élargissements, c'est à dire, par exemple, tester empiriquement ce concept, en voyant s'il permet en effet d'expliquer la continuité de MEMORY.

Dans ce chapitre, nous expliquons comment nous avons enrichi ce concept du véhicule, en nous fondant sur des propositions théoriques décrites plus haut, et quel dispositif de traitement des données nous avons créé afin de donner un statut à ces enrichissements. Nous sommes alors dans un mode déductif de raisonnement : "*si un véhicule existe alors...*"

Le premier enrichissement que nous faisons du concept du véhicule, est d'en décrire la constitution, et ce à partir de la proposition théorique P1 issue de la littérature : ***Le raisonnement collectif s'appuie sur un assemblage d'ingrédients constitué par un collectif innovant et par les ingrédients mobilisés et subis par ce collectif.***

Le véhicule n'est pas seulement un "noyau dur d'individus", comme nous l'avions proposé dans un premier temps. Ce qui porte le processus de raisonnement dans le temps (ce qui le véhicule), ce sont certes des individus, mais aussi un ensemble d'ingrédients mobilisés par ces individus dans le cours du processus. Ces ingrédients sont le versant social de notre processus. Le véhicule que nous voulons décrire doit donc être un assemblage d'ingrédients. Cependant, la question de la limite de cet assemblage d'ingrédients va se poser. En effet, nous avons critiqué plus haut la SAR, parce que la notion de réseau socio-technique nous semble englober un ensemble trop vaste. Dans notre cadre théorique, nous affirmons le caractère central de l'activité de conception, qui peut être décrite par une théorie de la conception telle que CK. Cela nous permet de fixer des limites à ce qui est, dans le contexte d'analyse, un élément pertinent, à ce qui est un ingrédient. En effet, le processus possède aussi un versant cognitif. Avec CK, nous pouvons suivre l'avancée du raisonnement, le décrire étape par étape, dire quelles ont été les opérations de conception réalisées tout au long du processus. Nous proposons donc de ne prendre en compte **que les éléments mobilisés et subis dans le cours de ces opérations de conception**, ce qui nous permet d'avoir un indicateur pour fixer des limites aux ingrédients à prendre en compte.

➤ Pour le cas du processus MEMORY, nous avons donc une question d'ordre méthodologique à traiter par la suite : quels sont les ingrédients mobilisés et subis pour la conception au cours du processus MEMORY (**Section 1**).

Cependant, établir une liste d'ingrédients et les repérer dans le temps n'est pas suffisant pour décrire notre véhicule. Ce que nous souhaitons établir, c'est le lien entre la continuité du raisonnement (qu'on peut lire avec CK) et l'existence de ce véhicule. Et il ne fait pas de doute que ce véhicule va se modifier au cours du processus, parfois graduellement, mais aussi brusquement, imposant au processus des bifurcations. Comment le raisonnement va-t-il continuer malgré ces changements ?

La proposition P2 nous permet d'introduire la notion de couplage horizontal, qui est essentielle pour comprendre le fonctionnement du véhicule : ***Il y a continuité du processus collectif de raisonnement s'il y a un couplage horizontal entre les ingrédients mobilisés dans le cours du processus.***

Cela signifie que, pour décrire l'action du véhicule, sa faculté à assurer la continuité du processus, il faut pouvoir le décrire à divers moments du processus, puis il faut montrer qu'il existe des liens (un couplage) entre des ingrédients de ce véhicule, saisis à différents moments. Montrer par exemple que, tel ingrédient présent en 2003, est indissociable de tel autre en 2001. Pour repérer ces couplages entre ingrédients, entre divers états du véhicule, **il nous faut donc procéder à un découpage temporel du processus**, il faut y repérer des étapes, des moments différents, moments que l'on pourra ensuite mettre en relation.

➤ Pour le cas du processus MEMORY, nous avons donc une autre question de méthode à traiter : comment décrire le déroulement temporel du processus MEMORY ? (**section 2**)

Décrire l'avancement du raisonnement dans le temps avec CK, décrire le versant social de ce processus en repérant des ingrédients assemblés au cours de ce raisonnement (P1), montrer comment certains ingrédients sont couplés entre eux dans le temps et que ce couplage permet la continuité du raisonnement de conception (P2) va nous permettre de décrire le développement temporel du raisonnement. Mais ce que nous souhaitons ici, c'est aussi comprendre ce développement, le rendre intelligible, trouver une logique aux changements observés. En suivant la **proposition P3**, nous pensons que *"Au cours du processus, les ingrédients mobilisés pour la conception (et leurs assemblages) se modifient sous l'effets d'un ou de plusieurs moteurs."* Avec la notion de moteurs, nous donnons une réponse plus complète encore à la question de recherche posée. Cependant, le jeu des moteurs est assez complexe dans MEMORY au cours du temps et nous nous sommes posé la question de sa représentation.

➤ Pour le cas de MEMORY, nous avons une troisième question de méthode à résoudre : comment rendre intelligible le jeu des moteurs du processus ? (section 3)

Au final, la Thèse que nous allons tester par la suite, la version expansée du concept du véhicule, est la suivante :

Il existe un véhicule pour un processus collectif d'innovation, qui est un assemblage d'ingrédients mobilisés pour l'activité de conception au cours du processus. Ce véhicule change dans le temps sous l'effet de moteurs et il assure la continuité du processus en permettant le couplage des ingrédients de conception.

Les sections à venir expliquent comment nous avons consolidé cette Thèse grâce au cas MEMORY.

Section 7.1 Les ingrédients du processus MEMORY

Dans notre cadre conceptuel, nous introduisons une limitation qui permet de réduire la liste possible d'ingrédients, d'éléments pertinents pour comprendre le processus MEMORY : nous affirmons la place centrale de l'activité cognitive dans le processus, qui peut être décrite comme un raisonnement de conception modélisable avec la théorie CK.

Grâce à ce postulat, nous pouvons d'ores et déjà fixer des bornes sur les échelles horizontales et verticales d'analyse de MEMORY.

7.1.1 Les limites temporelles du processus (échelle horizontale)

a) Quand commence le processus MEMORY ?

Les limites temporelles peuvent théoriquement être poussées très loin dans le temps. L'analyste, au cours de ses observations ou des entretiens menés avec les protagonistes d'un processus, peu très bien repérer des prémices du processus, des événements originels très en amont. Dans le cas de MEMORY, par exemple, nous savons que Hector et Nikita se sont rencontrés dès 1994, sur un projet de recherche en rapport avec le magnétisme (Entretien Hector) :

Hector : Nikita, je le connais depuis 1994 – il était à l'école polytechnique, chercheur détaché, moi j'étais chez Thomson et on collaborait avec le Labo où était Nikita. On avait travaillé un peu ensemble. Il y avait un projet commun Thomson / Polytechnique.

Florent : c'était quoi comme projet ?

Hector : c'était déjà sur l'intégration de matériaux magnétiques, mais 3'5, donc Arsenic de Gallium. J'étais en thèse à l'époque.

Doit-on dans ce cas, pour comprendre MEMORY, tirer le fil temporel jusqu'à une telle date, plus de 10 ans avant le début du projet MEMORY ?

Le choix des limites du processus est donc un choix analytique essentiel, qui doit être fait selon des critères justifiables. Ce choix peut revenir au chercheur ou aux acteurs eux-même, et le plus souvent, aux deux. Il revient aux acteurs, par exemple, si le chercheur base son analyse sur des en-

tretiens et que la question "*quand selon vous a commencé tel projet, tel processus, ou quand avez vous eu l'idée de...*" a été explicitement posée. Mais même dans ce cas, la variété des réponses obtenues nécessite une interprétation de la part du chercheur qui va devoir trianguler les divers données ainsi récoltées. Le choix des limites peut aussi incomber au chercheur, en particulier s'il utilise un cadre théorique défini par avance.

C'est justement notre cas ! Dans notre cadre conceptuel, nous avons insisté sur l'importance du versant cognitif du processus collectif d'innovation. Nous disposons alors de la théorie CK comme outil formel de description du processus MEMORY dans son versant cognitif. Or, dans la théorie CK, un raisonnement de conception commence avec une disjonction : des éléments de K, non liés, sont associés pour fabriquer une nouvelle proposition. Cette proposition n'a pas de statut dans K (on ne peut pas dire si elle est vraie ou fausse), c'est donc un élément de C, un concept. Le processus MEMORY commence lorsque le concept à la base du projet MEMORY (*Une mémoire vive sur silicium - utilisant le Spin des électrons dans le silicium*) est proposé. Ainsi, et selon notre cadre théorique :

□ **Le processus MEMORY commence au moment où la disjonction à l'origine de ce processus est proposée.**

Dans le chapitre suivant, consacré à l'étude du cas MEMORY, nous expliquerons comment, à partir de nos données, nous avons repéré cette date de début du processus, en utilisant la disjonction du concept eMram comme indicateur formel.

b) Quand finit le processus MEMORY ?

On pourrait décider que le processus MEMORY se termine avec la fin planifiée du projet MEMORY. Mais ce serait utiliser une vision réductrice de ce qu'est un processus collectif d'innovation. Comme nous l'avons vu à plusieurs reprises dans la partie précédente, un processus peut s'appuyer sur plusieurs projets, plusieurs espaces de conception, ou plusieurs cycles.

A l'heure où nous écrivons ces lignes, le processus MEMORY est encore en cours. Officiellement, le projet ne s'est lui même achevé que depuis quelques mois (Janvier 2009).

Nous avons donc choisi de "borner" notre analyse de ce processus peu de temps avant notre départ officiel du terrain, donc en décembre 2006 : à cette époque là un nouvelle séquence stable est en cours, et nous avons assez de données pour en décrire sa logique (notre départ officiel de MEMORY est daté du 20 février 2007).

- **La fin du processus MEMORY nous est inconnue, mais son analyse s'arrête à Décembre 2006**

7.1.2 Les limites sur l'échelle verticale du processus

MEMORY

a) Le raisonnement de conception comme fil rouge

- **Nous avons utilisé la théorie CK de la conception afin de décrire le déroulement du raisonnement collectif mené par les concepteurs participant au processus MEMORY.**

En faisant cela, nous pouvons suivre dans le temps le cheminement du raisonnement qui mène du concept eMram de départ, à la production des premiers échantillons de silicium de ces mémoires à la fin de 2006. L'avantage de cette description formelle est d'identifier, dans le cours du processus, les opérations de conception menées par le collectif d'innovateurs participant au processus : on enrichit le concept ($K \Rightarrow C$), on envoie des questions de recherche vers K , qui s'enrichit au cours du processus ($K \Rightarrow K$), le concept est décrit selon diverses options, divers embranchements ($C \Rightarrow C$) et divers tests, via la production de prototypes, permettent de valider les concepts ($C \Rightarrow K$).

Nous obtenons alors, tout au long de ce processus, une liste des opérations de conception qu'il nous faut décrire et expliquer : qui a proposé telle option de conception ? Comment a été produit tel prototype, avec quel outillage, par quels participants au processus ? Qui a apporté une connaissance importante sur les caractéristiques d'un matériau ? Bref, l'identification des opérations de conception nous a permis de concentrer la recherche des ingrédients sur ce qui était mobilisé, subi, transformé, tout au long de ce processus.

b) Où sont les traces de ce raisonnement de conception ?

Pour utiliser la théorie CK, il nous faut suivre l'évolution de C et de K tout au long de ce processus. Comment, à partir des données dont nous disposons, repérer des propositions, qu'elles soient dans K ou dans C ? On trouve, tout au long de ce processus, divers documents décrivant les eMram, avec un niveau de détails et de raffinements divers : un brevet, des articles scientifiques, diverses versions d'une proposition de projets pour la CE, des rapports de tests, des présentations formelles, des compte rendus, etc. On dispose donc de traces écrites, souvent mises au point par plusieurs individus participant au processus.

Bien entendu, les propositions de C et K ne sont pas seulement sur de tels documents. Il a des connaissances tacites, qui ne sont inscrites nul part, et qui pourtant sont mobilisées au cours de la conception. Certains concepteurs peuvent aussi avoir des idées, des hypothèses sur l'expansion de C qui ne sont pas répertoriées dans cette documentation. Mais notre dispositif d'observation ne nous permet pas d'enregistrer systématiquement cette dimension là du raisonnement.

Il y a cependant plusieurs avantages à utiliser les documents produits au cours de ce processus pour tracer le raisonnement de conception. Premièrement, de par leur nombre et leur caractère explicite, ils nous offrent une série de "photos", semées tout au long de ce processus, ce qui permet de reconstruire l'évolution de l'expansion du concept eMram dans le temps. D'autre part, la plupart de ces documents ont été rédigés collectivement. Les propositions de projet, par exemple, sont des propositions collectives, ayant nécessité de nombreuses négociations entre partenaires. Ces propositions deviennent des annexes techniques pour un contrat de recherche : elles deviennent ainsi des objets réifiés, reconnus officiellement par tous les participants au processus. Elles sont donc des résultats de l'*activité collective* et, en ce sens, elles sont un bon indicateur de l'état d'avancement du *raisonnement collectif*.

L'analyse de ces documents et leur interprétation en C-K peut poser un problème. Dans de tels documents, on trouve des propositions, certes, mais il faut aussi en déterminer le statut. Une part des propositions sont acceptées par les concepteurs, d'autres n'ont pas de statut définitif, sont proposées comme des hypothèses à explorer. Il faut donc faire le tri entre ce qui est su par les concepteurs, et ce qui a le statut d'hypothèses. Ce travail a été facilité par la structure même de certains documents, tels que les propositions de projet : elles comportent un chapitre intitulé "State of the Art", faisant une analyse de l'état de l'art sur la question des mémoires Mram. On peut donc, au fil des versions de ces documents, savoir ce qui est considéré comme vrai, et ce qui est une piste à explorer. En triangulant ces analyses avec les autres documents à notre disposition, nous avons donc pu établir une lecture en CK du processus. Celle-ci a été ensuite soumise à des scientifiques participant au projet, (en particulier Paulin et Jim), ce qui nous permet de présenter ici une version CK stabilisée et acceptée par nos interlocuteurs.

□ **La limite dans l'échelle verticale d'analyse du processus MEMORY est donc fixée par l'activité collective des concepteurs pour actionner les opérateurs de conception tout le long de ce processus.**

7.1.3 Repérer les ingrédients

Au cours du processus MEMORY, nous avons pu collecter au fil de l'eau un grand nombre de messages Mél échangés entre participants (plus de 170 Méls par exemple), des documents produits par les partenaires, des rapports, des comptes rendus d'activité, etc. Nous avons donc une très importante source de données secondaires, d'artefacts produits par le collectif, dans lesquels on peut trouver de nombreuses traces de l'activité du collectif, et comprendre en partie la manière dont des ingrédients du processus sont utilisés, subis, mobilisés pour concevoir les eMRAM. Cette source d'information vient s'ajouter aux entretiens individuels et aux observations menés durant notre participation à MEMORY. Comment, dans cette masse de documents écrits, isoler les ingrédients pertinents, ceux actionnés par le collectif pour mener les opérations de conception décrites par la théorie CK ?

a) Méthodologie

Nous avons choisi de réaliser un codage de nos données qualitatives. Le codage des données qualitatives consiste à attribuer à des unités d'analyse (dans des données textuelles cela pourra être un mot, une phrase, un paragraphe) une signification particulière qui peut être résumée par un code, ou une "catégorie". Il y a deux façons de construire ces codes (Allard-Poesi, 2003). D'une part, les codes peuvent venir d'un cadre théorique, et sont donc définis *a priori*, avant l'opération de codage. D'autre part, les codes peuvent émerger de l'analyse elle-même, selon un raisonnement de type inductif et sont donc construits *a posteriori*, comme c'est le cas dans des démarches de type théorie enracinée (Glaser & Strauss, 1967).

Bien entendu, ces deux manières de coder ne sont que des idéaux types. Dans la réalité de la recherche et des opérations de codage, il peut y avoir un ré-enracinement nécessaire des catégories définies *a priori* (un aspect de la réalité n'est pas pris en compte par une catégorie prédéfini, ou alors une catégorie s'avère difficile à opérationnaliser), de même que l'induction s'appuie le plus souvent sur des *a priori*, des orientations, des préférences du chercheur, c'est à dire sur des catégories plus ou moins précises projetées par le chercheur sur ses données.

C'est dans une telle démarche que nous nous sommes situés. Notre codage s'est appuyé sur quelques catégories de base, issues de la littérature et de notre cadre conceptuel. Dans le cours du codage de nos données, nous avons cependant dû réaménager nos codes, afin de développer peu à peu un jeu de catégories stable, plus à même de saisir la variété des ingrédients que nous découvrons dans nos données. Cette démarche mixte est qualifiée de "*a prio-steriori*" par Allard-Poesi (2003 p277).

Nous retraçons le déroulement de ce codage plus loin. dans cette section.

b) Le logiciel utilisé

Il existe aujourd'hui de très nombreux logiciels permettant d'automatiser ces opérations de codage. Nous avons choisi d'utiliser **le logiciel TAMSANALYZER**, développé par Matthew Weinstein. Proposé sous licence libre, ce logiciel permet à un utilisateur d'attribuer des codes à des données textuelles. Il peut être facilement téléchargé sur internet et est compatible avec le système d'exploitation OSX de Macintosh. Ce logiciel présentait pour nous de multiples avantages :

- Son utilisation est gratuite, puisqu'il est distribué sous licence libre.
- Le logiciel propose un interface graphique d'une grande simplicité, facilitant une prise en main rapide.
- Fonctionnellement, il offre une grande souplesse de codage : on peut faire évoluer les codes en cours de codage, on peut faire de regroupement de codes, de hiérarchies de catégories, etc.

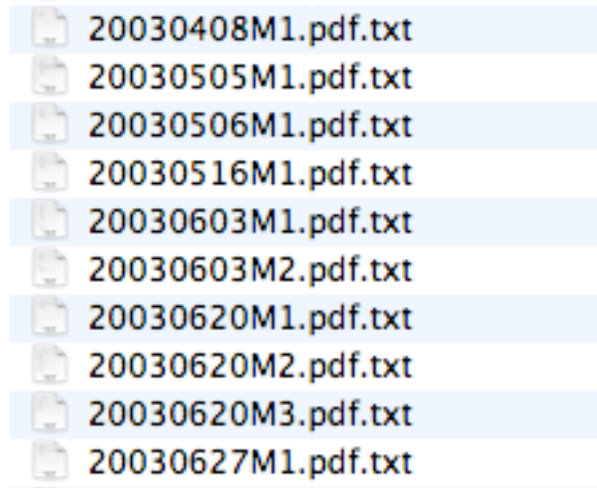
c) Déroulement du codage

Il nous a fallu dans un premier temps organiser nos données secondaires afin de les rendre plus facilement exploitables pour notre analyse, et les rendre compatibles avec TAMSANALYZER. Nous avons donc dû dans un premier temps convertir nos documents en fichiers textes indépendants. Chaque fichier a été nommé selon la convention suivante :

AAAAMMJJNomdefichier.txt

Où AAAA correspond à l'année de création du document, MM au mois et JJ au jour. Cette convention permet de lister automatiquement les documents dans l'ordre chronologique d'apparition au cours du projet, comme représenté ci-dessous (M1 est le Mél n°1 de la journée) :

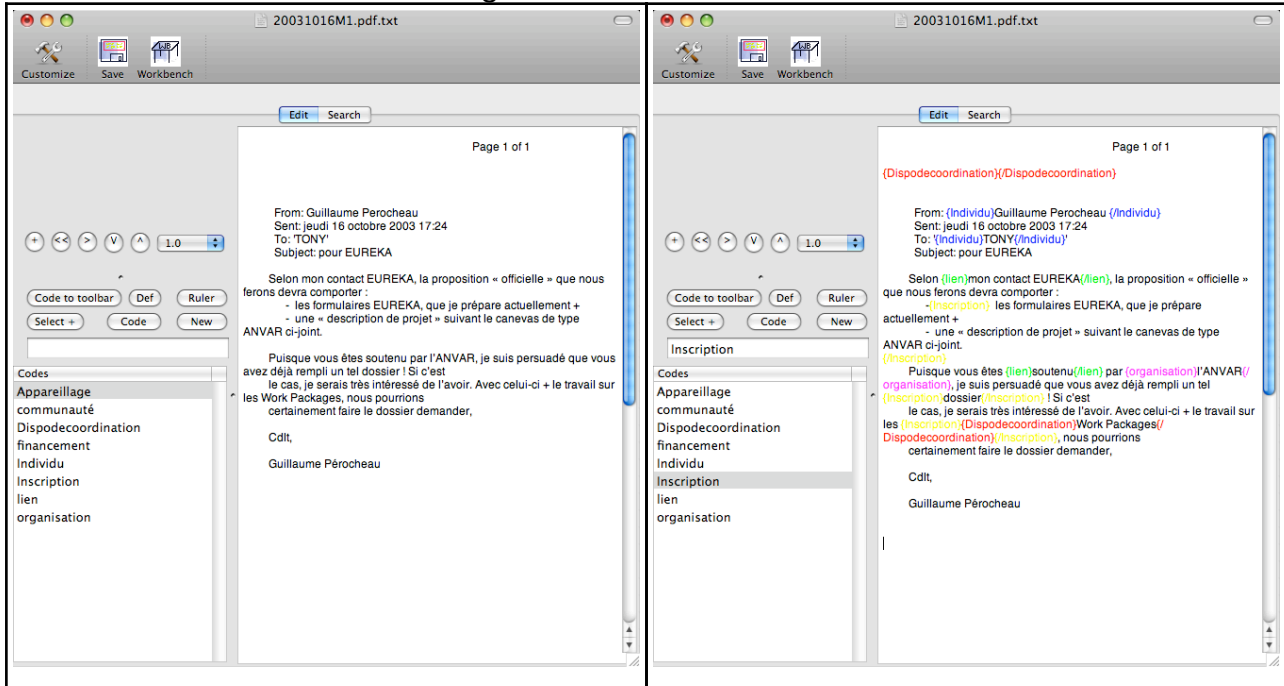
Illustration 2: Extrait du répertoire des données secondaires



Les entretiens individuels, comportant des données rétrospectives, et pouvant concerner diverses périodes de ce processus, ont été traités à part. L'ensemble de ces documents a ensuite été importé dans TAMSANALYZER.

Le logiciel permet, dans un second temps, d'ouvrir un à un chaque document puis d'attribuer à un mot ou à un groupe de mot un code. Ce code peut être prédéfini, ou il peut être créé à la volée si un ingrédient hors catégorie apparaît. L'attribution d'un code est simplifiée et se réalise par la sélection d'une unité d'analyse à l'aide de la souris dans le document, puis un double click sur un code dans la liste à gauche. Nous insérons ci-dessous un exemple de texte avant (à gauche) et après codage (à droite) dans le logiciel :

Illustration 3: Codage d'un document dans TAMSANALYZER



Cette première étape de codage a été la plus fastidieuse. Dans l'exemple ci-dessus, nous voyons les 8 catégories vers lesquelles nous avons finalement convergé. Pourtant, au départ de cette opération, nous avons réalisé un codage avec beaucoup plus de codes, en laissant émerger un grand nombre d'ingrédients différents. Les codes choisis ici étaient en partie issus de la revue de littérature exposée dans la première partie de cette thèse, d'autres s'étant imposés en cours de codage.

Dans un deuxième temps, ces codes ont été regroupés par proximité de sens, de façon à obtenir un nombre limité de méta-catégories. Ces catégories ont été elles mêmes modifiées par itérations. **La catégorie "connaissances", par exemple, a dû être abandonnée**, car elle nous semblait trop difficile à opérationnaliser. Bien entendu, cela ne remet pas en cause le rôle central des connaissances dans un processus collectif d'innovation. Nous pensons simplement (ce que la revue de littérature confirme) que "la connaissance" est trop complexe pour être captée par une seule catégorie distincte.

En revanche, on peut très facilement décrire le rôle des connaissances en faisant référence à des assemblages d'ingrédients. Un "article scientifique" par exemple, est dans notre catégorisation d'ingrédients une "inscription". Il ne devient **une connaissance mobilisée dans le processus de conception** que si un *individu* (ingrédient) après lecture de cet *article* (ingrédient), modifie sa façon de voir, de penser, voire d'utiliser un *outil de mesure* (autre ingrédient). Ainsi, lorsque nous disons que *le concept MEMORY utilise la connaissance de l'effet de Spin des électrons*, il nous faut décrire le

jeu d'ingrédients qui permet à cette "connaissance" d'être réellement intégrée au concept des eM-RAM, de permettre une partition du concept, inscrite sur un document. Cette décomposition de la connaissance en ingrédients assemblés dans l'action s'inspire de l'apport de Cook et Brown (1999) vu plus haut, qui insiste sur l'importance du *knowing*, de cette part de la connaissance qui se révèle dans l'action.

En faisant cela, nous évitons aussi de créer une catégorie très large, fourre tout, dans laquelle on pourrait placer pêle-mêle un savoir-faire, un brevet et un expert du magnétisme. Dans notre taxonomie, nous captions ces différents aspects de la connaissance respectivement dans les catégories communautés (pour le savoir-faire), inscriptions (pour le brevet) et individu (pour l'expert).

Nous reviendrons en détail par la suite sur la liste finale des catégories d'ingrédients utilisés dans notre analyse. Mais nous insistons ici sur la façon dont cette liste a été établie, **nécessitant plusieurs codages successifs de nos documents**, certaines catégories émergeant au cours de notre processus de codage. Notons que ce jeu d'allers et retours, d'enchaînement de codages, a été décrit par des experts du codage des données qualitatives (Huberman and Miles, 1991).

Nous avons stabilisé le nombre de catégories prises en compte au moment où elles nous permettaient d'arriver à saturation des sources, c'est à dire à répertorier l'ensemble des ingrédients significatifs présents dans nos datas, tout en offrant des catégories ayant un niveau acceptable de distinction, ayant une ambiguïté faible.

Nous reproduisons ci-après les regroupements de codes dans les 8 catégories définitives :

Tableau 7: Regroupement des codes en catégories d'ingrédients

Codes	Catégories
Expert - Scientifique - Chef de projet - Etudiant	Individus
"to" - contact, ami - lien hiérarchique - anciens projets	Liens
Matières premières - Echantillons - Prototypes - wafer - Outils de mesure - Salle blanche et ses outils	Appareillages techniques

Jargon - Nous, on - exrpession "Dear Collègues, Dear MEMORY partners - Communauté	Communautés
Réunions - Gantt - Process Flow - Forum - Bu- reaux, hotels, salles de réunion - médias (télé- phone, mél)	Dispositifs de coordination
Laboratoires - PME - Industriel - Administration - Consortium - Association	Organisations
Articles - Compte rendus - Rapports - Contrats - Propositions	Inscriptions
Subvention - Salaire - Budget - Investissement - Capital	Financement

d) Validation des catégories

Pour améliorer la validité des catégories proposées, nous avons travaillé avec deux codeurs, conformément aux recommandations de Miles et Huberman (1991). Le but de cette opération est de faire effectuer le codage d'un échantillon des données par des tiers, afin de mesurer quelle est la différence d'interprétation entre deux observateurs analysant un même corpus. Le *taux de fiabilité* est calculé de la façon suivante :

$$Tx = \text{Nombre d'accords entre le chercheur et le codeur} / \text{Nombre d'unités codées}$$

La difficulté de ce double codage est que les données dont nous disposons sont fortement spécialisées : en plus des entretiens individuels, elles sont constituées par des échanges entre experts (le plus souvent en anglais, dans le cadre d'un projet de R&D), de rapports techniques, de compte rendus de réunions de travail, etc. Il y a donc nécessairement un "ticket d'entrée" dans ce corpus, une première familiarisation nécessaire pour être capable, dans un deuxième temps, d'interpréter les données. Nous avons résolu ce problème en choisissant **des codeurs ayant une relative intimité avec notre objet de recherche**, ce qui leur a facilité l'entrée dans ce corpus :

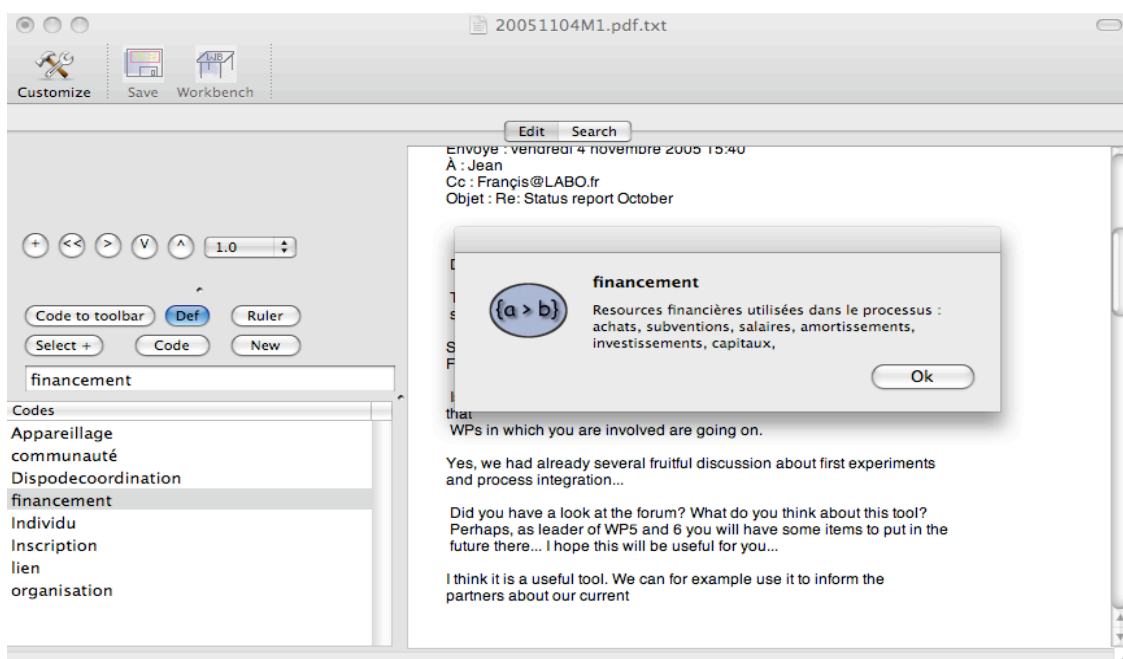
- Le premier codeur est Jim, un spécialiste du management des projets collaboratifs, consultant chez SPARKS Innovation. Ingénieur en Electronique de formation il est habitué à participer à des projets du PCRD. De plus, il est lui même un participant du processus MEMORY. Jim a donc un double avantage : il peut facilement interpréter notre corpus, qui correspond à sa pratique profes-

sionnelle, et **il nous permet d'avoir une validation directement issue du terrain d'investigation.**

➤ Le deuxième codeur est Damien Brochier, sociologue des organisations et chercheur au CE-REQ, qui fait parti de notre comité de suivi de thèse et qui connaît donc bien notre recherche. En revanche, il est moins familier que Jim du terrain MEMORY. Ce recul offre donc un regard plus extérieur au cas traité.

L'utilisation du logiciel a permis de faciliter cette opération de codage. Avec TAMSANALYZER il est aisé d'extraire un morceau de corpus, puis de le soumettre à un tiers. De plus, il est possible d'assigner à chaque catégorie un descriptif, que le codeur peut consulter à tout moment lors de son codage en pressant l'icône "Def" (voir ci-après). La définition des catégories est basée sur le premier codage que nous avons effectué, regroupant des définitions très explicites d'ingrédients. Ce double codage nous permettait donc également de vérifier si nos catégories étaient bien définies et si elles permettaient bien de prendre en compte l'ensemble des ingrédients détectés. Le codeur, en outre, gardait la possibilité d'ajouter des catégories si besoin.

Illustration 4: Ecran de codage avec descriptif des catégories



Nous avons extrait deux corpus de nos données, représentant chacun 10% du total de notre base de documents. Nous avons fait en sorte que chaque corpus soit représentatif de la composition de notre base de données (chacun comporte quinze Méls, un entretien, et deux documents techniques, ce qui correspond aux proportions dans nos données) et que chaque corpus soit parfaitement différent l'un de l'autre.

Lors d'une première vague de codage, le taux de fiabilité de Jim a été calculé à 73% et celui de Damien Brochier à 59%. Nous avons discuté individuellement avec chacun des codeurs sur les différences d'interprétation ainsi calculées afin d'en identifier les sources. Nous avons identifié **deux sources principales à ces variations** :

- Des **variations liées à la méthode de codage** : par exemple, là où nous avons codé une seule fois dans un mél le nom d'un individu, les codeurs avaient codé le nom à chacune de ses apparitions. De même, certains éléments comme les adresses Mél figurant en tête des messages (l'adresse est souvent composée du nom d'une personne et du nom d'une organisation), pouvaient être codés soit comme "individu", soit comme "organisation"... Soit comme les deux à la fois.
- Des **variations liées à des différences d'interprétation** : des ingrédients peuvent être codés dans deux catégories. C'est le cas en particulier de certaines inscriptions, qui sont aussi utilisées comme des dispositifs de coordination. Citons par exemple le "Process Flow", un document visant à décrire les étapes de fabrication des plaques de silicium qui seront produites lors du projet. Ce process flow est bien, au début du projet, une inscription : il réunit des informations techniques, des descriptions détaillées du prototype visé, et comporte ainsi des connaissances explicites codifiées. Il devient dans la suite du projet un dispositif de coordination, puisqu'il sert de référence aux divers partenaires en décrivant l'enchaînement des tâches à réaliser. La nature de l'ingrédient évolue ainsi au cours du processus.

Après discussion avec les codeurs, nous avons décidé de normes de codage communes : une adresse Mél est codée à la fois comme individu et comme organisation, et un même ingrédient présent dans un document est codé à chaque occurrence. Pour ce qui est de l'interprétation des ingrédients, nous avons décidé qu'un ingrédient pouvait être codé dans plusieurs catégories si nécessaire.

Après un deuxième codage des échantillons, nous avons obtenu un taux de fiabilité de 93% pour Jim, et de 89% pour Damien Brochier, ce qui est un taux suffisamment élevé pour que l'on puisse stabiliser les huit catégories choisies.

e) Limites du codage

Il nous semble essentiel de rappeler ici que notre recherche ne se situe pas stricto sensu dans une méthode de type "théorie enracinée". Par conséquent, notre codage n'a pas pour but de faire émerger des concepts, d'analyser les liens entre ces concepts, et de bâtir un cadre théorique induit. Comme nous allons le voir par la suite, certaines catégories d'ingrédients auxquelles nous faisons référence pourraient aussi bien être déduites de la littérature.

Le but de ce codage a été de construire un filet permettant d'attraper les ingrédients de ce processus. Grâce au codage, les huit catégories sont réenracinées dans la réalité de MEMORY. Par la suite, le codage nous a été utile pour décrire l'évolution du processus dans toutes sa complexité, voire parfois son ambiguïté. Ce codage doit être vu comme un outil permettant la réduction de nos données, de les ramener à des dimensions analysables, de ne pas "crouler sous les données", ce qui est un danger connu des recherches processuelles.

7.1.4 Les ingrédients du processus d'innovation

Ci-dessous, nous détaillons chacune des 8 catégories définitives de notre codage. Nous rappelons le périmètre de chaque catégorie, disons en quoi la catégorie correspond par définition à un ingrédient (une ressource et un contrainte du processus, pouvant être source d'irréversibilités). Nous raccrochons également ces catégories à des concepts issus de la littérature lorsque cela est pertinent.

a) Les Individus

Nous avons constaté que des individus, occupant des fonctions très diverses, participent à l'activité de conception (ingénieurs, personnel technique, chercheurs, étudiants, etc.). Individuellement, chacun de ces individus peut être considéré comme étant, à un moment donné, un ingrédient de ce processus. Les individus sont une **ressource** pour le processus : ils raisonnent, créent des connaissances, se coordonnent, inventent, testent, etc. Il sont aussi une **contrainte** pour ce processus : leur rationalité a des limites, leurs connaissances aussi : ils peuvent se tromper, ou plus simplement ne pas savoir. Ils ne sont pas toujours disponibles (dans les faits, un même chercheur peut participer à plusieurs projets, entre lesquels il doit souvent arbitrer), et leur agenda comme leurs objectifs personnels peuvent contraindre le processus.

Les individus peuvent aussi être source d'irréversibilités pour le processus (c'est à dire que cet ingrédient peut changer de façon irréversible, ce qui peut modifier le cours d'un processus). Un individu peut par exemple devenir indisponible dans le processus, alors qu'il en constituait un élément clé. Au contraire, le processus peut recevoir la participation inattendue d'un nouveau chercheur, d'un chef de projet, d'un ingénieur, qui va parvenir à résoudre un problème, ou à sortir le projet d'une situation de blocage.

Dans la littérature, le rôle essentiel des individus dans un processus d'innovation est évoqué depuis longtemps (on pourrait remonter à Schumpeter). Dans notre revue sur les collectifs innovants, nous avons souvent insisté sur l'importance de certains individus pour passer les idées, traduire, établir un pont entre diverses portions du réseau (par exemple Burt, 1992, Burt, 2004, Obstfeld, 2005).

b) Les organisations

Des organisations, là aussi très diverses, participent au processus collectif MEMORY : industriel, PME, université, laboratoires sont des organisations auxquelles on pense spontanément. Mais il faut y ajouter d'autres formes organisationnelles. Les pouvoirs publics sont des acteurs incontournables de ce processus, au travers d'agences gouvernementales de support à l'innovation (comme par exemple l'ANVAR) ou au travers d'administrations (comme la Direction Générale de la Recherche de la CE).

En tant qu'ingrédient, ces organisations sont des **ressources**. Elles fournissent le processus en moyens humains, techniques, financiers, logistiques, etc. Elles peuvent aussi constituer une **contrainte** pour les processus. Toute organisation porte des règles de gestion, implique un organigramme, une ligne hiérarchique, est soumise à des contraintes budgétaires, etc. Or, une règle de gestion portant par exemple sur la commande de matériel peut être une contrainte dans un processus. Dans le cadre d'un projet en cours, les individus ont parfois besoin d'acheter un nouvel équipement. Or, cet achat doit suivre les règles administratives d'un laboratoire ou d'une entreprise. Dans certains cas, ces règles administratives peuvent imposer des limites budgétaires ou des délais sur l'achat envisagé.

Les organisations sont aussi source **d'irréversibilité** dans le processus. Une PME peut par exemple disparaître suite à sa mise en liquidation. On alors une modification des ingrédients "organisation" qui vient bouleverser le processus en cours. Une organisation comme l'ANVAR peut aussi décider de financer ou pas tel ou tel projet candidat à un financement. Par une telle décision, elle va donc largement influencer sur le cours d'un processus en émergence.

La littérature sur les RIOI confirme parfaitement cette place des organisations dans des processus d'innovation. Des organisations mettent en commun des ressources, partagent des objectifs, constituent diverses formes de partenariats pour mener à bien des processus complexes (Freeman, 1991, Grandori, 1997, Gulati and Gargiulo, 1999)

c) Les liens

Dans certains cas, les liens seront une **ressource** du processus : des liens faibles vont permettre d'accéder à des informations non redondantes, des liens forts vont faciliter des transferts de connaissances complexes. Nous avons constaté également que ces liens pouvaient être une **contrainte** dans un processus. Par exemple, des liens faibles peuvent être insuffisants pour permettre un transfert de connaissances complexes, car de tels liens peuvent révéler une grande distance cognitive entre deux individus et entre deux portions du réseau décrit, ou entre deux communautés. De même, il y a toujours des dangers de sur encastrement de l'activité : en préférant collaborer avec un chercheur duquel on est fortement lié, on peut se contraindre à une vision par défaut, celle du chercheur en question, on peut manquer d'autres opportunités (il existe peut-être des alternatives technologiques ou scientifiques très pertinentes, portées par des chercheurs qui ne sont pas dans mon réseau social).

Enfin, les liens évoluent au cours du processus. Ils peuvent évoluer suffisamment pour être à l'origine de modifications **irréversibles** qui vont dévier un processus en cours. On peut par exemple imaginer que si le lien entre deux chefs de projet se dégrade, si par exemple leur confiance mutuelle diminue, cela va modifier les capacités de coordination d'un projet collectif (chacun pouvant alors pratiquer de la rétention d'information). Inversement, si des individus qui ne se connaissaient pas jusqu'alors entament une collaboration riche dans le cadre du projet (création d'un lien fort), le processus en cours va être influencé par cette nouvelle connexion dans le réseau social.

Dans la revue consacrée aux collectifs d'innovateurs, on a montré l'importance des interstices entre communautés, et l'importance des liens entre individus. L'existence de liens entre individus semble essentielle, que l'on soit dans une vision par les réseaux (la force des liens, les trous structurels) ou dans une vision par les communautés (voir le rôle central des traducteurs, des knowledge brokers).

d) Les communautés

Les communautés sont des **ressources** pour le processus. Elles permettent de développer localement des connaissances, de faciliter l'apprentissage. Par exemple, le fonctionnement d'une salle blanche repose en partie sur des connaissances tacites, qui sont développées et acquises dans la pra-

tique. Sans une communauté d'ingénieurs, de chercheurs et de techniciens, regroupés autour de ces installations, il est difficile de faire fonctionner une telle infrastructure.

Elles peuvent pourtant aussi constituer une **contrainte**. D'une part parce que les communautés poussent parfois à une spécialisation locale des savoirs, que l'on peut par exemple repérer dans l'utilisation de jargons spécifiques. Lorsqu'un électronicien parle d'une "Galette", en faisant référence à une tranche de silicium, il peut ne pas être compris par un chimiste spécialisé des matériaux, ce qui ne va pas faciliter la coordination ou l'échange de connaissances.

Enfin, les communautés sont à l'origine d'**irréversibilité** dans les processus d'innovation. Nous l'avons vu plus haut, une communauté est dynamique (dialectique participation / réification). Son engagement mutuel, son répertoire commun, ses objets réifiés sont en évolution et sont renégociés entre les membres. La pratique réelle d'une communauté est mouvante et se différencie de la pratique canonique et prescrite, souvent de l'extérieur. Cette instabilité des communautés, leur propension à faire évoluer dans le temps la signification de ce qui les entoure, va infléchir les processus d'innovation auxquels elles participent.

Dans l'état de l'art, les communautés, ingrédients de processus d'innovation, sont par exemple au coeur des travaux de Brown & Duigid (1991, 1998).

e) L'appareillage technique

Le processus d'innovation, en particulier lorsqu'il s'appuie sur l'intégration de technologies de pointe, repose sur l'utilisation d'infrastructures techniques : microscopes, fours, appareils de gravure, salles blanches, calculateurs, logiciels, sont autant d'outils dont on a besoin pour concevoir une mémoire informatique. Mais il faut ajouter à ces outils un certain nombre d'objets, plus ou moins élaborés, qui transitent et sont utilisés sur par ces installations : galettes de Silicium, matériaux magnétiques, consommables, sont aussi des ingrédients de ce processus.

Cet appareillage est une **ressource** pour le processus d'innovation. Tester le concept d'eMram, par exemple, n'est possible que si l'on est capable de déposer sur du silicium des nano-couches de matériaux spécifiques. Cela requiert des installations complexes, des matériaux rares, qui doivent nécessairement être utilisés dans le processus.

Mais ces outils ou matériaux sont aussi une **contrainte** dans le processus. Par exemple, un microscope électronique, aussi précis soit-il, possède une résolution maximale et n'est utilisable que sous certaines conditions. Au delà de cette limite, il est aveugle. Ce qu'il permet donc de voir est limité de par ses caractéristiques propres, limites que les concepteurs doivent prendre en compte. De plus,

certaines infrastructures très coûteuses, comme les salles blanches, sont mutualisées entre divers projets, et servent donc à de multiples projet. Une salle blanche a donc un agenda, qui impose sa temporalité aux processus qui l'utilisent.

L'appareillage technique est une source importante **d'irréversibilités** dans les processus. Les outils peuvent tomber en panne de façon imprévue. Ils peuvent aussi être remplacés par d'autres plus sophistiqués. Toute évolution de ce type va forcément influencer sur le processus en cours : elle peut rendre impossible certaines expériences, ou au contraire ouvrir de nouvelles pistes d'investigation.

Le rôle des objets techniques dans l'innovation a souvent été étudié. Par exemple, pour une communauté de pratique (Wenger, 1998), une telle installation est un objet frontière : son fonctionnement nécessite d'être un membre de cette communauté, pour en connaître le fonctionnement réel, qui peut intégrer des connaissances tacites. De même, dans la SAR, une telle installation est un actant, essentiel dans le réseau socio-technique qui environne un chercheur.

f) Les inscriptions

Comme l'a bien montré la SAR, les phénomènes observés et testés dans un projet collaboratif d'innovation laissent des traces : des instruments de mesure dessinent des graphes représentant le signal enregistré dans un wafer, des spectrographes permettent d'évaluer la quantité de métal déposé sur le silicium, des microscopes électroniques permettent d'apercevoir l'aspect d'une surface nano-structurée, etc. Ces inscriptions sont ensuite combinées dans des rapports scientifiques : rapport d'analyse, reporting techniques, compte rendu d'avancement. Ces inscriptions combinées peuvent aussi faire l'objet d'articles scientifiques, de brevets, de communications pour des conférences.

Les inscriptions sont des **ressources** dans un processus d'innovation. Elles permettent de "transporter" un phénomène d'un endroit à un autre. Dans MEMORY par exemple, c'est un laboratoire situé en Angleterre qui teste les caractéristiques électriques des échantillons produits. Les résultats de ces tests sont alors "inscrits" sur des rapports papier, et diffusés vers les partenaires du projet (ils n'ont pas besoin de venir par eux même à ONYX pour superviser les tests , et observer les écrans des oscilloscopes).

Les inscriptions sont aussi une **contrainte** dans un processus. Comprendre et interpréter le résultat d'une batterie de tests sur les caractéristiques magnétiques d'un Wafer est à la portée de peu de personnes. L'inscription n'a donc de sens que si elle est lue et interprétée par le bonne personne. En ce sens, l'inscription impose la participation de tel ou tel individu à un moment bien précis dans le processus.

Des inscriptions peuvent devenir des sources **d'irréversibilité** dans un projet. Par exemple, si un rapport de tests semble démontrer que telle option technologique n'est pas viable, ne produit pas des résultats acceptables, il vient fermer (souvent définitivement) une piste de conception. Le rapport devient donc un élément décisif pour comprendre l'orientation prise par le processus, pour comprendre qu'il y a désormais des itinéraires que sont difficilement empruntables.

Dans la littérature, la SAR a bien entendu donné une place essentielle aux inscriptions (Latour, 1985). Ces inscriptions correspondent également aux objets réifiés dans les communautés de pratique (Wenger, 1998).

g) Les dispositifs de coordination

Le processus d'innovation implique que l'activité soit consolidée, ce qui nécessite une coordination entre les partenaires. Cette coordination s'appuie sur des dispositifs variés : contrats, procédures écrites, planning du projet, site extranet de collaboration, téléphones, méls, salles de réunion, etc. Ces dispositifs sont d'autant plus importants que l'activité, dans un consortium, est complexe et éclatée entre diverses organisations, dans plusieurs pays.

Ces dispositifs sont une **ressource** pour le processus d'innovation. Un partenaire va suivre un *plan de travail* pré-établi, afin qu'il puisse créer des livrables à temps, et selon des caractéristiques précises. Le chef de projet qui suit cette réalisation va prévenir ses partenaires par *mél* en cas de problème, de déviation, de retard. On va se *téléphoner* pour faire des arbitrages. Des questions sont laissées sur des *Fora* de discussion, etc. Bref, ces dispositifs rendent possible l'action coordonnée des partenaires.

Ces dispositifs sont aussi une **contrainte**. Un dispositif de coordination peut être temporairement hors service (un site extranet peut être en maintenance). Le mél par exemple impose souvent une coordination non synchrone, il ne fait pas passer les informations non verbales, il peut être perdu, ou redirigé vers des destinataires non prévus par le premier expéditeur, ce qui pose des questions de confidentialité.

Les dispositifs de coordination sont source **d'irréversibilités**. Un site extranet par exemple peut évoluer dans le temps, offrir de nouvelles fonctionnalités. Cela va pouvoir modifier la capacité des acteurs du processus à se coordonner et va infléchir sur l'évolution du processus. De même, des dispositifs écrits, comme des procédures, ou un GANTT, est un dispositif visant à une certaine prescription du travail. Un tel dispositif fixe ainsi clairement une pente pour le projet, de laquelle il peut être difficile de sortir.

Dans la littérature exposée dans cette thèse, les dispositifs de coordination et leur influence sur les processus d'innovation ne sont pas directement traités. En codant nos données, pourtant, il nous a semblé essentiel de les regrouper dans une catégorie à part entière, tant ils pèsent à différents moments sur le cours de MEMORY. Notre intérêt pour cette catégorie d'ingrédients s'enracine surtout dans notre propre pratique de consultant. En tant que praticien, nous avons remarqué à quel point, dans un projet éclaté dit collaboratif, où des équipes doivent interagir à distance, ces dispositifs étaient des points essentiels pour qu'une certaine coordination des efforts puisse se faire.

h) Le financement

Un processus de conception, en particulier dans une industrie comme l'électronique, est un processus coûteux. Le financement se fait bien entendu sur les fonds propres des organisations (les budgets de recherche des laboratoires, les capitaux des entreprises privées). Il peut aussi se faire grâce à des subventions accordées par divers organismes finançant la R&D : le PCRD, l'ANR, l'Anvar, sont autant d'institutions dont l'une des raisons d'être est de fournir un financement pour faciliter des projets collectifs d'innovation.

Les financements sont donc une **ressource** essentielle dans le processus. Ils permettent *d'acheter* les matières premières, parfois très coûteuses (plusieurs milliers d'euros pour un simple Wafer). Ils sont nécessaires pour *investir* dans des équipements et des matériels. Ils servent à verser des *salaires* aux experts, ou encore à *acquérir des droits* d'utilisation pour des brevets. Un projet collaboratif a aussi un *coût de coordination* nécessaire pour assurer les tâches administratives de reporting, pour effectuer des voyages de coordination, etc.

Les financements sont aussi une **contrainte** pour le processus. Cet ingrédient a souvent une *temporalité propre*, avec des versements à dates fixes, ce qui impose un certain "tempo" au processus (il faut parfois attendre le premier janvier pour acheter tel équipement, alors qu'il serait nécessaire le 30 Juin !). Les financements ont une *limite numéraire*, et fixent donc, *a priori*, une quantité d'effort et d'investissement maximum au projet. Enfin, les financements sont presque toujours liés à des *contre parties* en termes de résultats, de reporting, de moyens mis en oeuvre qu'il faudra savoir justifier aux bailleurs de fond, qu'ils soient publics ou privés.

Les financements sont source **d'irréversibilités** dans un processus. Il peut arriver, par exemple, qu'une subvention soit revue à la baisse en cours de projet, ce qui va inmanquablement infléchir son déroulement : il faut alors annuler telle expérimentation, abandonner une piste de conception, raccourcir un contrat avec un chercheur, etc. Inversement, l'arrivée d'un financement au cours d'un

processus, lié par exemple à une réponse positive à un appel à projets, peut provoquer une accélération dans le processus en cours, l'ouverture de nouvelles possibilités.

Là encore, la place des financements n'est que rarement traitée dans la littérature prise en compte ici. Pour un praticien de l'innovation, ce point est étonnant, tant on sait l'importance prise par la recherche de financements dans les laboratoires, pour les PME, pour les industriels, qui dédient souvent des équipes spécifiques à cette tâche. Nous suivons donc les questions de financement dans une catégorie à part entière.

i) Tous ces ingrédients sont combinés dans le processus

Reprenons encore une fois l'exemple du Process Flow, que Hector tente de mettre en place au début du projet. Le Process Flow est un document qui vise à détailler ce que sera le travail à réaliser par les différents partenaires pour produire les différents échantillons de Wafer devant être testés dans le cours du projet. En ce sens, c'est un ingrédient de type "*dispositif de coordination*" : par la suite, dans ce projet, le Process Flow est un document de référence, les divers chefs de projet tentent de suivre le flux de travail qui y est décrit. Cependant, ce document permet aussi de réunir des connaissances sous une forme codée, c'est aussi une *inscription*. Pour mettre au point ce document, Hector a du contacter de nombreux *individus* participant à ce processus. Il doit même se déplacer pour rencontrer certains de ses collègues, dépense qui est prise en charge par un *financement* alloué au projet. Chacun de ces individus est censé réaliser des opérations de transformation complexes sur des wafer, en utilisant des installations très spécifiques (*appareillage technique*) qui sont utilisées par des groupes de techniciens dédiés formant entre eux de véritables *communautés* de pratique. Un des problèmes alors rencontré par Hector, c'est qu'il n'est pas nécessairement en contact direct avec les individus qui, réellement, feront les opérations de transformations des wafer. Une des raisons à cela étant que ces individus sont employés dans plusieurs *organisations* indépendantes les unes des autres. Il y a des intermédiaires entre lui et les techniciens, et donc des *liens*, qui sont ici mobilisés pour obtenir de l'information sur les procédures de production.

Section 7.2 Description du déroulement temporel du processus collectif d'innovation MEMORY

Dans cette section, nous décrivons comment, à partir des données empiriques réunies de Mai 2005 à Décembre 2006, et codées selon les catégories d'ingrédients, nous avons décrit le déroulement temporel du processus MEMORY. Ce découpage temporel est pour nous essentiel, parce qu'il permet d'isoler dans le temps des unités d'analyse, des "moments" différents. Or, ce qui nous intéresse ici, c'est justement d'observer l'existence de couplages horizontaux pour les ingrédients de conception : il est donc nécessaire pour nous de découper le processus en unités distinctes, entre lesquelles on pourra observer des liens temporels.

7.2.1 Recherche sur le processus versus recherche sur le contenu

Les objets de recherche peuvent être abordés selon deux approches, qui peuvent être complémentaires. Grenier et Josserand (Grenier and Josserand, 2003) parlent de recherches sur le contenu et de recherches sur le processus. Dans une recherche sur le contenu, l'objet est analysé en termes de « stock ». Il est composé d'un ensemble d'éléments que le chercheur va tenter de découvrir, de mettre en relation. Ce type de recherche pourra être utilisé pour décrire en profondeur un phénomène, mais aussi pour l'expliquer. La métaphore la plus souvent utilisée pour illustrer ce type de recherche est celle de la photographie : le chercheur dispose d'une vision statique d'un objet, et à partir d'une observation fine de ce cliché, il va tenter de décrire et / ou de comprendre l'objet ainsi photographié. Pour continuer à filer cette métaphore, on pourra nuancer en rappelant que, bien souvent, le chercheur va faire une analyse portant sur des centaines ou des milliers de photos, ce qui va lui permettre aussi de faire des comparaisons, de procéder à des analyses statistiques ou plus simplement de classer ces photos en grandes catégories (ce que revient à établir une taxonomie, à l'instar de ce que l'on fait par exemple dans les sciences du vivant, en classifiant les espèces).

Le tableau suivant est extrait d'un article de Branstetter et Sakakibara (Branstetter and Sakakibara, 2000) et est un exemple typique d'une recherche sur le contenu appliquée à l'objet de recherche « consortium de R&D ». Le but des auteurs est de définir quels sont les facteurs clefs de succès d'un consortium de R&D, du point de vue des organisations ayant participé à des projets collaboratifs. Le terrain d'investigation est un panel de 145 consortia de R&D au Japon. Comme on le voit,

l'analyse consiste à trouver dans ce stock de données (les auteurs ont 145 « photos ») un certain nombre de variables, puis de les lier entre elles afin de mesurer leurs dépendances. Il tentent ainsi de voir quel peuvent être les critères explicatifs de la performance des consortia, chaque concept (performance, critère) devant être lié à une ou des variables.

Tableau 8: Une liste de variables dans une recherche sur le contenu (Branstetter & Sakakibara, 2000)

Table 1. Summary Statistics

Variable name	Description	Number of observations	Mean	Standard deviation	Minimum	Maximum
Project Patenting	Number of patent applications by consortium <i>i</i> and member firms in the targeted technology class	178	12,750	28,604	0	151,871
Total patents	Number of patent applications by all firms in Japan in the targeted technology class	178	54,589	76,063	218	313,486
Total US patents	Number of U.S. patent grants in targeted classes	178	333.7	720.2	0	4,265
Real budget	Total consortia budget for consortium <i>i</i> in 1990 million yen	178	9,553	22,657	131	264,753
Pre-project patents	5-year average patenting in the targeted classes by consortium <i>i</i> participants prior to the start of a consortium	171	1,208	2,477	0	14,855
Real indirect inputs	Inputs to consortium <i>i</i> spilling over from other overlapping consortia, in 1990 million Yen	178	18,059	31,372	0	184,223

Notons que le temps n'est pas totalement absent de cette analyse : il est simplement pris en compte au travers d'une variable indépendante parmi d'autres, construite avec des éléments puisés dans le passé (voir la variable « Pre-project patient » dans le tableau ci-avant, par exemple). Une des limites des recherches sur le contenu est alors, pour reprendre le mot de Grossetti, de considérer que « *les effets sont contemporains de leurs causes* », puisqu'au final, on ne teste que la relation causale entre des éléments puisés dans un même stock, ou tout semble appartenir à un moment unique, celui où la photo aura été prise.

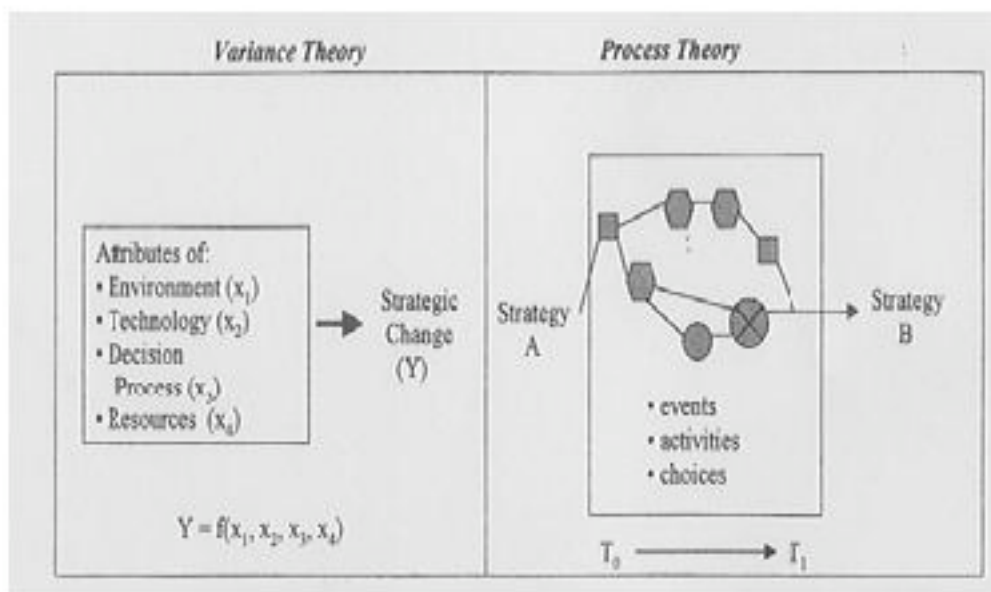
L'autre manière, qui peut d'ailleurs être complémentaire des recherches sur le contenu, pour étudier un objet de recherche peut être qualifiée de « recherche sur le processus ». Dans ce type d'approche, l'objet n'est plus vu comme un stock statique, mais comme un flux. On s'intéresse alors à son évolution dans le temps, et en particulier à son passé... En tentant parfois de faire des conjectures sur son avenir. Notre recherche se situe dans cette perspective.

7.2.2 Prendre en compte le temps : théories de la variance ou théories des processus ?

Selon Langley (Langley, 1999), il y a deux approches pour prendre en compte le temps :

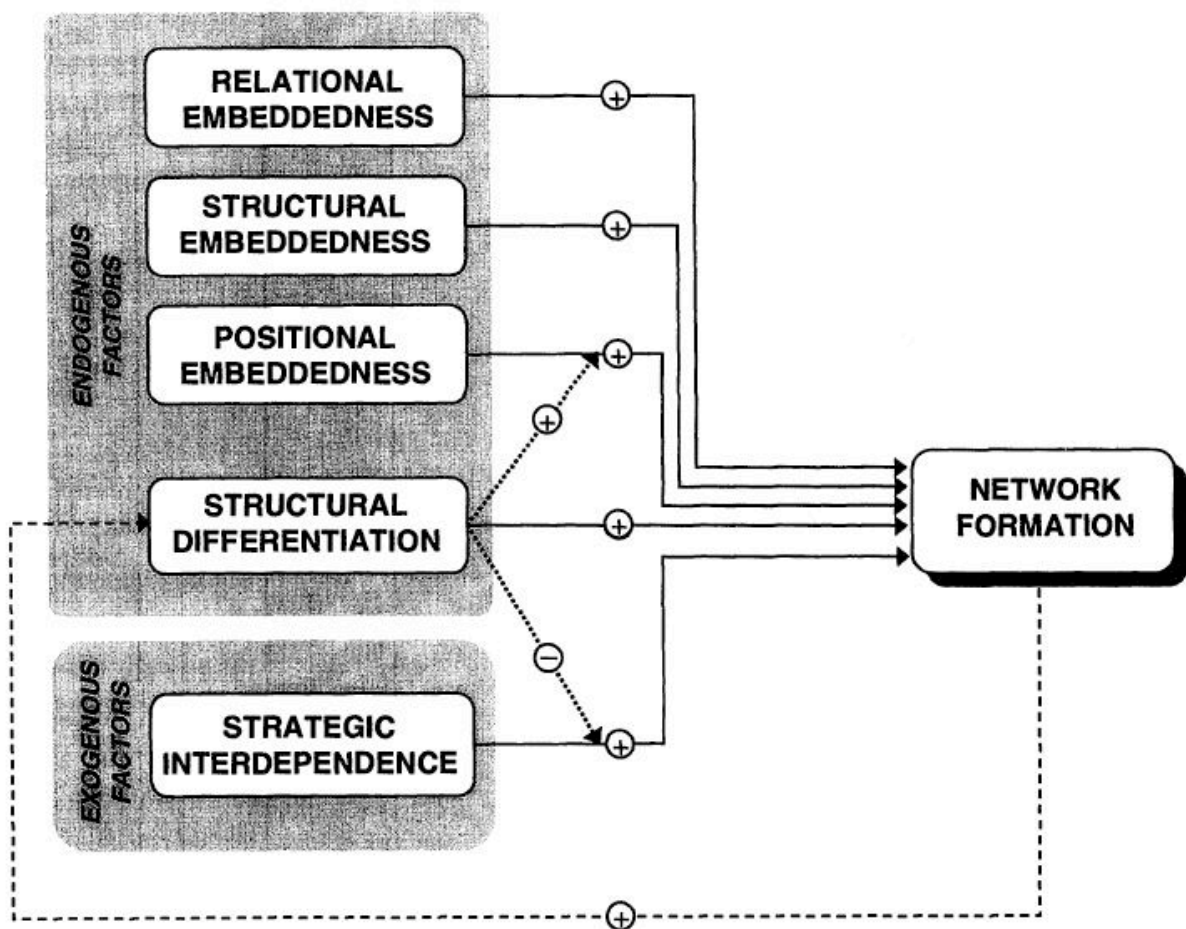
- les théories de variance
- les théories de processus

Schéma 15: Les théories de Variance ou de processus selon Langley (1999)



Dans une théorie de variance on va tenter d'établir des causalités entre des variables. Ces causalités vont être mesurées en particulier par des calculs de corrélation. Par exemple, Gulati et Gaggiolo (1999) ont tenté d'expliquer la formation de réseaux inter organisationnels en fonction des relations antérieures entre ces organisations. Le modèle théorique qu'ils proposent fait le lien entre diverses hypothèses (voir tableau ci-après), chacune de ce hypothèses étant ensuite opérationnalisée en variables.

Schéma 16: Un exemple de théorie de variance pour expliquer la création de réseaux d'organisations (Gulatti & Gargiullo 1999)



Nous voyons au moins deux limites à ce type de théorie dans le cas qui nous intéresse. D'une part, les théories de la variance ont tendance à « écraser le temps » (Abbott, 1990) : le fait de variabiliser les événements du passé enlève toute profondeur au temps. En particulier, son ordonnancement n'existe plus : qu'un événement se soit produit avant ou après une prise de décision essentielle ne sera pas pris en compte. Or, nombre de théories sur les processus d'innovation montrent que le séquençage dans le temps, l'ordre dans lequel les événements se produisent, est un élément capital.

L'autre limite des théories de variance porte sur l'existence d'un résultat que l'on peut considérer comme une variable (dans la figure ci dessus, ce résultat est « Network Formation »). Mais dans de nombreux cas, le chercheur ignore quelle sera l'issue du ou des processus observés. Dans notre cas par exemple, on ne sait pas si MEMORY va réussir à produire le prototype prévu. Dans ce genre de cas, quelle est la variable dépendante qu'il faut savoir expliquer ?

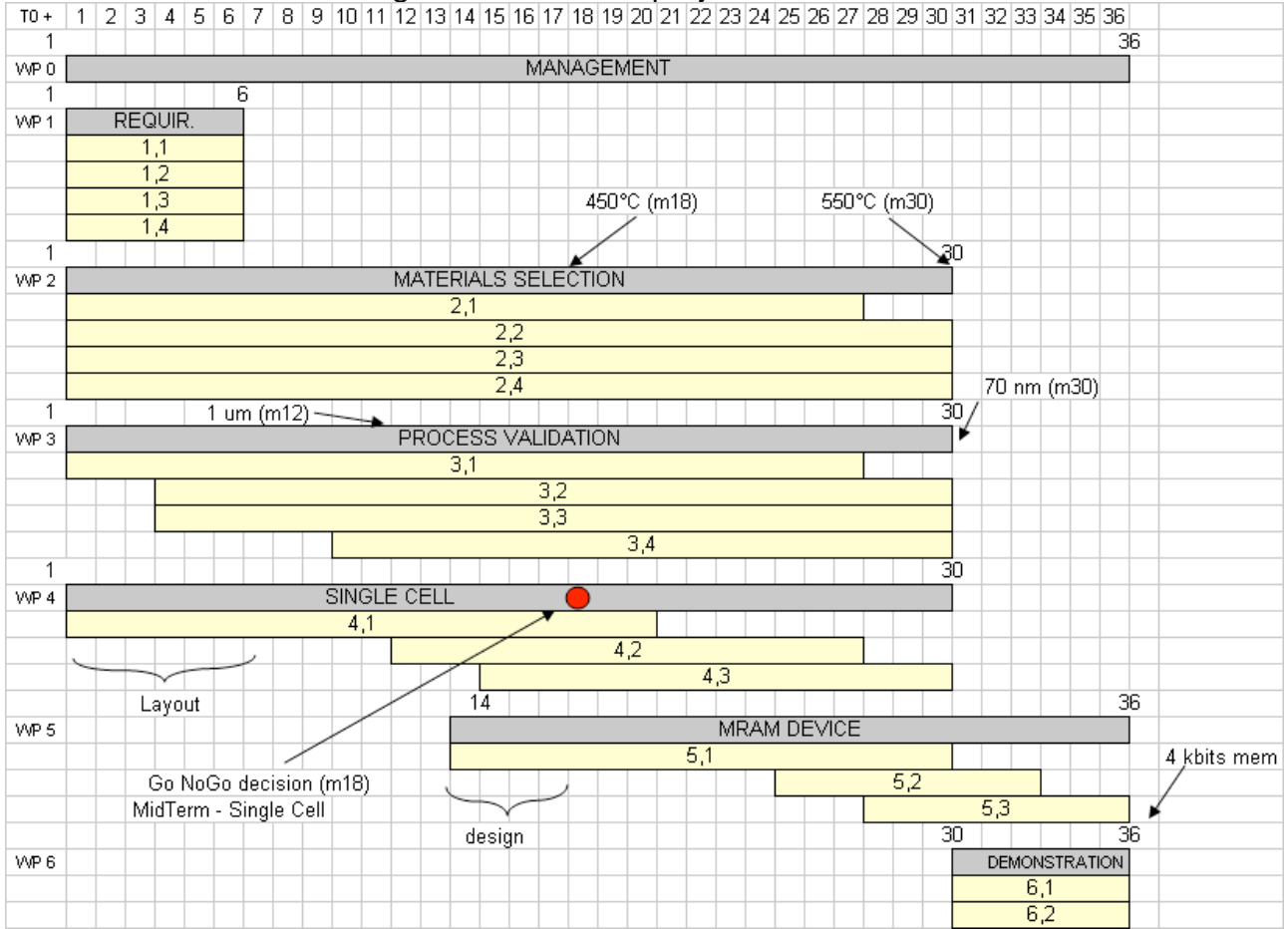
Pour ces raisons, nous situons notre recherche dans la catégorie dite des « Théories de processus ». Dans notre travail, le temps importe, dans toute ses dimensions. En particulier, l'ordre dans lequel des événements se produisent peut selon nous être essentiel. De plus, nous observons une innovation « chemin faisant ». Le résultat du processus est inconnu, et il peut même être ambigu (succès partiel et échec relatif sont des résultats classiques pour de très nombreux projets !).

7.2.3 De l'agenda au séquençage

Il serait tentant de "découper" un processus en fonction d'un calendrier connu, s'imposant de lui-même à un phénomène. Par exemple, les négociations sociales suivent un rythme prédéfini de rencontres entre partenaires, la trajectoire biographique d'un jeune suit en partie l'agenda des rentrées scolaires, le déroulement d'un projet suit un planning prévisionnel, un "Gantt". Mais ce découpage permet-il de mieux comprendre le phénomène en question ? Que dire dans ce cas d'une grève surprise, d'une brusque réorientation dans la formation d'un jeune, d'un projet qui diverge de son objectif initial ? L'agenda social, le planning de projet, le rythme scolaire me donnent ils des clés suffisantes pour comprendre le déroulement de processus singuliers ?

MEMORY nous fournit un bon exemple de la différence existant entre l'agenda et le déroulement temporel d'un projet. L'agenda du projet MEMORY, par exemple, est celui prévu par le Description Of Work (DOW), document annexé au contrat de financement proposé aux membres du consortium par la CE. On trouve dans ce DOW un "work Plan" détaillé de plus de 20 pages, décrivant dans le détail l'avancée prévue et prescrite des travaux, ce document ayant été rédigé par les partenaires eux mêmes. Le "Gantt Chart" de ce tableau est ainsi le suivant (les WP sont des Work Packages, c'est à dire des lots cohérents de tâches à réaliser) :

Schéma 17: Diagramme Gantt du projet MEMORY au 29 Avril 2005



De toute évidence, cet agenda ne nous permet pas de mieux comprendre le déroulement temporel du processus MEMORY, a moins de confondre le projet prescrit avec le projet réel, et de faire abstraction de ce qui s'est passé avant son début officiel. Dans notre approche, la réalisation même de ce Gantt, sa négociation, ses révisions, fait partir du processus qui nous intéresse. Ce Gantt est pour nous un ingrédient, associé à d'autres ingrédients. Indéniablement, cet agenda pèse sur le processus, car il est le reflet d'une temporalité particulière qui va influencer les événements : l'agenda MEMORY a prévu des réunions de consortium une réunion de type "Go no Go" au milieu du projet, etc.

Parmi les diverses stratégies utilisées par des chercheurs pour théoriser à partir de données proces-suelles, Langley (1999) décrit une méthode qu'elle qualifie de "**temporal bracketting**". Il s'agit de repérer dans le cours d'un processus des segments de temps ayant une certaine cohérence, en faire

des unités analysables séparément, des unités dont on va pouvoir étudier les dépendances, des unités qui pourront aussi être des supports pour des comparaisons :

"The decomposition of data into successive adjacent periods enables the examination of how actions of one period lead to changes in the context that will affect action in subsequent periods."

(Langley 1999, P 703)

Dans la revue consacrée aux théories de processus d'innovation, nous avons noté que deux types de segments temporels pouvaient exister dans un processus : des temps courts (des événements, des crises, etc.) ainsi que des temps longs (des phases, des cycles, des espaces de conception). Il y aurait donc, dans un processus d'innovation, des moments où les ingrédients sont assemblés les uns aux autres selon une certaine logique, et des moments d'intense recombinaison de ces ingrédients, des moments de crise.

Nous avons donc choisi une stratégie de ce type (*temporal bracketing*), que nous traduisons par "séquençage", et qui permet de mettre à jour dans un processus ces divers segments temporels.

a) Les bifurcations

Les moments de changement intensif intéressent la plupart des scientifiques qui étudient les processus. Nous l'avons déjà évoqué par exemple dans la SAR : les réseaux socio-techniques, et les acteurs qui les composent, ne sont jamais plus visibles que dans les moments de crise, lorsque les boîtes noires s'ouvrent et rendent visibles leurs constituants : je réalise que ma voiture a une batterie surtout lorsqu'elle ne démarre pas ! Pettigrew (1990) fait la même recommandation méthodologique aux chercheurs voulant étudier un processus : "*Go for extreme situations, critical incidents and social dramas*", et conseille d'analyser avec précision les moments de crise, les moments de changement intensifs, qui sont des moments où des tensions se révèlent, ou des routines sont remises en question, ou des routines nouvelles émergent.

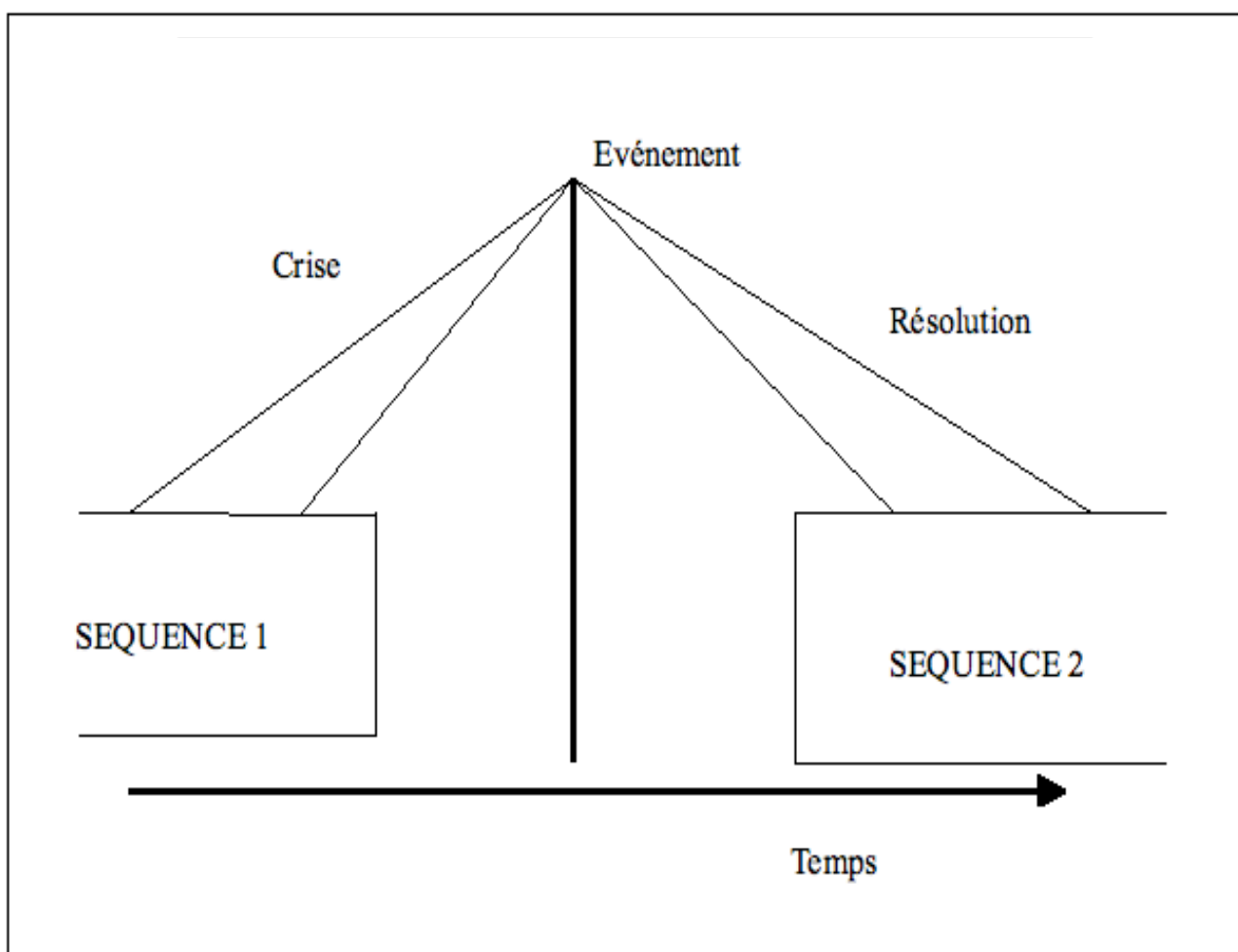
La bifurcation est un moment où l'arrangement entre ingrédients est remis en question. Pour reprendre la définition proposée par Bidart et Brochier (2010) on pourra dire que

"Une bifurcation est un moment particulier de recombinaison intense des ingrédients impliquant un événement, provoquant une crise et l'apparition d'une alternative, et débouchant sur un changement d'orientation dans le processus."

La bifurcation est donc fortement **liée à l'idée d'un choix entre des alternatives**, ces choix pouvant provoquer des réorientations du processus. Le plus souvent, une bifurcation va donc se situer entre deux séquences, chaque séquence présentant une logique d'arrangement entre ingrédients.

Enfin, la bifurcation n'est pas un point, un instant t , elle a des prémices et nécessite une résolution. Elle a donc une plus ou moins grande épaisseur temporelle. Bidart et Brochier donne de la bifurcation l'image d'un mas dressé entre deux rives, comme dans le schéma ci dessous :

Schéma 18: Représentation d'une bifurcation d'après Bidart et Brochier (2010)



b) Les séquences

Quelle est la nature des séquences qui sont au coeur des processus sociaux ? Nous reprenons la définition proposée par Mendez, Tchobanian et Longo (2010) dans le cadre de la réflexion du LEST sur les processus et pour qui *une séquence est un segment temporel d'un processus qui articule un ensemble d'ingrédients suivant un arrangement singulier*. Cela signifie qu'une séquence n'est

pas un enchaînement ordonné d'événements liés entre eux, ni un ensemble de variables indépendantes dont on mesurerait les distances ou les liens. A contrario, ce n'est pas non plus un système stable, voire inerte. Il y a du mouvement au cours d'une séquence, c'est un élément essentiel du processus. Au cours d'une séquence, des ingrédients particuliers sont en tension, interagissent, et constituent une configuration particulière.

Dans le cas de MEMORY par exemple, il existe une séquence durant laquelle Hector, dirigeant de la Start-up STARTER, tente de convaincre divers partenaires de se joindre à son projet pour répondre à un appel d'offre. Durant cette séquence, divers ingrédients sont mobilisés et s'assemblent dans une logique particulière : des scientifiques et des techniciens sont contactés par Hector. Des échanges de courriels ont lieu, et chaque partenaire accepte de contribuer à l'écriture d'une proposition de projet. De multiples modifications ont lieu durant cette séquence : le projet, son budget, sa définition, évoluent. Il y a un nombre croissant de partenaires adhérant au projet MEMORY. Mais tous ces ingrédients (scientifiques, ingénieurs, proposition, budget, etc.) sont assemblés peu à peu dans une même dynamique : construire une proposition de projet, adhérer à ce projet, négocier la participations des uns et des autres. Lorsque la proposition est finie et qu'elle est officiellement remise dans les bureaux de la CE, cette séquence est finie. Les ingrédients, qui pour la plupart continuent à exister, cessent d'interagir selon cette logique... En attendant le résultat de l'évaluation du projet.

7.2.4 Séquençage par représentation visuelle

a) Méthode

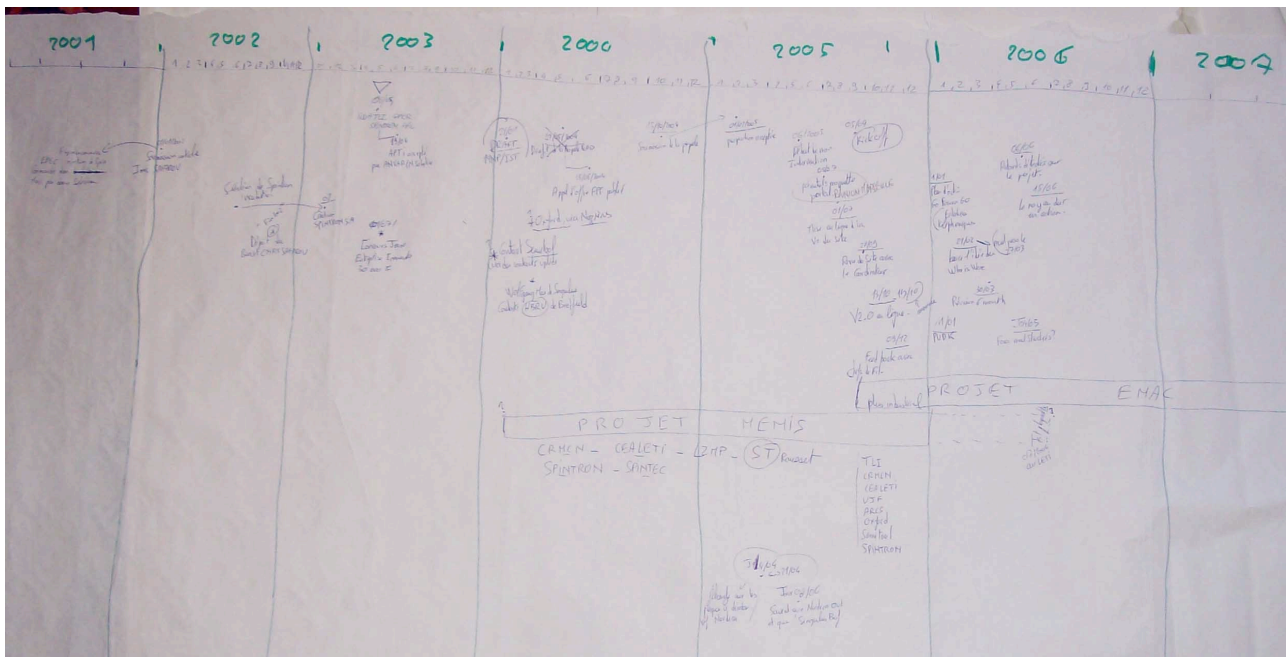
Dans un premier temps, l'exploration de nos données consistait à repérer dans le processus MEMORY quelles pouvaient être les séquences et les bifurcations de ce processus, afin de "découper" ce processus en éléments d'analyse. Compte tenu de la masse de données dont nous disposions, il nous fallait choisir une technique permettant d'avoir une vision globale du process MEMORY malgré sa grande richesse et sa complexité.

Nous avons donc choisi d'utiliser une représentation graphique de ce processus, méthode qui, selon Ann Langlay (1999) est particulièrement adaptée à ce type de situation :

"Visual graphical representations are particularly attractive for the analysis of process data because they allow the simultaneous representation of a large number of dimensions, and they can easily be used to show precedence, parallel processes, and the passage of time"

Nous avons choisi de lister non pas des ingrédients à ce stade ci, mais des événements, non pour les lier entre eux, mais pour repérer des moments d'activité intense, des décisions., des ruptures dans le processus. Dans un premier temps, nous avons volontairement choisi de revenir loin en arrière du processus, c'est à dire à 2001

Illustration 5: Une représentation graphique des événements marquants dans le processus MEMORY¹



Puis nous avons noté les événements importants jalonnant ce processus, afin d'avoir une première vision d'ensemble de celui-ci sur une période longue (cette photo comportant des noms réels de projets et d'organisation, nous la conservons dans une taille qui respecte nos engagements de confidentialité). Grâce à cette première représentation, nous avons pu isoler des moments dans le processus :

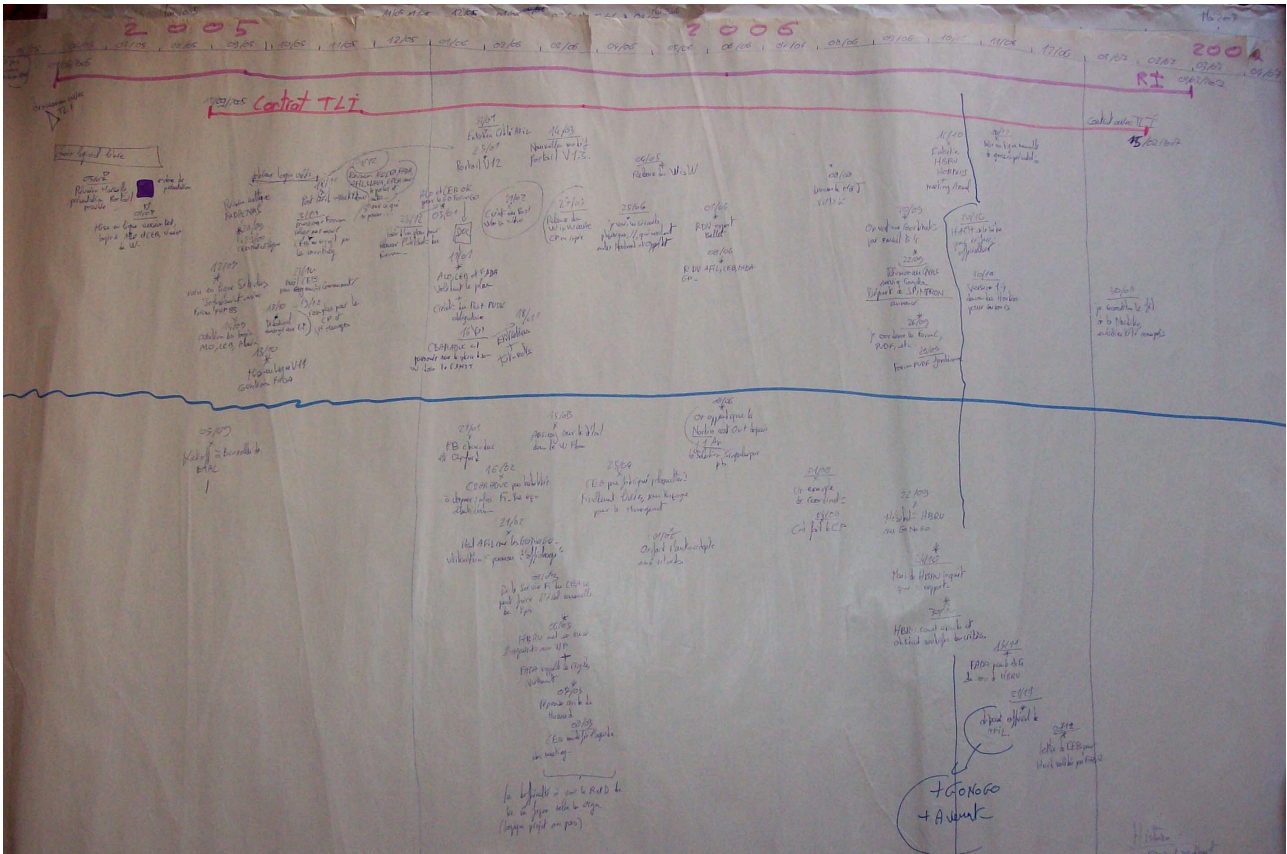
- de fin 2001 à mi 2003, une start-up se crée à partir d'un brevet
- de mai 2003 à juin 2004 cette start-up recherche des partenaires et un financement
- de juin 2004 à la fin 2004, un consortium se bâtit autour de cette Start-up dans le cadre d'une réponse à appel d'offre
- d'Octobre 2004 à Février 2005, il n'y a pas d'événements marquants

1. Pour des questions de confidentialité des données, la qualité de cette illustration est volontairement réduite.

➤ à partir de mars 2005, une logique projet se met en place

Ayant remarqué qu'il y avait un foisonnement d'observations pour ce projet à partir de mars 2005, nous avons effectué un "zoom" sur cette période :

Illustration 6: Zoom sur la période 2005 2007 de MEMORY



En haut du tableau figurent les actions menées au niveau du petit groupe des coordinateurs de ce projet. Sous le trait bleu horizontal, figurent les événements liés au reste de l'activité observée. En faisant ce travail, nous avons constaté qu'il y avait, à la fin de l'année 2006, une rupture, que nous avons spontanément notée par un trait vertical. Il y a à cette date des décisions importantes prises, le départ de certains partenaires, qui réorientent fortement le projet et donc le processus. Nous avons donc décidé de scinder la période commençant en mars 2005 en deux segments :

➤ un segment allant de mars 2005 à Octobre 2006, et un deuxième commençant après Octobre 2006.

b) Séquençage proposé

Ensuite, la limite des segments a été analysée avec plus de précision, en zoomant dans nos données, autour des bornes que nous venons de définir. Notre question étant : y-a-t-il un élément formel nous permettant de dire qu'une nouvelle séquence commence ? Qu'une décision importante, indicatrice

d'une bifurcation, a été prise ? Nous détaillerons ce point et les raisons de nos choix analytiques dans l'étude de cas de MEMORY présentée plus loin. Retenons juste que nous proposons le séquençage analytique suivant pour le processus MEMORY :

- la séquence "Fondations" de Février 2003 à Juillet 2004
- une bifurcation en Juillet 2004
- la séquence Consortium de Juillet 2004 à Octobre 2004
- la séquence Latence de Octobre 2004 à Février 2005
- une bifurcation en Mars 2005
- la séquence Projet MEMORY de Mars 2005 à Octobre 2006
- une bifurcation en Octobre 2006
- La séquence MEMORY V2 de Octobre 2006 à décembre 2006 (et les mois qui suivent)

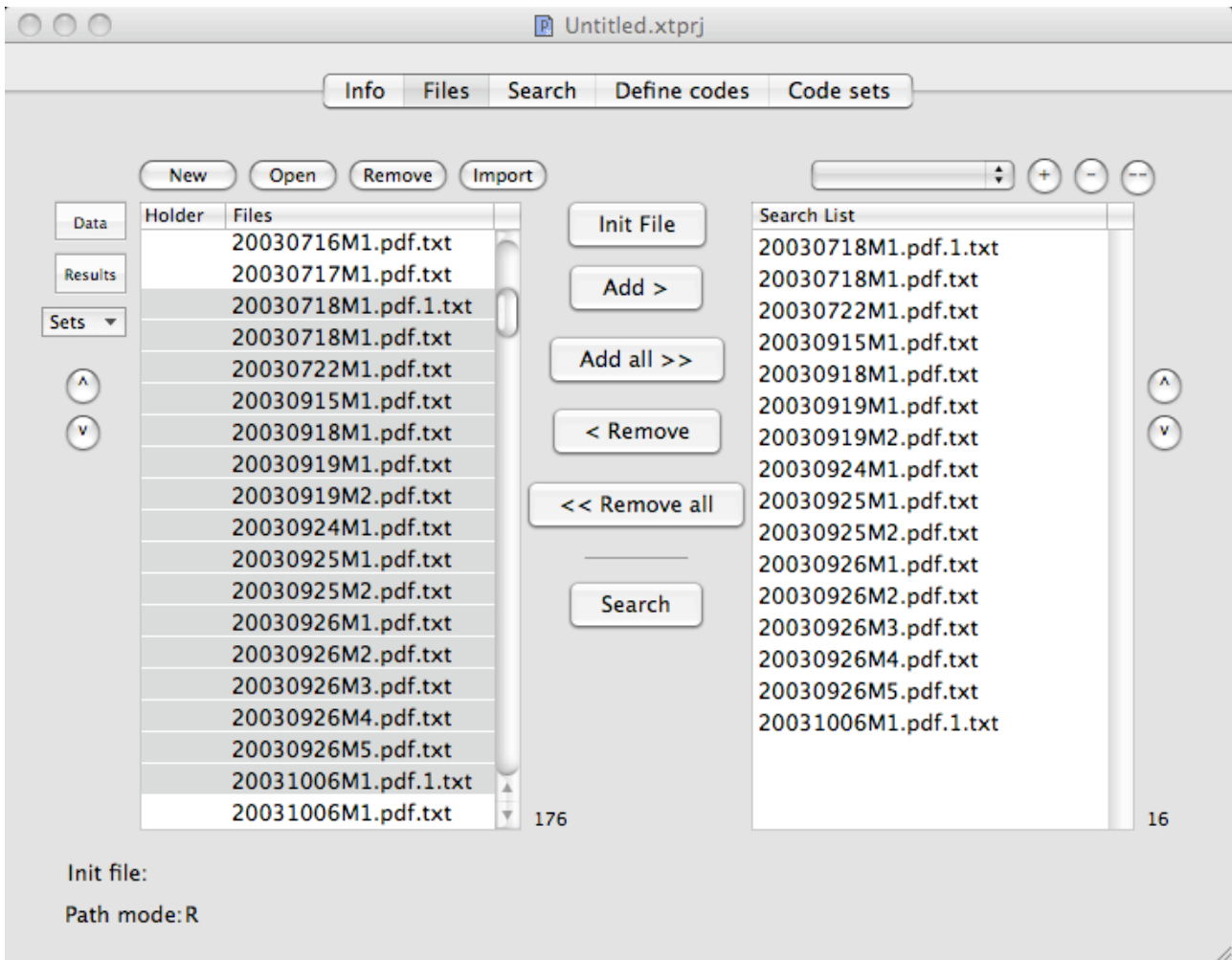
7.2.5 Les ingrédients dans ces segments temporels

Conformément à notre cadre théorique, il nous faut à présent rendre compte de la façon dont les ingrédients sont assemblés par le collectif dans le courant du processus, en particulier pour mener à bien l'activité de conception. Le séquençage que nous venons d'évoquer nous fournit plusieurs unités d'analyse (un segment temporel est une unité d'analyse). Nous avons donc tenté de comprendre, pour chaque séquence, quel était la particularité de l'arrangement des ingrédients, comme nous avons décrit pour chaque bifurcation ce qui changeait fondamentalement dans la logique d'assemblage des ingrédients.

Dans chacune de ces unités d'analyse, on peut suivre, selon le formalisme CK, l'évolution du processus dans son versant cognitif. Il nous faut ensuite comprendre comment les opérateurs de conception ont été activés, grâce à quelles associations d'ingrédients l'avancée du processus a été possible. Ainsi, dans chaque unité d'analyse, dans chaque séquence en particulier, on peut décrire un assemblage singulier des ingrédients permettant au collectif de poursuivre une activité de conception. Pour décrire cet assemblage, nous utilisons les notions de couplage (ou encastrement) et de découplage, qui nous permettent de rendre compte de l'évolution des liens entre ingrédients, à l'intérieur des séquences, mais aussi et surtout entre les séquences, et aux moments de bifurcations, qui sont des moments d'intense reconfiguration des ingrédients du processus.

Techniquement, le logiciel TAMSANALYZER et le codage réalisé nous ont été très utiles ici afin de saisir la logique d'arrangement d'ingrédients dans un segment temporel. Premièrement, il est possible d'extraire du corpus les documents correspondant à une unité d'analyse, en faisant une sélection entre deux dates (dans l'exemple ci-dessous, on fait une sélection sur le troisième trimestre 2003).

Illustration 7: Sélection dans le corpus d'une période d'analyse avec TAMSANALYZER



Le logiciel permet ensuite de faire une recherche sur cette sélection spécifiquement (qui figure dans la fenêtre de droite). On peut alors construire une requête précise (par exemple, demander à ce que le logiciel nous montre toutes les occurrences de la catégorie "individu" dans cette période), ou bien afficher une fenêtre de recherche générale, comme celle montrée ci-après.

The screenshot shows a software window titled "tempResult 1706B070-5630-4A1F-BA5B-E1DA2FBEC637.xtrs". The interface includes a toolbar with icons for "Customize", "Save...", "Workbench", "Find record", "Refresh", "Sort", "Select all", "Select...", and "Compare data". Below the toolbar, there are navigation arrows and the text "38/38" and "Unlimited". The main area displays a search result: "(organisation)'ANVAR(/organisation)". At the bottom, a table lists units of sense with columns for "#", "_code", "_data", "_comment", "_coder", "_doc", "_begin_loc", and "_end_loc".

#	_code	_data	_comment	_coder	_doc	_begin_loc	_end_loc
22	Inscription	{Inscription}...			20030718M1.pdf.1.txt	567	595
23	Dispodecoor...	{Dispodecoo...			20030926M5.pdf.txt	10	38
24	Individu	{Individu} TO...			20030926M5.pdf.txt	176	191
25	lien	{lien}To{/lien}			20030926M5.pdf.txt	265	273
26	Individu	{Individu}Gui...			20030926M5.pdf.txt	282	311
27	Inscription	{Inscription}v...			20030926M5.pdf.txt	435	462
28	Inscription	{Inscription}r...			20030926M5.pdf.txt	526	566
29	Dispodecoor...	{Dispodecoo...			20031016M1.pdf.txt	95	116
30	Individu	{Individu}Gui...			20031016M1.pdf.txt	158	188
31	Individu	{Individu}TO...			20031016M1.pdf.txt	261	275
32	lien	{lien}mon co...			20031016M1.pdf.txt	336	360
33	Inscription	{Inscription} ...			20031016M1.pdf.txt	449	609
34	lien	{lien}soutenu...			20031016M1.pdf.txt	651	664
35	organisation	{organisatio...			20031016M1.pdf.txt	676	697
36	Inscription	{Inscription}...			20031016M1.pdf.txt	764	784
37	Dispodecoor...	{Inscription}{...			20031016M1.pdf.txt	912	946
38	Inscription	{Inscription}{...			20031016M1.pdf.txt	899	968

Dans le bas de cette fenêtre, l'ensemble des unités de sens codées pour la période sont affichées. En sélectionnant une ligne, on voit cette occurrence apparaître en haut (cela peut-être un mot, une phrase, un verbatim). Un double click ouvre directement le document d'origine, ce qui permet à l'analyste de replacer "l'ANVAR" dans son contexte, dans ce mél du 06 Janvier 2003. C'est au moment où nous avons écrit l'étude de cas MEMORY que l'utilisation d'un logiciel de codage a montré toute son utilité. Le logiciel n'est pas, dans notre cas, utilisé pour calculer des liens entre des concepts, établir des modèles de variance. En revanche, il est un outil de raisonnement, il permet une réflexion herméneutique dans un corpus très vaste.

Le résultat de ce travail d'analyse est présenté dans l'étude de cas en troisième partie de cette thèse. Il nous permet, pour chaque séquence, de décrire l'arrangement original d'ingrédients permettant à la conception de se déployer. L'analyse des bifurcations, quant à elle, nous permet de comprendre comment ces ingrédients se sont recombinaés à de moments clés et comment, en particulier, des

couplages entre séquences se sont alors tissés, comment, par exemple, on a recyclé des ingrédients issus des séquences précédentes.

Section 7.3 Un jeu à trois moteurs et la métaphore de

l'exploration

Par la suite, nous allons décrire la dynamique du Processus MEMORY grâce à un jeu à trois moteurs. Ces trois moteurs, leurs effets combinés au cours du temps, permettent selon nous d'explicitier la logique du processus collectif d'innovation MEMORY. Par un raisonnement inductif, on pourrait se demander si, de façon plus générale, ce jeu à trois moteurs ne serait pas un jeu que l'on pourrait observer dans d'autres processus collectifs d'innovation. Pour répondre à cette question, nous avons donc tenté de styliser ce jeu à trois moteurs, afin de rendre cette théorie plus aisément testable hors du contexte MEMORY.

Dans le processus MEMORY, nous avons repéré un jeu complexe à trois moteurs. Ces trois moteurs sont à l'origine des modifications sur les ingrédients de la conception, et viennent donner sa dynamique au processus. Il nous a semblé que la meilleure façon de rendre compte de ce jeu (complexe mais intelligible) était de le décrire grâce à une métaphore, celle de l'exploration, au sens où l'on pouvait l'entendre au XV^{ème} siècle en Occident, à l'époque de grands découvreurs tels que Christophe Colomb. Nous dirons pourquoi nous avons choisi cette métaphore et montrerons en quoi elle présente des similitudes nombreuses avec les processus collectifs d'innovation. Cependant, le fait de choisir d'explicitier une théorie par une métaphore soulève quelques questions épistémologiques.

7.3.1 Limites et dangers de la métaphore

Très tôt, des philosophes ont mis en garde contre l'utilisation des métaphores dans le raisonnement humain. Il y aurait un langage plus neutre, débarrassé d'images et d'ambiguïtés et qui s'accorderait mieux à la pratique scientifique. Ainsi, dès le XVII^{ème} siècle, Hobbes déclare :

*"La lumière de l'esprit humain, ce sont le mots clairs, épurés, en premier lieu et purgés de toute ambiguïté, par des définitions exactes. La raison en est la marche, l'accroissement de la science en est le chemin, et le bien de l'humanité, l'aboutissement. Au contraire, les **métaphores**, les mots ambigus ou qui ne veulent rien dire, sont comme des feux follets; s'en servir pour raisonner, c'est errer parmi d'innombrables absurdités; leur aboutissement, ce sont les conflits, les discordes, le mépris."*

(Hobbes, in Zarka, 1987).

Beaucoup plus proche de nous Gaston Bachelard (Bachelard, 1983) met en garde contre l'usage des métaphores, des analogies et des images dans les sciences, qui sont pour lui de véritables obstacles épistémologiques. Non pas ce qu'elles ne sont pas suffisamment précises et neutres, comme le disait Hobbes. En effet, comme le rappelle Bachelard, tous les mots sont imprécis, non dans ce qu'ils désignent, mais dans ce qu'ils expliquent. Un "téléphone" désigne un seul et même objet, mais il n'a pas la même signification pour un utilisateur, un ingénieur ou un télégraphiste. **Le problème des métaphores, c'est qu'elles "séduisent"** la raison et créent des cadres dont il est difficile de sortir. Bachelard donne l'exemple (qui nous intéresse ici !) du **magnétisme**, que l'on a longtemps expliqué par l'image de l'éponge : le morceau de fer aimanté "suce" un excédent d'électricité, et le garde dans sa structure, comme une éponge "suce" un liquide. Or, cette image, aussi séduisante soit-elle, ne correspond pas à la réalité (un métal aimanté est un objet dont les électrons ont pris une certaine orientation). Pourtant, au XVIII^{ème} siècle, l'image de l'éponge est admise et souvent utilisée par des scientifiques.

"Qu'on le veuille ou non, les métaphores séduisent la raison. Ce sont des images particulières et lointaines qui deviennent insensiblement des schémas généraux. [...] Quand l'abstraction aura passé par là, il sera temps d'illustrer les schémas rationnels."

Ibid, p 95

Comme le fait remarquer Detienne (Detienne, 2004), Bachelard ne rejette pas totalement la Métaphore. Il met en garde contre son utilisation, et pense qu'elle peut servir à clarifier (illustrer) une théorie, si elle vient après une phase de compréhension abstraite du problème.

7.3.2 Théoriser grâce à des métaphores

Il faut prendre en compte les remarques de Hobbes ou de Bachelard, et prendre des précautions avec l'utilisation des métaphores aussi séduisantes soient-elles. En fait, il y a deux façons de lier métaphore et théorie scientifique :

- 1) la métaphore peut être un outil de raisonnement, une façon de faire des abductions nouvelles, et de provoquer des articulations originales entre concepts.
- 2) la métaphore peut être utilisée pour illustrer une articulation nouvelle de concepts abstraits, afin de gagner en cohérence, en stylisation théorique.

Dans la démarche 1), la métaphore vise à *"bouleverser et réorganiser nos connaissances catégorielles grâce à son haut rendement cognitif"* (Detienne, 2004). Selon Berger-Douce et Durieux (Berger-Douce and Durieux), la métaphore utilisée dans un tel cas est en fait l'opérationnalisation d'une **analogie** : on utilise une situation connue (la situation de base) afin d'expliquer une situation autre (situation cible), en postulant que les analogies entre les deux situations sont telles que la situation de base va pouvoir servir de métaphore pour la situation cible. Un exemple de cela peut être vu dans les théories de l'évolution que nous avons abordées plus haut. La théorie de l'évolution de Darwin, par exemple, décrit une situation d'évolution via des mécanismes de variation, de sélection et de rétention. C'est une situation de base (l'évolution du vivant), qui sert de métaphore dans de nombreux domaines, comme par exemple en économie (situation cible) au travers des théories évolutionnistes de l'économie.

Bien entendu, et cela reste vrai pour toute théorie obtenue par abduction, la validité des propositions doit être renforcée par d'autres modes de raisonnement, en particulier déductif. On doit pouvoir dire "si la théorie évolutionniste est vraie alors...". On génère ainsi des hypothèses que l'on peut tester, qui vont nous permettre de se prononcer sur la validité externe de la construction théorique.

Dans la démarche 2), la métaphore sert à clarifier un construit théorique, obtenu selon d'autres modes de raisonnement, elle **fournit une illustration permettant de mieux comprendre les articulations d'un ensemble théorique construit par ailleurs**. Un bon exemple de ce type d'utilisation de la métaphore en gestion est le "Garbage Can Model" de Cohen, March et Olsen (Cohen et al., 1972). Dans cette théorie, les auteurs tentent de comprendre comment les décisions sont prises dans les grandes entreprises ou les administrations. Selon eux, ces organisations sont des anarchies organisées : il y a un foisonnement de problèmes non résolus, un grand nombre de cadres cherchant une occupation, un grand nombre de solutions toutes faites qui cherchent à être mises en oeuvre, et finalement pas de préférences partagées qui pourraient permettre de concevoir un modèle des choix organisationnels. Donc, l'appariement entre les problèmes et les solutions ne suit pas de règles formelles et se fait de façon aléatoire. Pour illustrer cette théorie, les auteurs proposent l'image de la poubelle : les problèmes sont entassés dans une poubelle, les solutions dans une autre. Si l'on tire au hasard, dans chaque poubelle, un problème et une solution, on aura une bonne idée de la façon dont les problèmes trouvent leur solution.

Dans ce cas, la métaphore de la poubelle n'a pas été utilisée pour concevoir la théorie (cette dernière a été construite suite à des simulations informatiques), mais pour l'illustrer, pour articuler ses concepts sous une forme vivante et compréhensible.

Dans cette thèse, **nous nous situons dans le deuxième cas ici explicité**. La métaphore de l'exploration ne s'est imposée à nous que tard dans notre raisonnement. Nous l'utilisons surtout pour illustrer le jeu des moteurs et du véhicule qui donne sa dynamique au processus collectif d'innovation. Elle sert à en renforcer sa stylisation et sa compréhension.

7.3.3 *Le cas Christophe Colomb*

Afin d'illustrer le jeu de moteurs qui nous permet d'expliciter la dynamique du processus MEMORY, nous avons eu l'idée d'utiliser la métaphore des grandes explorations. Comme nous l'avons expliqué plus haut, ce qui permet de faire une métaphore c'est l'existence d'une analogie entre deux situations. Or, nous pensons qu'un consortium d'organisations menant un projet collaboratif d'innovation présente de nombreuses **analogies avec une escadre de navires s'engageant dans un projet d'exploration de mers inconnues**. C'est cette analogie qui nous permet d'utiliser l'exploration comme métaphore d'un processus collectif d'innovation.

Nous avons souhaité approfondir la nature de cette analogie, voir jusqu'à quel point ces deux situations étaient comparables. Pour ce faire, nous avons choisi d'appliquer le cadre théorique décrit dans cette section (l'analyse processuelle, les bifurcations, les ingrédients, etc.) à un cas concret d'exploration. Nous avons choisi d'utiliser **le premier voyage de Christophe Colomb en Amérique**. Il y a de nombreux avantages à utiliser cette exploration. D'une part, c'est probablement, en occident, l'exploration la plus connue (avec celle de Marco Polo peut-être). C'est donc une métaphore connue de tous, qui nous fournit une illustration familière et compréhensible par le plus grand nombre. D'autre part, c'est une exploration très documentée : bien entendu, elle a été un objet d'étude pour d'innombrables historiens. Mais qui plus est, nous avons la chance d'avoir un journal de bord de ce premier voyage qui va durer du 03 Août 1492 au 15 Mars 1493. L'original de ce journal a disparu, mais été en grande part retranscrit par écrit le Père Bartoloméo de Las Casas.

Nous appliquons donc notre boîte à outils de description d'un processus collectif d'innovation au cas "Christophe Colomb". Cela est possible, car le premier voyage est bien un processus collectif (Colomb ne part pas seul, il est entouré d'autres explorateurs très divers, emporte des cartes, des outils de navigation, répartis sur des bateaux indépendants, liés dans un même projet). Ce premier voyage est aussi un processus de conception basé sur la proposition "*rejoindre l'Orient en passant par l'Occident*". Une telle proposition fait débat chez les marins, les scientifiques ou les souverains contemporains de Colomb. En ce sens, cette proposition n'a pas de statut univoque dans l'espace K du XV^{ème} siècle : c'est donc un concept, une proposition de C. Il est ainsi possible de suivre le proces-

sus cognitif lié à cette exploration, comme on peut en suivre le processus social (l'évolution de l'assemblage des ingrédients de conception).

Section 7.4 Conclusion

La recherche des ingrédients pertinents dans le processus MEMORY s'appuie sur le codage des ingrédients du processus à l'aide d'un logiciel spécifique. L'utilisation d'un tel logiciel permet d'automatiser cette tâche et facilite ensuite le regroupement des ingrédients en 8 catégories types d'ingrédients. Cette typologie, qui a été validée en double codage, correspond en partie à des catégories identifiées aussi dans la littérature. Ce premier travail nous permet donc d'avoir un premier filtre d'analyse, un filet de concepts qui va nous permettre de capter différents aspects du déploiement du processus MEMORY.

Il nous faut à présent rendre compte du déploiement temporel du processus MEMORY dans le temps. Nous nous situons ici dans le cadre de théories de processus, et non de théories de variance : c'est donc un enchaînement temporel qui nous intéresse, l'existence de temps, de sections de temps liées les unes aux autres. Nous avons identifié dans ce processus plusieurs unités temporelles d'analyse, grâce à des représentations visuelles du processus. Nous faisons alors ressortir 5 séquences et 3 bifurcations. Les séquences sont des segments temporels durant lesquels les ingrédients du processus ont un arrangement particulier : ils sont assemblés selon une certaine logique et servent de véhicule à l'activité de conception. Durant les bifurcations, les assemblages d'ingrédients sont remis en cause.

Cette description du processus, basée sur un séquençage, la description en CK du versant cognitif du processus, la description des assemblages d'ingrédients mobilisés à chaque segment temporel, **nous permet de faire une description riche du processus**, objet de l'étude de cas présentée par la suite. La question de l'intelligibilité de ce processus complexe demeure cependant : existe-il une logique à ce processus ? Son évolution est-elle en partie guidée par des mécanismes particuliers que l'on pourrait décrire ? Nous décrivons la logique de déploiement temporel de MEMORY par le jeu combiné de trois moteurs (des mécanismes génératifs du changement). L'utilisation d'une analogie, avec le cas du voyage d'exploration de Christophe Colomb, nous permet de pousser la métaphore de l'exploration appliquée à MEMORY, et de développer la notion de véhicule de ce processus.

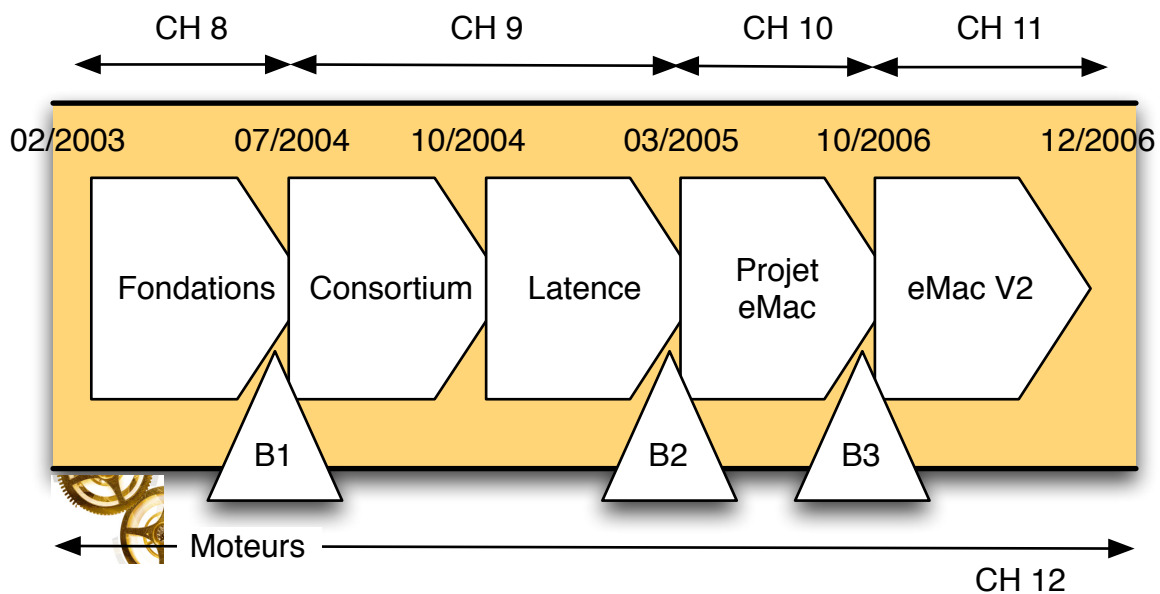
Dans ce chapitre, nous avons séparé de façon claire l'opérationnalisation de chaque question méthodologique. Dans la réalité, et dans le cours de notre recherche, les deux premières questions (liste

des ingrédients et description du déroulement du processus) ont souvent été traitées de front, le travail sur l'une permettant d'avancer sur l'autre. Si nous devons décrire ce travail, nous pourrions prendre l'image d'un long zoom avant, allant d'une vision générale de MEMORY à la perception de ses détails les plus ténus. Le premier séquençage, par exemple, a été affiné et borné avec précision grâce à une analyse plus fine de nos données - en particulier de nos ingrédients - à la périphérie des moments clefs identifiés. Inversement, c'est en repérant les moments de crise, les bifurcations, que les ingrédients clefs et leurs arrangements apparaissaient plus clairement. Bref, au fur et à mesure de notre analyse, par codage, par séquençage et par analyse des segments temporels, nous avons vu apparaître les détails fins, les contours les plus précis du processus MEMORY.

Troisième Partie

Le cas du processus MEMORY

Dans cette partie, nous allons décrire le processus MEMORY à l'aide des outils conceptuels décrits dans la partie précédente, ce qui nous permettra de décrire sa continuité dans le temps. Ce processus a été découpé en unités temporelles d'analyse (cinq séquences et trois bifurcations) regroupés en quatre chapitres. Nous présentons ces unités d'analyse dans l'ordre chronologique, ce qui permet de restituer correctement le cheminement du processus dans le temps. Un dernier chapitre (le chapitre 12) est consacré à décrire l'effet des moteurs tout au long de ce processus.

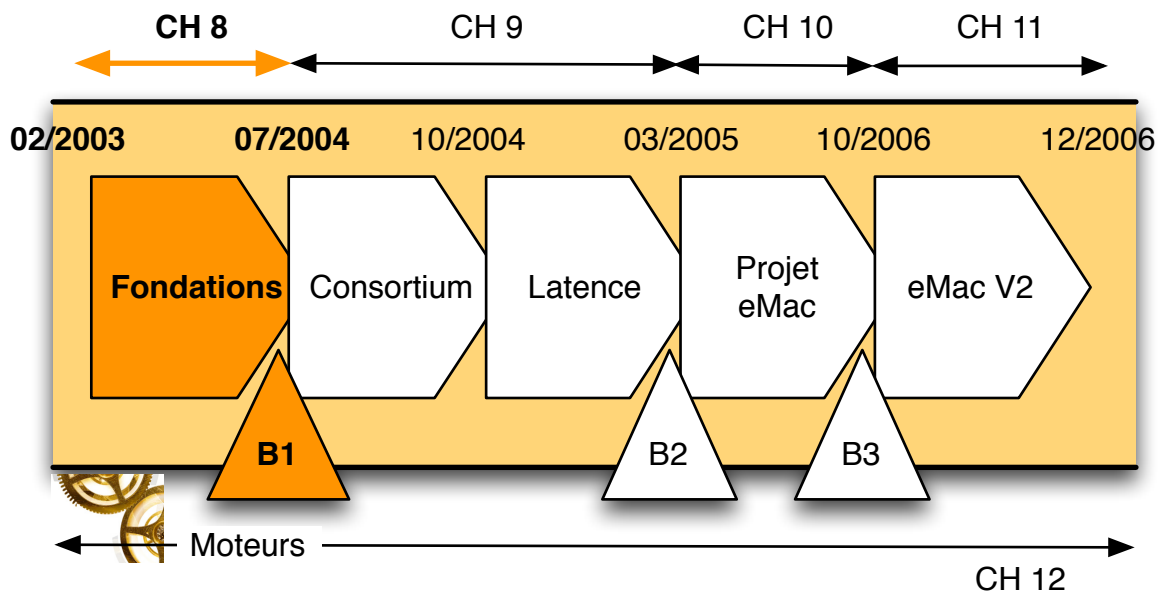


Dans les **chapitres 8 à 11**, nous appliquons notre cadre conceptuel à chacune des unités d'analyse définies (les séquences et les bifurcations). Nous reconstituons donc, pour chaque segment temporel, le fil cognitif du processus, en modélisant le raisonnement en cours à l'aide de la théorie CK de la conception. Puis, nous décrivons les ingrédients mobilisés lors de ces opérations de conception ce qui nous permet de décrire le véhicule de ce segment temporel. Ensuite nous montrons comment les ingrédients sont couplés entre ces unités d'analyse et comment cela influe sur la continuité du raisonnement de conception. Pour rendre cette étude de cas encore plus lisible, nous relatons égale-

ment le fil des événements, et ce pour chaque séquence, ce qui permet de mieux comprendre comment les ingrédients évoluent.

L'ensemble de cette étude de cas est relue au **chapitre 12** avec les concepts de moteurs ce qui nous permet de rendre intelligible la continuité de MEMORY tout au long de ces années. Nous décrivons alors ce qui fait la continuité de MEMORY, en comparant ce processus à celui de l'exploration de Colomb.

Chapitre 8. Fondations de MEMORY



Section 8.1 Le début du processus MEMORY

8.1.1 Explication de l'oxymore

Nous avons décidé de prendre le processus cognitif, celui par lequel on peut suivre l'évolution du concept à la base de ce processus, comme indicateur des limites à prendre en compte dans notre analyse. Dans la théorie CK, un raisonnement de conception commence avec une disjonction : des éléments de K, non liés, sont associés pour fabriquer une nouvelle proposition. Cette proposition n'a pas de statut dans K (on ne peut pas dire si elle est vraie ou fausse), c'est donc un élément de C, un concept.

Ainsi, une disjonction ressemble souvent à un oxymore (comme le clair-obscur, le silence assourdissant ou le soleil noir), puisque l'on crée une confrontation inédite entre des propositions disjointes. Weil et Hatchuel prennent souvent l'exemple de l'oxymore du "bateau qui vole", concept qui, une fois développé, permet de concevoir un hydroglisseur...

Au départ de MEMORY, il y a un oxymore de cette sorte : le but de ce processus est en effet de fabriquer une **mémoire morte vive**. Rappelons, pour commencer, que l'informatique a besoin de dispositifs capables de conserver de l'information un temps donné. Ce stockage peut durer quelques micro secondes (c'est suffisant pour faire des opérations mathématiques par exemple) ou plusieurs années (comme lorsque l'on veut conserver des documents numérisés, des archives vidéo, etc.). On peut classer les mémoires en deux familles distinctes :

- **les mémoires mortes gardent l'information même quand elles ne sont pas alimentées** (elles sont non volatiles). La rétention de l'énergie, qui code l'information, est souvent rendue possible par des phénomènes de magnétisme, c'est à dire l'existence d'un phénomène durable au niveau des électrons. Ce phénomène perdure hors sans alimentation électrique, comme c'est le cas dans un métal aimanté. Ce principe est utilisé dans les disques durs, les mémoires flash ou encore les disques optiques. L'inconvénient de ces mémoires est leur lenteur : les temps d'écriture et de lecture des informations sont trop longs pour permettre des traitements et des calculs rapides. Les avantages de ces mémoires sont leur coût et leur faible consommation (elles n'ont pas besoin d'être alimentées en permanence).
- **Les mémoires vives ne peuvent garder l'information que pendant quelques milli-secondes.** Elles ont donc besoin d'être continuellement réécrites (ou rafraîchies). L'information est stockée

sous une forme binaire, en utilisant la polarisation des électrons (c'est le principe de l'électronique). Ces mémoires correspondent aux mémoires RAM (Random Access MEMORY) de nos ordinateurs. L'avantage de ces mémoires est leur **rapidité d'écriture et de lecture**, qui se chiffre en nano secondes (en milliardièmes de secondes) alors que celle des disques durs se mesure en millisecondes (millièmes de secondes). Elles permettent ainsi de stocker des données très disponibles pour le travail du microprocesseur. Leur inconvénient est leur consommation d'énergie et leur volatilité (hors tension, ces mémoires sont effacées).

Une mémoire alliant à la fois la rapidité des mémoires vives et la non volatilité des mémoires mortes (une mémoire morte vive !) représenterait donc un progrès décisif pour l'informatique. Un ordinateur pourrait être éteint et allumé comme un téléviseur, sans perte de données, sans délai pour relancer les applications. Les dispositifs portables pourraient avoir des autonomies bien plus grandes, le rafraîchissement des mémoires volatiles n'étant plus nécessaire.

La réalisation d'une telle mémoire reste un défi pour l'industrie de l'électronique, et à ce jour il n'existe pas de mémoire de ce type commercialisée à grande échelle.

8.1.2 De la MRAM à la eMRAM

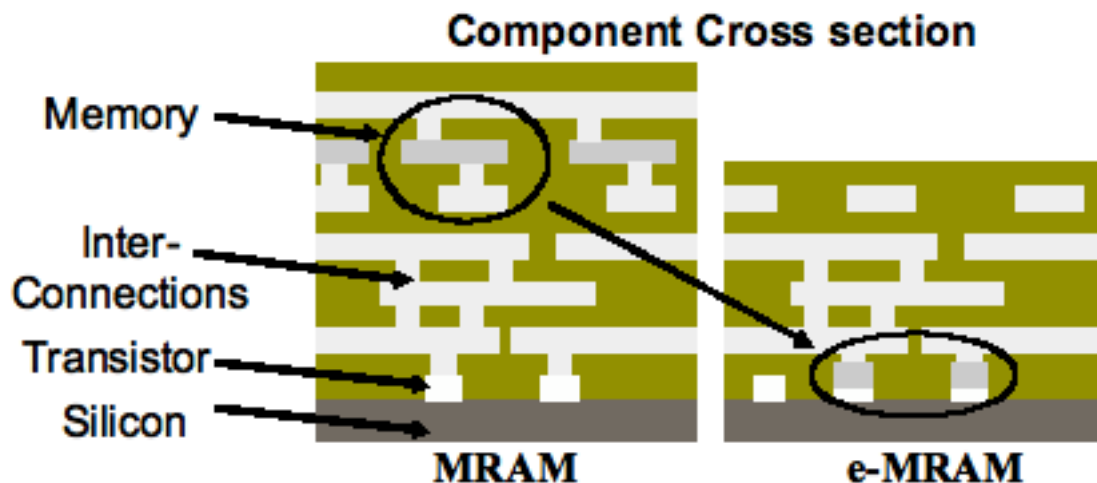
a) Du BEM au FEM

L'électronique utilise la charge des électrons pour coder l'information. Depuis quelques années, on tente de développer des dispositifs utilisant non pas la charge des électrons, mais leur **Spin** (Fert, 2005). C'est ce que l'on nomme la **Spintronique**. Le Spin de l'électron correspond à la rotation de l'électron sur lui même (on parle aussi de son moment magnétique). Cette rotation peut prendre diverses orientations. C'est ce spin qui, à l'échelle physique, est responsable de l'aimantation d'un métal. L'idée de la spintronique est d'utiliser ce spin, et son orientation qui peut être modifiée, pour coder une information. Récemment, un coup de projecteur a été braqué sur ce phénomène, avec l'attribution en 2007 du prix Nobel de Physique au physicien français Albert Fert pour sa découverte du phénomène de magnéto résistance géante, qui est basée sur la spintronique.

Au début des années 2000, divers grands acteurs (IBM, MOTOROLA, INFINEON) se sont lancés dans la recherche et le développement de mémoires utilisant la spintronique. C'est ce que l'on appelle les MRAM (Magnetic Random Access MEMORY). Le but des MRAM est de créer des structures (à l'échelle nanométrique) capables d'orienter le spin des électrons, ces structures magnétiques étant créées par la déposition de nanocouches (d'une épaisseur d'un Millionième de Millimètre) de divers matériaux (on parle aussi de "Stack") sur un substrat de silicium. En fait, on reprend là les

principes de fabrication de toutes les mémoires vives, qui sont basées sur la mise en place de micro circuits sur des puces en Silicium. Le MRAM est une mémoire qui, par dessus un composant classique, dispose des stack dédiés à la gestion du magnétisme (voir la partie gauche du schéma de coupe ci-après). La mémoire se trouve donc déposée à la fin du processus de fabrication du composant (les couches sont déposées une à une, en partant d'un substrat en silicium, en bas du schéma). En électronique, on qualifie donc cette technique de Back End Module (BEM), les couches servant à créer des points de mémoire étant déposées en fin de production.

Schéma 19: Comparaison entre MRAM et eMRAM, extrait de la proposition de projet rédigée par Hector pour le programme Eurêka.



La plupart des projets en cours avant 2005 sont basés sur la création de MRAM utilisant un tel BEM. Or, cette technologie comporte des limites difficiles à surmonter pour en garantir l'industrialisation dans les années à venir. Une de ses limites principales est de multiplier le nombre de couches à déposer, et donc les étapes de fabrication. Cela a bien sûr un coût, qui rend le composant très cher, mais surtout, cela induit des défauts dus aux influences des couches entre elles lors des étapes de fabrication (par exemple, pour fixer certaines couches, il faut cuire le Wafer à plus de 300 °C, ce qui dégrade certaines couches déjà déposées, ou crée des phénomènes de diffusion des matériaux les uns dans les autres).

C'est pour répondre à ces limitations que le processus MEMORY va se constituer, en se fixant comme objectif de gérer le magnétisme directement sur les premières couches du composant, au niveau du silicium. La mémoire magnétique doit pouvoir être créée dans les premières étapes de fabrication, en créant un module qualifié de Front End Module (FEM), représenté sur la partie droite

du schéma ci-dessus. Pour cette raison, on parle aussi de eMRAM, le "e" étant l'initial de embedded : **le magnétisme est encastré dans le composant, directement au niveau du silicium**, et non dans des couches supérieures.

b) L'effet tunnel

Nous entrons là dans le domaine de la physique quantique. L'explication que nous allons donner ici de l'effet tunnel est nécessairement simplificatrice pour un physicien, mais elle est importante pour nous, car elle permet de comprendre l'intérêt des recherches sur les matériaux dans le processus MEMORY.

Certaines particules, et en particulier les électrons, peuvent **franchir des couches très fines de matériaux isolants** (des couches d'une épaisseur équivalente à un Milliardième de mètre, donc à l'échelle Nanométrique). Cette faculté de franchissement s'observe au niveau moléculaire et ne peut se comprendre qu'en employant les modélisations de la physique quantique (pour être exact, il faudrait dire qu'à proximité d'une barrière isolante, un électron a une probabilité non nulle d'être détecté de l'autre côté de cette barrière). Ce phénomène physique est nommé "effet tunnel".

En 2001, des chercheurs européens (dont le professeur Nikita) ont prouvé empiriquement que l'on pouvait injecter *sous contrôle* un Spin par un effet tunnel contrôlé par un signal électrique. Si on dispose de chaque côté d'une couche isolante des couches de matériaux ferromagnétiques (des matériaux qui peuvent être magnétisés, à l'instar du fer), on peut ouvrir ou non l'effet tunnel. Typiquement, si les deux couches conductrices sont aimantées dans une même direction (les électrons ont majoritairement le même spin), la couche intermédiaire est isolante. Si ils ont des directions antiparallèles, la couche subit un effet tunnel et laisse passer des électrons ayant tous le même Spin. **Un tel dispositif permet donc de contrôler le sens des spin injectés.**

Bien entendu, cela ne fonctionne qu'avec des couches d'épaisseur nanométrique, ne faisant que quelques atomes. **La difficulté est dans la création de telles couches sur un composant.**

8.1.3 La disjonction MEMORY

C'est à partir de ces diverses connaissances que le FEM peut être imaginé. Reconstituons le puzzle des connaissances mobilisées et associées pour faire une telle disjonction :

➤ Contrôlé, le Spin des électrons peut être utilisé pour coder de l'information (domaine de la spintronique). Cette proposition est admise dans le milieu des spécialistes du magnétisme et est utili-

sée pour fabriquer des MRAM conventionnelles. **Faire une mémoire sur silicium utilisant le spin des électrons est donc un élément de K (proposition 1).**

- Le spin des électrons peut être injecté grâce à des couches de nanomatériaux dont on contrôle l'aimantation afin de créer des effets tunnel. Une telle proposition est admise par des physiciens et par des spécialistes de l'électronique et a fait l'objet de diverses publications dans des revues scientifiques par des équipes réputées. On trouve par exemple un papier sur ce sujet (Motsnyi et Alli 2002), publié dans *Applied Physics Letters*, intitulé "*Electrical spin injection in a ferromagnet/tunnel barrier/semiconductor heterostructure*". Notons que le professeur Nikita est co-auteur de cet article. **L'injection de Spin par effet tunnel est donc une proposition de K (P 2).**
- Le Silicium est un semi-conducteur (un matériau très faiblement conducteur). Or, il a été démontré empiriquement que l'on pouvait injecter un spin à des électrons dans des semi conducteurs (comme l'Arsenide de Gallium par exemple). **L'injection du Spin directement dans un semi-conducteur est donc une proposition de K (P 3).**

Le concept eMRAM, basé sur la mise en oeuvre d'un FEM est donc la réunion de ces trois propositions :

"une mémoire sur silicium (P1), utilisant l'injection de Spin par effet tunnel (P2), directement dans le silicium (P 3)"

Selon la boîte à outils que nous proposons d'utiliser, la disjonction peut servir formellement pour donner le point de départ d'un raisonnement de conception. C'est le versant "cognitif" du processus collectif d'innovation. A quel moment, dans les données à notre disposition, peut-on dire de que cette disjonction est formalisée ? A quel moment peut-on dire que ce concept est pris en compte, qu'il sert de base à un raisonnement ? Nous cherchons là à positionner la borne de départ du processus analysé.

Nous l'avons vu, le Professeur Nikita a contribué à démontrer empiriquement la possibilité d'injecter un Spin par un effet tunnel, réalisé à partir de nano-couches de certains matériaux. C'est à partir de ces expériences, réalisées conjointement avec l'IMEC (Interuniversity microelectronics centre) dans le cadre d'un projet de recherche européen, que le professeur a imaginé le concept des eMRAM et du FEM, probablement dès 2001 :

"Nikita me recontacte en 2001 avec une idée qui prend la suite d'un projet réalisé avec l'IMEC dans le cadre d'un autre projet européen. Ils avaient démontré des effets intéressants

ferromagnétiques sur des petites surfaces. A partir de ça ils avaient inventé un nouveau point mémoire, beaucoup plus intégré qu'une mémoire magnétique traditionnelle, avec des couches au dessus du silicium."

Extrait entretien Hector.

Il est par conséquent difficile de situer avec précision le moment de cette disjonction, qui a lieu probablement à la fin de 2001. Il nous faut à présent affiner l'analyse de nos données pour désigner le début de notre processus.

8.1.4 Quand débute le processus ?

L'analyse du processus avec la théorie CK de la conception nous indique la fin de l'année 2001, comme un moment où une disjonction semble apparaître. Mais est-ce suffisant pour dire qu'un processus collectif d'innovation a commencé ? Dans la partie précédente, nous rappelions que nous pouvons parler de processus, **si et seulement si il existe une dynamique**. Les ingrédients évoluent, certains se créent, leur agencement se modifie. La disjonction est la proposition d'un concept, la naissance d'une proposition nouvelle, sans statut dans K. Mais il n'y a processus que si un ou des individus mettent en place un raisonnement. Le processus commence lorsque l'on commence à raisonner (à enrichir le concept par exemple, par des partitions) à partir d'une disjonction, ou que, au minimum, on se donne des moyens de raisonner (on décide de mener une expérience, de faire un état de l'art, de contacter un expert, etc.). Dans le cas contraire, une disjonction reste une idée, un concept, une invention latente dans la tête d'un individu, ce que Nikita a parfaitement compris :

"Le concept d'alors est purement mental. Hector me propose de faire un brevet. L'université a aidé à le faire. Et a accordé la licence à STARTER"

Le brevet en question fait l'objet d'une demande de dépôt le 27 Décembre 2002 sous le titre "Mémoire Magnétique à Détection de Spin". L'inventeur est Nikita. L'organisation qui en fait la demande est l'Université de la Méditerranée. Cela s'explique simplement : Nikita dirige une unité mixte LABO - Université de la Méditerranée, et c'est cette dernière qui, via son service de valorisation, a pris en charge la demande de brevet et a assisté Nikita dans la rédaction de ce brevet.

Peut-on dire que le processus débute alors ? Nous pensons que **le dépôt d'un brevet n'est pas le signe suffisant qu'une dynamique est en cours**. Les services de valorisation des Universités, comme les services de R&D des grands industriels connaissent bien la différence qui existe entre les inventions brevetées ... et les projets d'innovation. Le coût d'entretien (il faut payer régulièrement pour étendre la validité temporelle et géographique d'un brevet) des dizaines de brevets non

valorisés est souvent un vrai problème de gestion pour ces services, contraints de réaliser régulièrement des arbitrages et d'abandonner les inventions non exploitées.

Un processus collectif d'innovation, fondé sur une idée brevetée, ne va commencer qu'à partir du moment où un individu ou une organisation va se saisir de ce brevet et tenter de l'appliquer, ou de l'utiliser. C'est ce qui va se passer en Février 2003 :

"Nikita a déposé un brevet là-dessus. Moi de mon côté ça m'intéressait de créer un truc là dessus donc on a monté STARTER.

Florent : toi t'avais envie de créer une société. C'était un rêve ?

Hector : Oui oui, je me suis dit qu'il y avait une bonne occasion. Il y avait vraiment beaucoup de communications sur les MRAM. C'était vraiment vu comme la mémoire universelle."

Extrait entretien Hector

La création de STARTER a elle même été un processus. Officiellement, la société a été créée en Février 2003, mais Hector est d'abord passé par une structure d'incubation à Aix en Provence, en tant que futur créateur d'une Start-up, après avoir démissionné d'un poste de direction qu'il occupait chez un industriel fabriquant des composants électroniques sur Silicium. Ce temps d'incubation est un temps durant lequel Hector met au point son plan d'affaire, contacte des financiers pour capitaliser son entreprise, et participe au concours de la jeune entreprise innovante de l'ANVAR (il sera lauréat de ce concours en Juillet 2003, ce qui lui vaut une aide de 30 000 euros). Mais la naissance officielle de STARTER SA est de Février 2003. A partir de cette date, la société est lancée, elle a des comptes à rendre à des actionnaires et des employés et elle communique sur son projet de créer un nouveau type de mémoire. On peut considérer qu'à partir de ce moment, des **irréversibilités** (des modifications définitives) sont créées : il est difficile pour STARTER et pour Hector de ne pas explorer le concept des eMRAM. Nous choisissons donc cette date comme étant le début formel du processus que nous allons étudier, bien que, comme nous l'avons remarqué, les prémices de ce processus s'étendent plus de deux ans avant cette date (2001 et les articles sur l'injection de Spin par effet tunnel).

8.1.5 Les ingrédients au départ de ce processus

Nous avons insisté jusqu'ici sur le versant "cognitif" du début de ce processus, en montrant quelles étaient les propositions de K assemblées pour créer un nouveau concept de C. Il nous faut à présent observer le versant "social" de ce processus, et découvrir quels sont les ingrédients assemblés au

moment de la disjonction. Les connaissances associées doivent pouvoir se décliner en termes d'ingrédients, selon les catégories que nous avons définies plus haut. Nous allons donc "zoomer" sur ce début de l'année 2003 et prendre un instantané des ingrédients dont l'assemblage rend possible l'activité de conception.

a) Les individus

Deux individus se distinguent à ce moment là dans le processus : Hector et Nikita. Il nous faut insister sur les biographies de ces derniers :

Nikita est un chercheur russe arrivé en France au moment de la politique de Perestroïka mise en place par Gorbatchev à la fin des années 1980. A cette époque, de nombreux intellectuels et chercheurs profitent de l'assouplissement du contrôle de l'Etat sur les passeports et les déplacements pour quitter leur Pays. Nikita est un francophile : il a appris le français, qu'il a enseigné aussi à ses enfants, et lit les grands auteurs dans le texte. Il quitte donc son pays et décide de s'installer en France où il a déjà des contacts dans les milieux scientifiques, de par son activité de chercheur. Il va ensuite occuper diverses fonctions dans des institutions de recherche en France, en particulier à Polytechnique (jusqu'en 1995) puis au LABO.

Nikita mène des recherches sur le Spin des électrons depuis de nombreuses années. "*Moi j'ai travaillé dans les années 75 sur l'injection des spin. Par moyens laser.*" (Entretien Nikita). En ce sens **il connaît parfaitement les questions liées au magnétisme** sur un point fondamental : celui de la couche physique, du Spin des électrons, de la façon dont on peut contrôler et mesurer ce Spin.

Nikita s'installe à Marseille, à partir de 1995, pour prendre la direction d'un laboratoire spécialisé dans la la croissance des matériaux, techniques qui ont de nombreux débouchés dans l'électronique. Il est donc également un connaisseur du monde des composants électroniques sur silicium, dont il comprend en partie les contraintes, les objectifs.

Hector, après des études à Polytechnique dont il est diplômé au début des années 90, réalise une Thèse chez Thomson. Il la soutient en 1997, sur le sujet suivant : "*Jonction métal ferromagnétique / semi-conducteur : structure et magnétisme d'interface, transport électronique et dépendance en spin*", ce qui est un sujet proche des préoccupations à la base du eMram. "*C'était déjà sur l'intégration de matériaux magnétiques, mais 3'5, donc Arséniure de Gallium*" (entretien Hector). L'Arséniure de Gallium (GaAs) est un matériau semi-conducteur, concurrent du silicium, utilisé dans l'industrie pour réaliser des composants micro-ondes. Il possède donc des connaissances dans le domaine des Spin dans les semi conducteurs. Un point essentiel pour comprendre la mise en route de ce processus est lié à la personnalité d'Hector. Il a le désir de créer une entreprise et cherche un

projet porteur : *"Oui oui, je me suis dit qu'il y avait une bonne occasion. Il y avait vraiment beaucoup de communications sur les MRAM. C'était vraiment vu comme la mémoire universelle."* (Entretien Hector).

D'autres individus pourraient être identifiés à ce moment là du processus : les collaborateurs de Nikita par exemple, ou encore les personnels administratifs l'ayant aidé à déposer son brevet. Mais nous considérons que, pour ce qui est de la disjonction, ils sont moins prégnants qu'à d'autres moments du processus : ils participent à la disjonction seulement en exerçant leur fonction en tant que membres d'une organisation (préparer un brevet est une tâche routinière pour certains juristes dans une cellule de valorisation). Il n'est donc pas nécessaire de les distinguer individuellement en tant qu'ingrédients.

b) Les organisations

Certaines organisations sont sollicitées en ce début de processus. Il y a bien entendu le **LABO**, le laboratoire que dirige Nikita, et par de-là cette unité mixte de recherche, l'**Université de la Méditerranée**, qui va prendre en charge le dépôt du brevet.

STARTER, bien entendu, est un ingrédient organisationnel créé spécialement, pourrait-on dire, pour accueillir cette disjonction, puisque cette entreprise est créée pour en explorer le concept, et en commercialiser les résultats dans le futur.

L'**incubateur Impulse**, qui est une structure créée par les Universités de Marseille et d'Avignon, est aussi un ingrédient organisationnel, puisque cette structure va favoriser la création de STARTER par Hector.

STARTER bénéficie aussi d'un apport en capital par le fond d'investissement **Primaveris**, un investisseur spécialisé dans le soutien de Start-up de hautes technologies de moins de trois ans.

c) Les liens entre individus

Un lien est essentiel en ce début de projet, celui unissant Hector à Nikita. Lors des entretiens ciblés, nous avons demandé à chaque interviewé comment il avait rencontré (et depuis quand) chacun des autres chefs de projet dans MEMORY. Les réponses croisées de Hector et Nikita sont éloquentes :

"Nikita, je le connais depuis 1994 – il était à l'école polytechnique, chercheur détaché, moi j'étais chez Thomson et on collaborait avec le Labo où était Nikita. On avait travaillé un peu ensemble. Il y avait un projet commun Thomson / Polytechnique. [...] Ensuite je suis rentré chez

ST Micro, Nikita est venu à Marseille pour prendre la responsabilité du PC4 à l'époque, qui a fusionné ensuite avec le MATERIALIS pour devenir le LABO.

Je l'avais recontacté en 2000, sachant que je voulais garder un contact avec le monde de la recherche. On s'est vus 2 ou 3 fois."

Extrait entretien Hector

"Sa thèse (NDLA : Hector) portait sur l'interaction du spin injecté sur ceux qui sont déjà dans le silicium. Il est rentré à Rousset pour travailler dans l'industrie. Entre temps, je suis rentré comme professeur ici.

Mon idée je l'ai eue. Je l'ai contacté pour tester cette idée. Lui, de par son expérience industrielle pourrait juger de l'idée."

Extrait entretien Nikita

Il est manifeste que la relation Hector / Nikita est ancienne. Elle remonte à 1994, et s'est tissée durant la Thèse d'Hector. Il semble que Hector, malgré son passage dans l'industrie, ait entretenu cette relation avec Nikita, qui est pour lui un lien vers la recherche. Réciproquement, Hector représente une vision industrielle importante pour Nikita. Leur relation représente un pont entre le monde de l'industrie et celui de la recherche. On pourrait faire ici référence à la littérature sur les Gate Keepers, pour qualifier la nature de leur relation.

d) Les communautés

En 2000 - 2001, la spintronique est utilisée de façon industrielle principalement dans le domaine des têtes de lecture des disques durs, ce qui a permis de réduire considérablement la taille de ces derniers. Mais la spintronique tarde à franchir la barrière disciplinaire qui lui permettrait de trouver des applications dans la micro électronique sur silicium, et reste principalement maîtrisée par la "communauté" du magnétisme (au sens des communautés épistémiques), le terme de communauté étant explicitement évoqué par Hector comme suit :

Hector : [...] c'est une communauté du magnétisme, qui travaille principalement sur les têtes de lecture. C'est une communauté assez fédérée avec de gros business derrière.

Florent : une communauté ?

Hector : c'est une communauté scientifique, technique, industrielle. Ils sont orientés tête de lecture (NDLA : de disque dur). C'est différent du monde de la micro électronique. Son approche à Nikita est un peu à la croisée des chemins. Elle est assez innovante parce que

justement elle est à la croisée des deux communautés. Il faut avoir des compétences dans les deux domaines.

Extrait entretien Hector

Le projet des eMram est à la croisée de deux communautés épistémiques distinctes. La communauté dite du magnétisme, habituée à manipuler du silicium et des circuits imprimés, et celle du magnétisme, qui maîtrise les phénomènes de Spin et les techniques associées.

e) Appareillages techniques, inscriptions et dispositifs de coordination

Indéniablement, la découverte et l'observation d'un effet tunnel nécessite une infrastructure lourde. Mais cette infrastructure est utilisé pour créer des connaissances, et non pour faire la disjonction. La création du concept eMram en elle même est une association de connaissances existantes, qui nécessite tout au plus (au niveau matériel) **des outils de bureautique**. Tant que le concept reste "mental", pour reprendre le mot de Nikita, il n'y a pas d'appareillage complexe à mettre en oeuvre.

Au moment de la disjonction, des **inscriptions** sont utilisées et en particulier la littérature scientifique. On peut considérer que Nikita connaît bien cette littérature, à laquelle il a contribué personnellement. La thèse d'Hector est aussi un morceau du répertoire consacré à l'injection de Spin. Mais l'inscription clé, qui est un ingrédient spécifique en partie créé pour cette disjonction, est **le brevet de Nikita sur "une mémoire magnétique à effet de Spin"**.

Au tout début de ce processus, les dispositifs de coordination utilisés entre Nikita et Hector sont principalement le téléphone et l'échange de méls. Par la suite, un accord de licence (qui est à la fois une inscription et un dispositif de coordination) vient établir une règle de gestion au sujet de la manière dont STARTER pourra interagir avec l'inventeur du concept eMram.

f) Financements

L'invention de Nikita est une proposition "mentale" pour reprendre ses mots. En ce sens, elle ne repose pas sur un financement spécifique, outre le salaire qui permet son investissement intellectuel pour énoncer le principe eMram. Cependant, cette disjonction n'est le début du processus qu'à partir du moment où elle est cristallisée par un brevet, et portée par STARTER. Il y a donc, à ce stade du projet, un **besoin de financement pour payer les frais de dépôt de brevet** (c'est une procédure assez coûteuse, qui requiert des relectures par des juristes, des recherches d'antériorité, des paiements de droits de dépôt, etc.), et un **besoin de capitalisation de STARTER**.

8.1.6 Conclusion

Nous avons à présent une idée plus précise sur l'assemblage d'ingrédients à l'origine de ce que, sur le plan cognitif, nous nommons une disjonction.

Des **individus** (Hector et Nikita) **liés** entre eux de longue date, ayant une confiance mutuelle dans les compétences de l'un et de l'autre, échangent de façon informelle au sujet d'un nouveau concept de mémoire. Ce concept allie des connaissances issues de deux **communautés** distinctes, entre lesquels les échanges ne sont pas aisés. Mais l'appartenance de Nikita à ces deux communautés rend possible le dialogue entre ces deux communautés. Ce dialogue entre Nikita et Hector permet de donner un statut à la proposition "eMram", en tous cas un statut par rapport à leur espace K commun (C est K dépendant). Compte tenu de ce qu'ils savent de l'industrie de l'électronique, du magnétisme, des matériaux, une eMram n'existe pas, mais est possible (la proposition n'est ni vraie, ni fausse). C'est un concept pouvant être exploré. Le concept fait alors l'objet d'une **inscription** (le brevet), et une **organisation** (STARTER) est créée pour organiser cette exploration. Ces deux opérations vont nécessiter de dégager des **financements** spécifiques. L'Université (organisation) prend en charge le dépôt de ce brevet, et en accorde la **licence** à STARTER.

Au départ de la disjonction, cet assemblage d'ingrédients est relativement "**léger**" en comparaison de ce qu'il sera dans les séquences à venir : deux individus, liés entre eux, se coordonnant informellement, évaluent le potentiel d'un concept. Puis, rapidement, la disjonction est portée par un assemblage plus "solide", comportant une organisation spécifique (STARTER), liée par un brevet, et des pactes d'actionnaires à d'autres organisations. **On pourrait parler d'une forme d'institutionnalisation de cet assemblage d'ingrédients.**

On voit aussi l'importance prise en ce début de processus par Nikita qui, de par son appartenance à plusieurs communautés épistémiques, personnifie la première disjonction, qui est justement liée à l'association de propositions issues de diverses communautés auxquelles il appartient.

Section 8.2 La Séquence Fondations

Nous venons de voir que, rapidement après la disjonction, l'assemblage d'ingrédients permettant ce processus de conception tend à s'institutionnaliser. Nous avons qualifié la séquence qui s'ouvre alors de "Séquence Fondations", car au sein de ce segment temporel certaines bases du processus tendent à se consolider :

- STARTER acquiert une pérennité financière et remporte des succès,
- Le concept des eMram commence à être enrichi par des opérations de partition
- Des recherches, en particulier sur les matériaux, sont spécifiquement menées en réponse aux interrogations des concepteurs,
- De nouveaux partenaires font leur apparition et se lient, via divers dispositifs de coordination, aux partenaires d'origine.

Cette phase va durer jusqu'au mois de Juin 2004, qui va marquer un tournant dans ce processus, ce que nous nommons une bifurcation, avec la publication officielle d'un appel à projets par la CE dans le cadre du PCRD.

8.2.1 Les partitions réalisées et les questions de recherche

Entre le concept du eMram, tel qu'il est formalisé dans le brevet de Nikita, et la réalisation d'un prototype visée par STARTER, il reste un long chemin de conception. L'une des questions principales étant de savoir quels seront les matériaux utilisés pour fabriquer le FEM, et comment ils seront déposés sur le silicium. Il faut donc enrichir le concept initial en y ajoutant des propriétés issues de K. Dans la théorie CK, **cela correspond à l'opérateur $K \Rightarrow C$** , des éléments de l'espace K étant ajoutés à une proposition de C. Cela permet de déployer le concept eMram sous une forme arborescente.

De quels matériaux a-t-on besoin pour concevoir une eMram ? Il faut des matériaux conducteurs (matériaux dits Ferromagnétiques), séparés par un matériau isolant, assemblés en couches successives, et d'épaisseur nanométrique afin de créer un effet tunnel. Il y a ici un triple problème :

- d'une part, divers matériaux sont possibles pour les couches isolantes ou Ferromagnétiques
- d'autre part, les matériaux peuvent être déposés selon différentes techniques

➤ enfin, les techniques de dépôts doivent être compatibles entre elles : par exemple, certains matériaux ne résistent pas à des cuissons en haute température, cuissons nécessaires pour le dépôt d'autres couches...

Il faut donc importer des connaissances issues de divers domaines : celui des matériaux, celui des techniques industrielles de dépôt, celui des procédés de fabrication de CMOS¹.

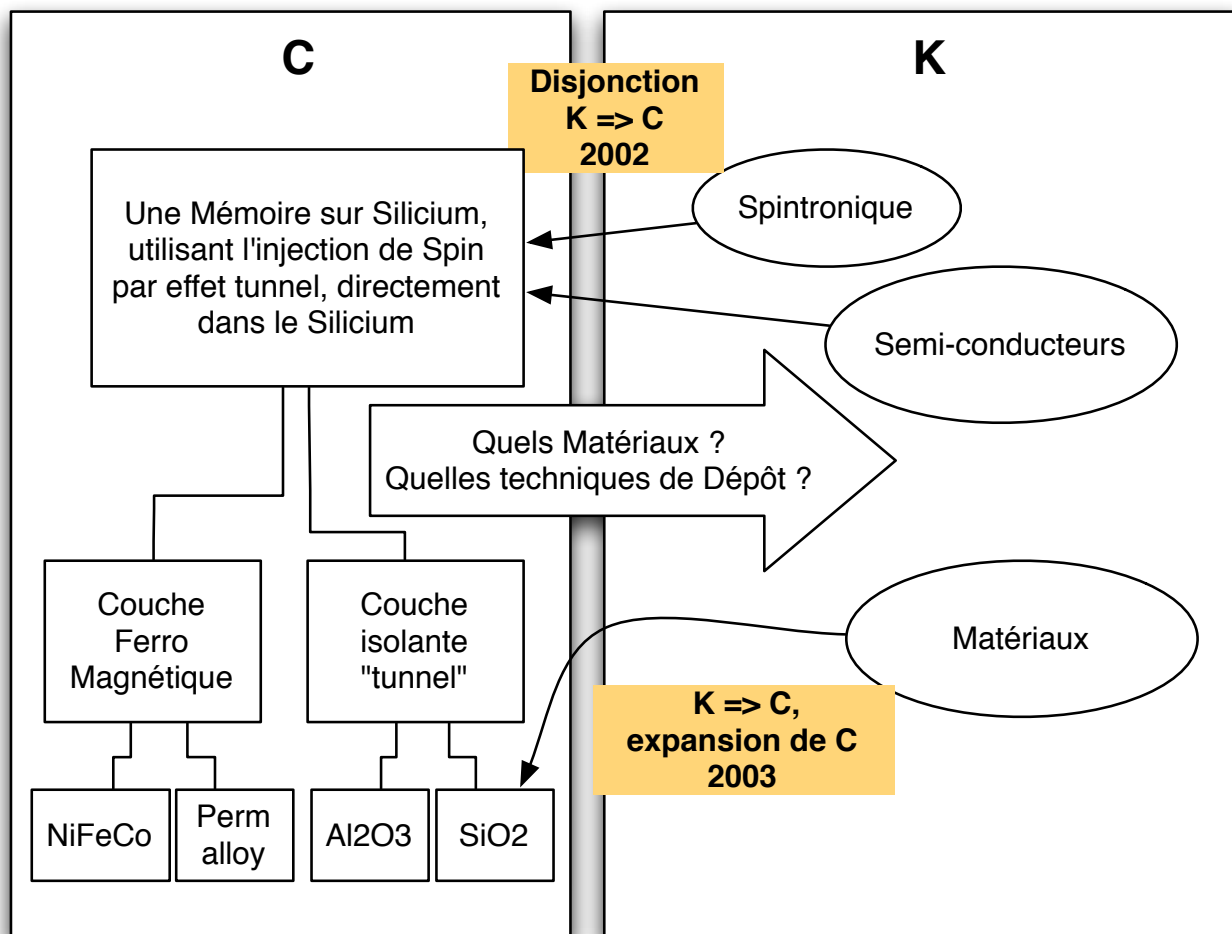
Ce besoin des concepteurs envoie de toute évidence **des questions explicites vers la recherche** : quels sont les matériaux isolants pouvant être déposés en couches nanométriques ? Quelles sont les caractéristiques de ces matériaux ? Résistent ils aux températures nécessaires à la fabrication d'un composant sur silicium ? Ces questions peuvent aussi être déclinées pour la couche Ferromagnétique.

Or, l'état de l'art maîtrisé par les concepteurs de la disjonction (Hector et Nikita) ne permet pas de répondre à toutes ces questions. Il faut donc, d'une part, explorer les connaissances existantes sur ces questions, et, d'autre part, créer des connaissances nouvelles, via des projets de recherche, sur les matériaux candidats. Il va donc y avoir, pour les besoins de la conception, une nécessaire **expansion de l'espace K, ce qui correspond dans la théorie à l'opérateur $K \Rightarrow K$** . Notons d'ailleurs, qu'entre la fin de 2002, date de dépôt du brevet, et Juillet 2004, la fin de cette séquence, 18 mois se seront écoulés, soient 18 mois de recherche dans un domaine très riche (en particulier celui des nano matériaux). L'espace K du domaine est donc naturellement en expansion (indépendamment des questions issues de C), expansion que les concepteurs doivent suivre et prendre en compte.

Dans le courant des années 2002 et 2003, ces opérations de conception vont permettre d'isoler un certain nombre de matériaux candidats, qui semblent avoir les bonnes caractéristiques pour être à la base du FEM visé par les eMram. Pour ce qui est de la couche isolante, les concepteurs isolent le Dioxyde de Silicium (SiO₂) et un Oxyde l'Aluminium (Al₂O₃). Pour ce qui est des couches Ferromagnétiques, les concepteurs optent principalement pour Ni₈₀Fe₂₀ (le "permalloy", qui est un alliage Nickel et Fer) ou bien NiFeCo, un alliage de Nickel de Fer et de Cobalt.

Schématiquement, cet aller retour entre C et K, C envoyant des questions vers K, et K enrichissant, en réponse, l'arborescence de C, peut être représenté formellement comme suit :

1. Complementary Metal Oxide Semiconductor, désigne les mémoires sur silicium.



La question des techniques de dépôt est plus complexe : il existe de nombreuses manières de créer des nanocouches de ces matériaux. Certaines de ces techniques sont déjà utilisées dans l'industrie de la micro-électronique, d'autres techniques sont plus expérimentales, mais peuvent présenter des avantages de coût, ou bien reposer sur des procédés moins stressants (ne nécessitant pas, par exemple, de cuissons à haute température). Parmi les techniques envisagées par les concepteurs, quatre peuvent être distinguées :

- le **PVD** (Physical Vapor Diffusion) consiste à vaporiser des particules de matériau dans un environnement sous vide, et à faire se condenser ce matériau sur la surface où l'on souhaite disposer d'une couche mince.
- le **CVD** (Chemical Vapor Deposition) consiste à mettre le support (typiquement une surface de silicium) en contact avec un précurseur chimique, qui en réagissant ou en se dégradant va produire la couche de matériau visé. Ce procédé génère des sous produits qu'il faut ensuite éliminer.

- **l'Oxydation Thermique** permet en particulier, de créer la couche tunnel (isolante) de SiO₂, puisque le Silicium (Si) s'oxyde au contact de l'oxygène (O₂), réaction pouvant être accélérée par chauffage.

- Enfin, il existe diverses techniques des dépôts à froid, permettant de faire des dépôts de très faible épaisseur (quelques atomes) et qui, en plusieurs passages, peuvent permettre de fabriquer des couches minces. On classe les **ALD** (Atomic Layer Deposition) parmi ces techniques, souvent basées sur l'utilisation de divers réactifs chimiques successifs permettant d'atteindre les produits ciblés. C'est un procédé comparable au CVD, mais qui permet de contrôler des dépôts à l'échelle de l'atome.

Le choix de l'une ou de l'autre de ces techniques n'est pas anodin pour la conception, car ces diverses techniques peuvent rendre possible - ou pas - l'emploi de tel ou tel matériaux. La question n'est donc pas seulement "est-ce le meilleur matériau" mais aussi "est-ce faisable" ? Le mieux pour le savoir est encore de le tester, donc **de provoquer des conjonctions (opérateur C => K)**, c'est à dire, par exemple, de fabriquer selon diverses techniques des couches minces, et de vérifier si elles ont les caractéristiques électro-magnétiques attendues, si elles peuvent, par exemple, provoquer un effet tunnel et injecter un spin dans le Silicium.

8.2.2 Versant social de ces opérateurs de conception

Les opérations de conception que nous venons de décrire (expansion de K, partition de C, nécessité de mener des conjonctions) ont été retracées à l'aide d'une proposition de projet faite par Hector dans le cadre du dispositif de financement de projets de R&D européen nommé Eurêka (Document 20040121PropaleEureka.txt). On y trouve une description du prototype visé et des diverses pistes à explorer, en particulier pour ce qui est des métaux à utiliser pour créer l'effet tunnel. Mais pour arriver à ce niveau de détails dans la conception, de nouveaux ingrédients ont du être mobilisés par les concepteurs.

a) Mobilisation de connaissances nouvelles

Nous venons de montrer que, pour faire évoluer le concept initial, la conception avait eu besoin de s'appuyer sur des connaissances, et en particulier des connaissances dans le domaine des matériaux. Hector et Nikita ne peuvent pas maîtriser tous les aspects liés à la fabrication d'un FEM. Les connaissances dont ils ont besoin existent pourtant : dans des laboratoires, dans des universités, qui travaillent sur la création de couches minces de matériaux de ce type. Il faut donc désormais interagir avec des spécialistes des matériaux, leur adresser les questions de recherche issues de C.

Nikita comme Hector ont des liens nombreux avec des scientifiques de ce domaine, de part leur expérience professionnelle, leur appartenance à des "milieux scientifiques", que l'on pourrait qualifier de communautés épistémiques. A ce stade là, c'est en activant ces liens qu'ils vont réussir à collecter les connaissances qui leur sont nécessaires :

" Historiquement j'ai quand même fait ma thèse dans ce domaine. Je connais les acteurs. A l'époque j'avais eu des résultats. On me connaissait. J'avais gardé des contacts que j'ai pu réactiver. Le projet FUTURA on l'a fait avec TRON grâce à des contacts de Nikita.

Extrait entretien Hector

Le projet FUTURA auquel fait référence Hector, est un projet de recherche sur les matériaux ferromagnétiques lancé par le LABO (le laboratoire de Nikita), STARTER et le TRON (un laboratoire de recherche appliquée en électronique basé à Grenoble) durant l'année 2003.

De plus, au sein même du LABO, Nikita peut compter sur les équipes de spécialistes des matériaux, qui vont l'aider à enrichir l'espace K de conception. Par exemple, le choix de AL₂O₃, un Oxyde d'Aluminium, pour faire une couche isolante, vient d'une équipe de recherche du LABO :

L'idée de la mémoire enfouie dans le silicium est une idée a Nikita. La façon de fabriquer l'oxyde est une idée a nous. C'est basé sur de la chimie douce. On fait de multiples dépôts. 3 en fait.

Extrait d'un entretien avec Zacharia, chercheur au LABO

D'un point de vue cognitif, l'expansion d'un concept est basée sur l'intégration de connaissances existantes et des connaissances à créer, en réponse à des questions issues de C. D'un point de vue social, **cette expansion de K correspond à un enrichissement des ingrédients** nécessaires au déroulement du processus. Il faut associer et consulter de nouveaux individus, passer des accords avec de nouvelles organisations. Pour ce faire, Nikita et Hector utilisent les liens qu'ils ont avec divers spécialistes dans les milieux scientifiques.

b) Trouver des moyens pour tester

Si les concepteurs (c'est à dire Hector, Nikita, mais aussi des scientifiques du LABO et de TRON) semblent porter leur choix sur certains matériaux précis, la question de la faisabilité reste posée. D'une part, il y a diverses techniques de dépôts possibles. Toutes ont des avantages et des inconvénients. Mais surtout, le FEM a besoin de couches extrêmement minces, tout en restant uniformes (une couche trop irrégulière, ou présentant des trous, va perdre ses caractéristiques magnétiques). Il faut donc pouvoir tester le dépôt de ces divers matériaux, selon différentes techniques de dépôt,

PUIS contrôler les caractéristiques des couches minces ainsi obtenues. Il devient donc nécessaire, pour continuer la conception, de produire des wafer de test. Or, ni STARTER, ni le LABO n'ont les installations requises pour fabriquer ces wafer de test.

"[...] assez rapidement je me suis dit avec ça on ira pas assez loin, il faut un projet derrière plus industriel. Et pour ça il faudrait le faire dans le cadre d'un projet européen plus fédératif, faire rentrer des compétences un peu plus variées."

Extrait entretien Hector

Hector décide donc de contacter d'autres partenaires potentiels ailleurs en France et en Europe, et envisage dès lors de trouver un financement spécifique pour un tel consortium. Mais trouver des partenaires, les fédérer autour d'un projet, faire qu'ils répondent ensemble à un appel d'offre n'est pas une chose facile. **En Avril 2003**, il prend donc contact avec SPARKS Innovation, un cabinet de conseil spécialisé en Management de l'Innovation localisé en région PACA. Nous **travaillons alors dans ce cabinet en tant que consultant**, et nous allons désormais suivre le projet d'Hector. C'est donc à partir de cette date que nous avons un autre type de données concernant ce processus : les méls que nous échangeons avec Hector, puis avec les futurs membres du consortium, ainsi qu'une documentation croissante. Dans la suite, nous mettons en scène notre participation au processus en parlant de "Florent " : il faut dès lors considérer notre participation à MEMORY comme étant l'ajout d'un ingrédient comme n'importe quel autre ingrédient, ce que le "je" ou le "nous" pourrait masquer.

Le premier document envoyé par Hector à Florent est le descriptif d'un projet visant à produire les premiers prototypes de eMram. Les partenaires recherchés pour participer à son projet sont les suivants (extrait de (20030402STARTER.doc) :

- *FOUNDRY : partenaire industriel disposant d'outils de production de composants, [...] En Europe, il y a quatre acteurs : Tower Semiconductor (Israël), X-Fab (Allemagne), AMS (Autriche), AMISemiconductor (Belgique et Usa). A retenir la présence d'Angstrem en Russie.*
- *FABLESS END-USER : société de conception de composant et de marketing qui sous-traite à des foundry la fabrication de ses composants. Vend généralement le composant intégré dans un système complet. Acteurs français : Wavecom, Inside Technologies, ASK ... En Europe essentiellement en Belgique, UK, Allemagne et Israël : Melexis (Belgique), Wolfson Microelectronics (UK) ...*

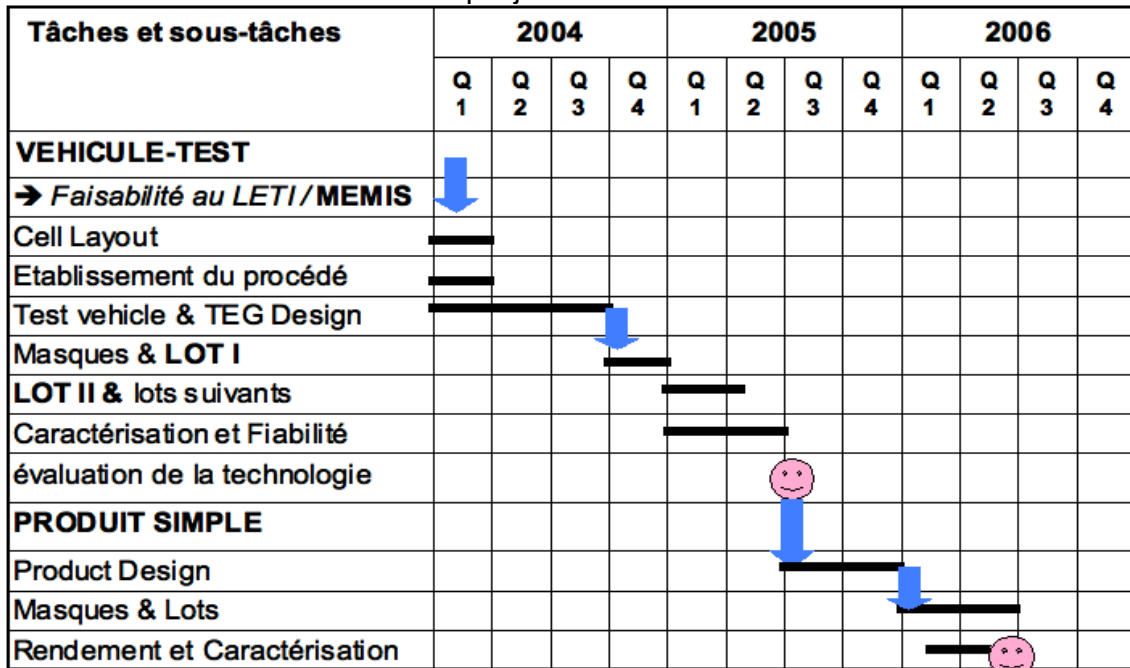
-
- *DESIGN HOUSE* : conception de composants ou de sous-parties de composants pour des fabless ou fabricants d'électronique. Nous recherchons des compétences fortes en design de mémoire (bus série et parallèle, circuit d'écriture/lecture). Quelques acteurs français non qualifiés : Psi Electronics, Barco-Silex ...
 - *INTEGRATED DEVICE MANUFACTURER* : fabricants de composants intégrés, réalisant la conception, la fabrication et la vente. Quelques petites structures en Europe : EMMicroelectronics et Micronas, et aussi de très grosses structures : Atmel, Infineon, STMicroelectronics, Philips.
 - *ASSEMBLAGE et TEST* : sous-traitant réalisant l'assemblage et le test des composants. Partie à faible valeur ajoutée nécessitant une main d'œuvre importante, généralement délocalisée en Asie. Sur des petites séries, Europractice (Belgique) est un interlocuteur crédible.

Toujours selon ce document, le projet de fabrication des premiers échantillons de eMram s'élève à **plus de trois Millions d'Euros, pour un projet devant durer 30 mois**. Dans la liste des partenaires potentiels, on remarque qu'Hector a listé **les acteurs de la filière de l'électronique**, allant du fabricant du Wafer au concepteur "Fab-less" du circuit électronique, c'est à dire l'entreprise qui va dessiner le circuit correspondant à une fonction informatique. Il y a aussi de gros acteurs, tels Atmel ou Infineon, qui intègrent la totalité de la chaîne.

Il y a aussi un "Gantt Chart" dans ce document, qui montre qu'Hector présente, dès 2003, le travail à réaliser sur MEMORY dans une logique projet, avec un lotissement des tâches et une progression par étapes prédéfinies (voir figure suivante).

Dans ce Gantt, les lots 1 (Faisabilité, établissement du procédé) et les lots 2 (Caractérisation & Fiabilité, évaluation), correspondent au besoin de test que nous avons décrit plus haut. Il va falloir décider qui de Al₂O₃ ou de SiO₂ est le meilleur oxyde pour la couche tunnel, quel est le meilleur métal Ferromagnétique, afin que certains embranchements de C acquièrent un statut. Et pour ce faire, il faudra de nouveaux partenaires, accéder à des outillages industriels, obtenir un financement, etc.

Schéma 20: Le Gantt du projet eMram en Avril 2003 selon Hector



En Mai 2003, Hector contacte l'ANVAR, qui a mis en place un dispositif spécifique pour aider des PME innovantes françaises à s'associer à des partenaires technologiques dans le mode : l'APTI (Aide pour le Partenariat Technologique International). Le 20 Juin (20030620M2.pdf), il obtient cette aide, qui va lui permettre de **passer un contrat de sous-traitance** avec SPARKS Innovation à partir de Juillet 2003.

8.2.3 Le fil des événements

Florent propose à Hector de collaborer avec lui en plusieurs étapes. Dans un premier temps, il souhaite que les travaux à réaliser durant le projet **soient mieux décrits, sous formes de "work packages"**. Il y a deux raisons à cela. D'une part, la description du travail en Work Packages est une étape incontournable dans la rédaction de toutes les propositions de projets en réponse aux appels d'offres européens. Le travail ainsi réalisé sera une bonne base pour la rédaction des futures propositions et permettra de négocier la participation des futurs partenaires de STARTER. D'autres part, c'est pour Florent l'occasion de mieux comprendre en quoi consiste ce projet (Florent découvre le monde de l'électronique) et ces discussions préalables vont lui permettre de savoir 1) vers quels programmes de financement le projet de STARTER pourrait s'orienter et 2) quels sont les partenaires manquants qu'il faut convaincre de rejoindre le projet.

Ce dialogue est aussi l'occasion pour Hector de découvrir la logique des projets financés par l'Europe, qui doivent suivre un certain formalisme... Tout en évitant certains pièges liés à ce formalisme. C'est ainsi que, dans un modèle de tableau où Hector doit renseigner une liste de livrables (20030924WP.doc), Florent fait la précision suivante :

"Au sens de la CE, les deliverables sont des rapports (spec ou autre), des résultats (Maquette, sample) etc.

Pour 11) on pourrait dire : Production Specification Report.

Attention cela dit à ne pas mettre trop de "livrables", car pendant le projet... On est obligé de les produire ! Et parfois, on se demande bien pourquoi on avait promis de rédiger tel ou tel rapport, concrètement inutile..."

Dans un compte rendu suite à une réunion tenue au début de leur collaboration (20030627M1CR1.doc) Florent fait un tableau prévisionnel qui prévoit un dépôt de demande de subvention en Octobre 2003, tout en précisant que :

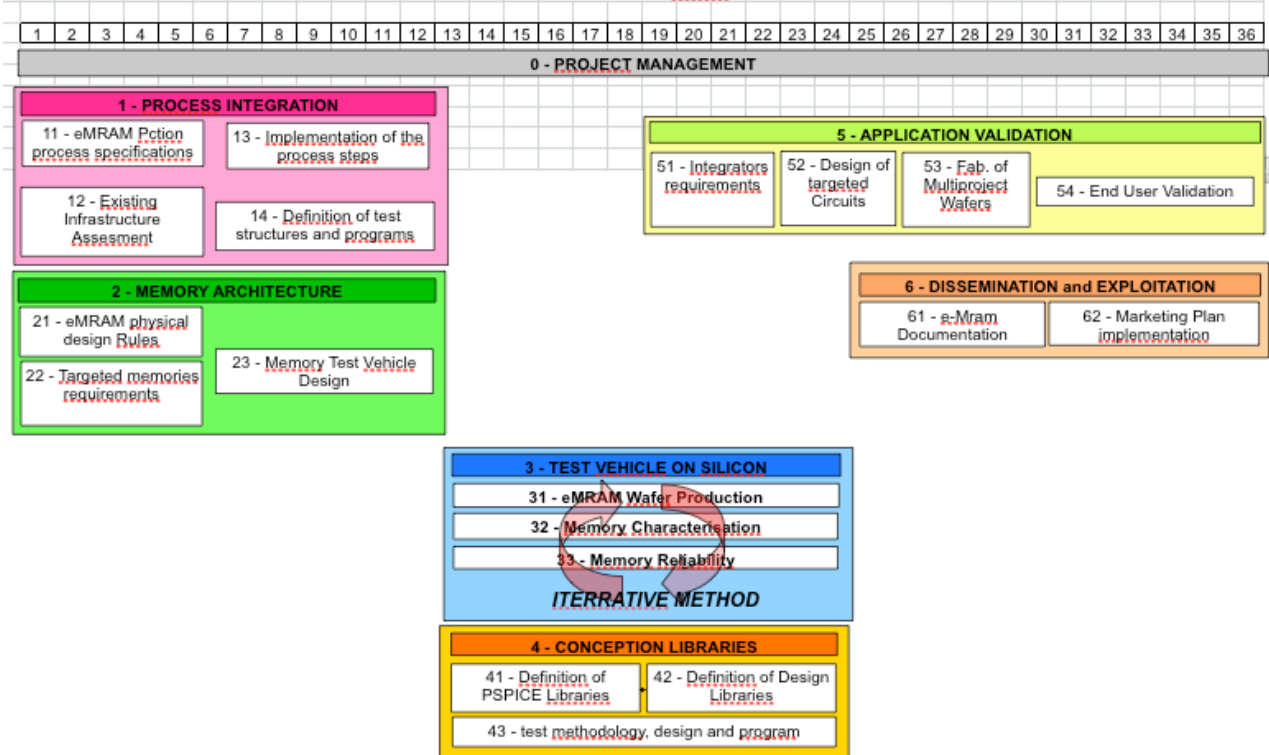
"Ce planning pourra évoluer en fonction de la date limite de dépôt propre au programme choisi (NMP et recherches collectives seront plus tardifs)"

Comme nous allons le voir ci-dessous, ce planning va en effet largement évoluer, puisque le dépôt de proposition sera fait... En Octobre 2004, soit un an après la date prévue.

a) L'évolution des WP et du Gantt

La retouche des WP va se faire entre Hector et Florent par des envois de documents via des mél et des réunions téléphoniques. Cette tâche s'avère complexe, et va finalement durer jusqu'à Septembre 2003, on l'on a une version datée du 24 Septembre (20030925M1GANT.xls), que nous reproduisons ci dessous

Schéma 21: Le Gantt du projet réalisé par Hector et Florent en Septembre 2003



On peut remarquer plusieurs choses, si nous le comparons au Gantt précédent : d'une part, certains lots se chevauchent (on commence le 5 alors que les 3 et 4 ne sont pas terminés). D'autre part, **le lot 3, consacré aux tests, a pris une importance croissante** (une année) et doit se dérouler de façon "itérative". Une idée s'impose en effet dans la tête des concepteurs, à savoir que le choix des matériaux pour le FEM ne va pas être simple, et va probablement nécessiter de multiples tests et ajustements des hypothèses de conception. Enfin, on peut remarquer que l'échelle de temps de ce Gant est une décomposition en 36 mois, qui ne fait plus référence explicitement à une date, contrairement aux versions précédentes (avec un début prévu en 2004).

b) L'arbitrage pour Eurêka

Maintenant qu'il a mieux compris quels étaient les caractéristiques de ce projet (qui est, à partir de Septembre 2003, intitulé EM4A dans les méls échangés), Florent fait le tour des programmes de financement afin de voir quels sont ceux qui sont les mieux adaptés. Il regarde alors les thématiques IST (Information Science Technologies) et NMP (Nanosciences, Matériaux et Procédés) du PCRD. Tous les six mois environ, ces thématiques publient une liste de sujets qui sont finançables. Florent constate alors dans un compte rendu de réunion (20030915M1CR2.doc) que

"ces programmes et leurs appels d'offre en cours n'ont pas de thème en concordance avec le projet STARTER. Une proposition serait évaluée comme étant "non éligible".

Cela est peut-être du à la spécificité du concept eMram, qui est à la croisée de plusieurs disciplines, en se situant à la fois du côté des matériaux (donc NMP) pour l'aspect spintronique et magnétisme, et à la fois du côté IST, parce qu'il s'agit d'une mémoire RAM sur Silicium. Le projet ne rentre donc pas parfaitement dans un programme calibré. Hector fait le même constat en parlant de la position de ce projet sur deux domaines : "*C'est en même temps le point fort, disruptif, mais aussi le point faible : innovant et beaucoup d'inconnus*" (Extrait entretien Hector).

C'est donc au final vers le programme Eurêka qu'Hector et Florent décident de s'orienter. Eurêka est un programme qui ne propose pas de thèmes de recherches, et suit ainsi une démarche qualifiée de "Bottom-Up", puisque les thèmes de projets sont issus directement du terrain. De plus, les critères d'éligibilité sont plus assouplis. Florent précise à ce sujet (20030915M1CR2.doc) :

"ce programme est orienté « projets de mise en œuvre », et ne nécessite que deux pays. Il peut réunir à la fois des universitaires, des PME et de grandes entreprises. Le financement suit deux étapes : Premièrement, l'obtention du Label Eurêka. Deuxièmement, la négociation, dans chaque pays, du dispositif d'aide avec les autorités nationales compétentes."

Enfin, le programme est "ouvert" et ne fonctionne pas par appels à projets. Les proposant sont donc libres d'envoyer une proposition dès qu'ils ont bouclé leurs consortia et négocié les modalités de leurs collaborations.

c) A la recherche d'un Fondateur

Hector a besoin de faire travailler un fondateur dans ce projet, c'est à dire une organisation possédant l'infrastructure technique et le savoir-faire nécessaires pour produire des wafer selon le cahier des charges de l'eMram. Et comme il a décidé de chercher un financement dans un cadre européen, il cherche bien entendu un fondateur hors de France.

Cette tâche ne s'avère pas facile, comme le résume Hector :

"Florent : Et pour le fondateur..."

Hector : ça ça été le plus dur, c'est ce qui a pris le plus de temps.

Florent : il fallait pourtant un quasi intégrateur.

Hector : j'ai cherché des industriels de taille intermédiaire. Ils étaient intéressés, mais pas de rentrer dans un projet européen. Ils voulaient juste valider des briques technologiques, déjà qualifiées. Ce sont des PME, elle n'ont pas de temps à perdre à développer des technologies du futur, qui seront prêtes dans 10 ans... Vers la mi 2003 à fin 2003, on prospecte les fondateurs

européens. [...] On a aussi des contacts pris avec des labos en Russie (on a eu les adresses via l'ambassade). En avril on les visite (NLDA : en compagnie de Nikita). Eux ça les intéresse. On pensait partir avec eux. Ça collait avec leurs besoins. Ils travaillent pour la défense, le pétrolier, la tenue haute température des eMram les intéresse. On a un bon fit réciproque... Mais au moment de travailler à préparer les documents, plus personne... "

Extrait entretien Hector

Parmi les fondateurs potentiels, la **cible PME n'est pas la bonne**. Ces petites structures ne sont pas prêtes à consacrer du temps machine à produire des wafer expérimentaux. Elles se consacrent à leurs clients, et sont disposées, à la limite, à produire des wafer de test avec des principes technologiques validés par ailleurs... Ce qui n'est pas le cas pour les eMram.

La piste russe va elle aussi faire long feu, comme les pistes anglaises et suisses, et ce pour diverses raisons qu'il nous est difficile d'évaluer. L'une des raisons que nous pouvons invoquer à partir de nos observations **est la difficulté du schéma de financement de Eurêka**. Si le PCRD est sur certains aspects complexes (il y a un programme, un calendrier et un format imposé), les modalités de financement sont connues et faciles à comprendre (on est remboursé à 100% des coûts marginaux pour les laboratoires et à 50% des coûts complets pour les entreprises).

Le cas de Eurêka est bien différent : une fois un projet labellisé "Eurêka", chaque partenaire doit se retourner vers les autorités compétentes de son pays, pour tel ou tel type d'organisation. Il y a donc un grand nombre de schémas possibles : une université italienne n'aura pas la même aide qu'un laboratoire allemand ou qu'une entreprise française. De plus, il est très difficile de connaître *a priori* à quelle aide chacun pourra prétendre : les conditions de financement des partenaires des projets Eurêka varient dans le temps et dans l'espace. Cela pose un problème au moment de négocier la participation d'un partenaire, **qui a besoin de savoir quel sera son investissement réel**, et quelle sera son aide (Mél d'une entreprise Suédoise 20040109M1.pdf) :

"Dear Mr. Hector,

I am sorry for the delay. At the moment we are quite busy! We are interested in your suggestions. But we need more specified, details about what we should do and also about the financial. "

Extrait d'un Mél envoyé par un fondateur en Suisse.

Florent tente donc de contacter les autorités des différents pays visés, il envoie des méls aux points de contacts nationaux Eurêka afin d'avoir des informations sur ce qui est finançable ou pas, sur les

taux de couverture pratiqués, les conditions d'éligibilité, mais ne reçoit pas de réponses. Au mieux, on lui demande à ce que ses partenaires se rapprochent directement des autorités compétentes pour avoir plus d'informations :

"The funding schemes available in RUSSIA for Eurêka projects are only for russian partners. They depend on many different factors sort of the project, size of a company etc. If you are in touch with Russian organizations please address them to me. "

Extrait d'un Mél du Point de Contact Eurêka en Russie (20031125M1.pdf)

Même son de cloche du côté de la Suède (20040121M2.pdf) :

"Dear Sir,

I recommend that the Swedish SME representative contacts me or Ms Monika.

Monikas coordinates are: [...]."

Le 21 Janvier 2004, le processus va s'engager dans un nouveau tournant, qui va lui permettre de bifurquer vers une nouvelle séquence : Florent, via des contacts qu'il entretient avec des scientifiques experts du PCRD, apprend la publication prochaine d'un appel à projets dans le cadre du PCRD. C'est un appel commun aux thématiques IST et NMP, et le thème des "mémoires non conventionnelles" serait retenu. Cet événement va créer de nombreuses irréversibilités et va modifier le processus, comme nous le verrons par la suite.

Avant cela, nous revenons sur les ingrédients et les assemblages d'ingrédients qui caractérisent la Séquence Fondations que nous venons de décrire et qui s'achève en Janvier 2004.

8.2.4 Les ingrédients de cette séquence

a) individus

Quels sont les individus ayant participé à l'activité de ce processus durant cette séquence ? On remarque qu'Hector et Nikita ne sont plus les seuls. Ils ont reçu le soutien d'autres scientifiques, en particulier des spécialistes des matériaux, comme **Zacharia** du LABO. Il y a aussi leurs collègues du CENTRAL TECHNO qui participent avec ces derniers à un projet de recherche.

"Le projet FUTURA on l'a fait avec TRON grâce à des contacts de Nikita. [...] Il y avait Mehdi en particulier. A l'époque il y a aussi [...] Sébastien [...]"

Mehdi et Sébastien sont donc aussi associés au processus d'exploration de K qui va permettre d'élargir le concept eMram. Nous retenons ces deux noms en particulier, que nous allons retrouver par la suite dans ce processus.

On peut aussi ajouter **Florent**, qui aide Hector à trouver les moyens qui vont lui permettre de pousser plus loin ses expérimentations et donc, à terme, de créer des conjonctions (opérateur $C \Rightarrow K$). Dans la même optique, on pourrait également associer le chargé d'affaires Anvar de la Région PACA, Nicolas SABATIER, qui suit le dossier STARTER et l'aide à obtenir une APTI.

On remarque donc que, à partir de cette séquence, **de nouveaux individus entrent en jeu** et viennent se combiner au processus MEMORY en cours.

b) Communautés

Dans cette séquence, on commence à lancer des activités de recherche spécifiques sur les matériaux candidats pour la réalisation du FEM. Le projet FUTURA est ainsi l'occasion d'approfondir le dialogue avec les communautés scientifiques qui s'intéressent aux métaux ferromagnétiques et aux matériaux isolants. Au moment de la disjonction, nous avons précisé que c'était par l'entremise de Nikita, un gate keeper entre plusieurs communautés, que l'on devinait l'influence de ces dernières. Dans cette Séquence Fondations, le processus MEMORY sollicite de façon plus directe les communautés des matériaux et celle du magnétisme, via le projet de recherche FUTURA auquel participe des scientifiques du LABO et de TRON.

c) Les liens

Dans cette séquence, les liens inter-individuels servent souvent à détecter des partenaires, soit pour leurs connaissances scientifiques, soit pour leurs capacités de production. L'influence de Nikita est encore prépondérante, puisque c'est grâce à ses liens personnels que les partenaires scientifiques du projet de recherche FUTURA sont contactés. C'est encore via ses contacts qu'Hector va chercher des partenaires industriels - des fondateurs - en Russie.

On remarque aussi que, pour le reste, des contacts inter-individuels sont établis sans liens pré-existants, comme lorsque Hector contacte des fondateurs en Suisse ou en Angleterre, ou que Florent contacte les points de contact nationaux Eurêka de divers Pays, en ayant simplement trouvé les coordonnées de ces contacts sur internet.

d) Les organisations

De nombreuses organisations traversent cette séquence, souvent "sans s'y arrêter". C'est le cas des fondateurs contactés par Hector, avec qui des débuts de négociation sont initiés, des échanges de méls, d'informations sur MEMORY sont réalisés. Mais au final, malgré ce brassage, il reste peu d'organisations dans le processus, en particulier du côté des industriels.

SPARKS Innovation participe à présent activement au processus. Cette PME basée dans le VAR est spécialisée dans le Management de l'Innovation depuis 2000. Elle comporte trois consultants (dont Florent) et assiste des Entreprises et des Laboratoires, en particulier dans le montage et la gestion des programmes européens de support à l'innovation.

TRON est un laboratoire de recherche dont l'objectif est de développer des objets basés sur l'électronique de Spin. Ce laboratoire est **une unité mixte** dont les personnels sont principalement issus de deux autres organisations : le CENTRAL TECHNO (c'est le cas de Mehdi), qui est un très important laboratoire public français, et l'UNIVERSITE DES SCIENCES (c'est le cas de Sébastien)

Du côté des institutions, en revanche, il faut noter l'arrivée de **l'Anvar**, qui en finançant STARTER et en lui accordant un prix dans le concours de la jeune entreprise innovante, vient apporter une crédibilité et des perspectives au processus MEMORY. Le fonds d'investissement **Primaveris**, joue un rôle similaire. Ce fonds est spécialisé dans la capitalisation dite "d'amorçage" des entreprises, c'est à dire qu'il peut financer les premiers pas d'un Start-up. Il faut aussi noter que STARTER est, à partir de 2003, hébergé par un incubateur d'entreprises important en PACA, **l'incubateur Impulse**.

Le début du processus MEMORY, via le soutien de STARTER par diverses institutions, est ainsi accueilli par un contexte institutionnel positif, ce qui facilite son démarrage.

D'autres organisations ont une influence plus ambiguë (sinon contraire) sur ce processus. Le dispositif **Eurêka**, par exemple, offre des possibilités d'avenir au processus. Mais la difficulté à recruter des partenaires, peut-être liée à la complexité de ses schémas de financement, **ne facilite pas l'avancée du processus...** Alors qu'elle capte d'ores et déjà un effort important d'Hector, de Nikita ou de Florent.

Quant à la **CE**, son PCRD n'a pas pour l'heure de "fenêtre" pour MEMORY. Ses appels d'offre, très normatifs, organisés par discipline scientifique, ne semblent pas, en 2003, adaptés au concept MEMORY.

e) Appareillages techniques, inscriptions et dispositifs de coordination

Le projet de recherche FUTURA dont nous venons de parler n'a pas encore commencé en 2003. Il a juste été monté (partenaires trouvés, demande de financement réalisée) et il n'a pas encore produit de livrables. En ce sens, on peut difficilement considérer que les installations scientifiques de TRON ou du LABO sont des ingrédients du processus MEMORY en 2003.

Du côté des inscriptions, il y a de nouveaux documents créés et qui ont leur importance. Outre le brevet dont nous avons déjà parlé au moment de la disjonction, il y a désormais un plan de travail détaillé sur lequel Hector et Florent collaborent. Ce plan de travail décrit, en lots, le travail devant être réalisé pour converger vers la production des premiers échantillons de eMram, ces lots étant orchestrés dans un Gantt. C'est ce Gantt qui est envoyé aux futurs partenaires et qui sert de base pour discuter de leur future participation.

Enfin, pour ce qui est des dispositifs de coordination, il n'y a pas, à ce moment là du projet, d'outil spécifique. Les partenaires échangent via Mél, par téléphone ou à l'occasion de réunions physiques. En revanche, un "Non Disclosure Agreement" (NDA), c'est à dire un contrat de confidentialité, a été mis au point par SPARKS Innovation. Pour Florent, ce NDA est un outil important pour prendre contact avec un nouveau partenaire. Son utilisation est décrite comme suit à Hector (Mél 20031006M1) :

"ci joint le NDA entre STARTER et YYYYY, le partenaire visé.

Le démarchage se déroule habituellement comme suit :

1) envoi de la petite plaquette de présentation + du NDA avec un mail explicatif demandant au prospect s'il est intéressé pour participer au projet. Si oui, il doit vous renvoyer le NDA signé par fax, puis en original par courrier.

2) dès réception du fax, il est possible de lui envoyer la description du programme (les work packages). Je vous conseille, dès ce moment là, de lui préciser sur quels chantiers il interviendra et quel sera son budget [...]"

L'échange d'un NDA, qui est un contrat de confidentialité, est donc vu ici comme un outil permettant d'instaurer une négociation dans un cadre juridique bien particulier.

f) Financement

Au moment de la disjonction au début de la séquence, le financement issu du LABO, par le biais de ses budgets de fonctionnement, est essentiel, en particulier pour le dépôt de brevet. Par la suite, le financement est principalement issu des subventions et des fonds propres de STARTER : l'aide de

l'Anvar permet de financer SPARKS Innovation et les fonds propres permettent à Hector de rechercher des partenaires, en particulier de payer des déplacements et les coûts de sa structure (dont son salaire).

8.2.5 Le véhicule dans cette séquence

Dans cette séquence, l'assemblage des ingrédients utilisés s'étoffe : nouveaux individus et nouvelles organisations participent désormais à la conception, ajoutant leurs connaissances à l'espace K, ce qui permet de réaliser des partitions du concept. Cette extension de l'assemblage des ingrédients se fait grâce aux liens que les inventeurs entretiennent avec d'autres scientifiques dans les communautés des matériaux et de l'électronique. Le processus s'appuie désormais sur de nouveaux financements, apportés par STARTER, qui a su crédibiliser son projet auprès d'organisations représentant les institutions qui soutiennent l'innovation. Cette conception en cours fait l'objet d'inscriptions, en particulier diverses versions du plan détaillé du projet. Cette séquence est aussi marquée par la recherche de partenaires industriels, qui pourront valider le concept en produisant des prototypes. Mais cette recherche ne donne pas de résultats aussi rapidement que prévu, ce qui retarde les conjonctions (les tests) attendus. On sait donc désormais ce qui pourrait être fait (quels dépôts, de quels matériaux candidats), mais on ne sait toujours pas COMMENT les faire : il est donc impossible d'arbitrer entre telle ou telle option de conception, car il n'y a pas encore, dans le processus, les ingrédients nécessaires pour fabriquer les prototypes de eMram selon ces diverses options.

Section 8.3 La bifurcation PCRD

Tous les six mois, la Direction Générale (DG) de la Recherche de la Commission Européenne publie un appel à projets de R&D. Cet appel à projets fait référence à un programme de travail d'une cinquantaine de pages qui détaille, pour chaque thématique, les sujets pouvant être financés. Notons que, au moment de l'évaluation des projets, l'adéquation entre le projet et un thème du Programme de Travail est notée et va compter pour 20% de la note obtenue : il est donc essentiel de s'assurer de cette concordance entre ce que finance l'Europe et l'objectif des projets proposés. Une concordance partielle est quasi éliminatoire.

Ainsi, l'existence d'une concordance entre un projet et les thèmes financés dans le cadre du PCRD constitue une opportunité de financement à saisir et peut provoquer une accélération pour un tel projet. C'est ce qui va se passer en ce début d'année 2004 quand l'Europe publie un appel à projets dont l'un des thèmes est de mettre au point des "mémoires non conventionnelles utilisant des nano matériaux".

8.3.1 Prémices de la bifurcation

Ces programmes de travail sont établis par la DG Recherche de la CE, qui pour ce faire **collabore régulièrement avec des experts et des scientifiques Européens** des différents domaines, afin de déterminer quels sont les thèmes de recherche importants du moment, dans quelles directions des efforts doivent être faits pour repousser l'état de l'art, dans quels domaines l'Europe peut bénéficier d'un avantage compétitif, etc. La consultation des scientifiques et des experts est faite dans un cadre institutionnalisé. Des projets sont financés pour établir les "Road Map" à venir par thématique, des conférences internationales sont régulièrement organisées. La rédaction des Programmes de Travail fait l'objet d'une concertation avant publication des appels d'offre : à cette occasion, les états membres envoient des représentants (souvent des scientifiques employés dans des laboratoires publics, et temporairement détachés au PCRD) participer aux commissions chargées de mettre en place ces appels d'offre.

Par conséquent, **les Programmes de Travail existent, sous des formes temporaires, avant la publication officielle des appels d'offre**. Ces projets de Programmes de Travail circulent dans certains cercles scientifiques, parmi les experts, certains consultants, parfois plusieurs mois avant la publication officielle d'un appel. Connaître le contenu d'un appel à venir plusieurs semaines avant

sa publication officielle est un avantage indéniable : cela offre du temps pour préparer une proposition, prendre des contacts avec des partenaires, construire un projet dans le détail.

C'est ce qui va se produire dans le processus MEMORY **en Janvier 2004** : Florent, grâce à des contacts qu'il a avec des scientifiques français participant à la mise au point des programmes de travail du PCRD, reçoit une version de travail d'un appel à projets à paraître en Juin 2004. Dans ce train d'appels à projets, il y aura un appel **publié conjointement par les thématiques IST et NMP**.

Cet appel conjoint n'est pas une première : il arrive que la Direction de la Recherche de la CE d'associer deux thématiques dans un même appel à projets, lorsqu'elle fait l'analyse que des innovations sont possibles et / ou souhaitables à la croisée de deux disciplines. En introduction au programme de travail conjoint IST NMP (20040101WPISTNMP.doc), il est ainsi précisé que

"Il existe des liens évidents entre cette priorité thématique (NDLA : le thème Matériaux) et la priorité 2 «Technologies pour la société de l'information», en particulier en ce qui concerne les systèmes de fabrication intelligents, les biocapteurs et la nanoélectronique, qui justifient le développement de synergies"

Mieux, en détaillant ce projet d'appel à projet, Florent détecte le sujet de recherche suivant : "**IST-NMP-3: Matériaux, équipements et procédés de fabrication de dispositifs nanophotoniques et nanoélectroniques**". Dans le détail de ce thème de recherche, les rédacteurs ont précisé l'intérêt stratégique de ce thème :

"Maîtriser la science et les technologies nanoélectroniques et nanophotoniques à l'échelle industrielle (c.-à-d. atteindre une capacité de production de masse à faible coût) constitue un défi d'une importance stratégique extrême pour la compétitivité des entreprises européennes au niveau mondial [...]. Elles fourniront une puissance de calcul et de transmission considérablement accrue, associée à une faible consommation d'énergie et une meilleure portabilité. Intégrer les connaissances relevant de la nanoélectronique, [...] de la science des matériaux, des nanosciences et de la nano-fabrication exige des compétences extrêmement pluridisciplinaires. La R&D spécifique à la spintronique est exclue du présent appel [...]. L'accent est mis sur [...] la recherche sur les dispositifs intégrés nano-MOS non conventionnels, logiques et mémoire , sur les technologies d'intégration photonique/nanoélectronique pour des dispositifs fonctionnels, et sur les techniques de production correspondantes [...]."

Deux remarques importantes doivent ici être faites :

- Il existe désormais un financement potentiel PCRD, qui est un schéma de financement connu des industriels et des laboratoires européens, **portant sur des mémoires intégrées, non conventionnelles, utilisant des nano matériaux** ! Cela représente une grosse opportunité pour MEMORY.
- En revanche, **il est précisé que la R&D sur la spintronique est exclue** de l'appel ! Les Mram utilisent la spintronique : sont-elles de ce fait exclues de cet appel ?

8.3.2 *Le moment des choix*

Dans les semaines et les mois qui vont suivre, l'existence de cet appel d'offre à venir, connue désormais par Florent, Hector et Nikita, va modifier les ingrédients et leur agencement de façon irréversible, et obliger les acteurs de ce processus à prendre des décisions. La période de Mai à Septembre, en particulier est une période intense de changements : s'y déroulent deux réunions de consortium, trois réunions entre SPARKS Innovation STARTER et le LABO, des contacts sont établis avec la Commission Européenne, etc.

C'est à partir de Mai 2004 que les modifications se mettent en place. D'une part, Hector prend la décision de répondre à cet appel d'offre à paraître. Ce choix a semble-t-il fait l'objet de nombreuses discussions entre lui et les consultants de SPARKS Innovation (Mél 20040526M1.pdf, de Jim, consultant SPARKS Innovation, à Hector) :

"Bonjour Mr Hector,

Ce petit mail pour faire un point écrit sur nos discussions de ces derniers jours et pour vous résumer notre opinion (j'en ai longuement parlé avec Florent).

Comme nous vous l'avions proposé, nous pouvons organiser une première réunion des principaux partenaires du projet EM2C assez rapidement, afin de ne pas perdre de temps au moment de la rédaction de la proposition. [...]

Cette réunion est donc importante mais ne nécessite en fin de compte que le noyau dur du projet. [...]. Il faut l'envisager non pas comme un verrouillage du consortium mais plus comme une première approche collective, placée sous le sceau de la confidentialité, avec les partenaires potentiels. Au pire, si des personnes présentes à la réunion ne vous intéressent plus par la suite, il sera toujours possible de ne pas les intégrer au consortium [...]

Voici un rappel des dates que nous vous avons fixées pour cette future rencontre avec les

autres partenaires [...]. Bien évidemment, le plus tôt celle ci aura lieu, le mieux ce sera.

[...] Le mieux nous semble être une réunion rapide d'une journée avec les "core partners" ceux dont on est sûr. Les autres pourront être intégrés au cas par cas [...]"

La crainte d'Hector est alors, en organisant une telle réunion, de "verrouiller" le consortium, d'être obligé de choisir de convier, ou de ne pas convier, tel ou tel partenaire. De leur côté, Jim et Florent militent pour qu'une telle réunion se déroule rapidement, car ils savent que la rédaction des propositions de projets PCRD est un processus long. **Il y a donc une prise de décision importante ici** : répondre ou pas à cet appel à projets.

Finalement, la première réunion du consortium va se tenir le 9 Juillet 2004, date que nous retenons par la suite comme première borne de la séquence suivante.

8.3.3 Quelles irréversibilités ?

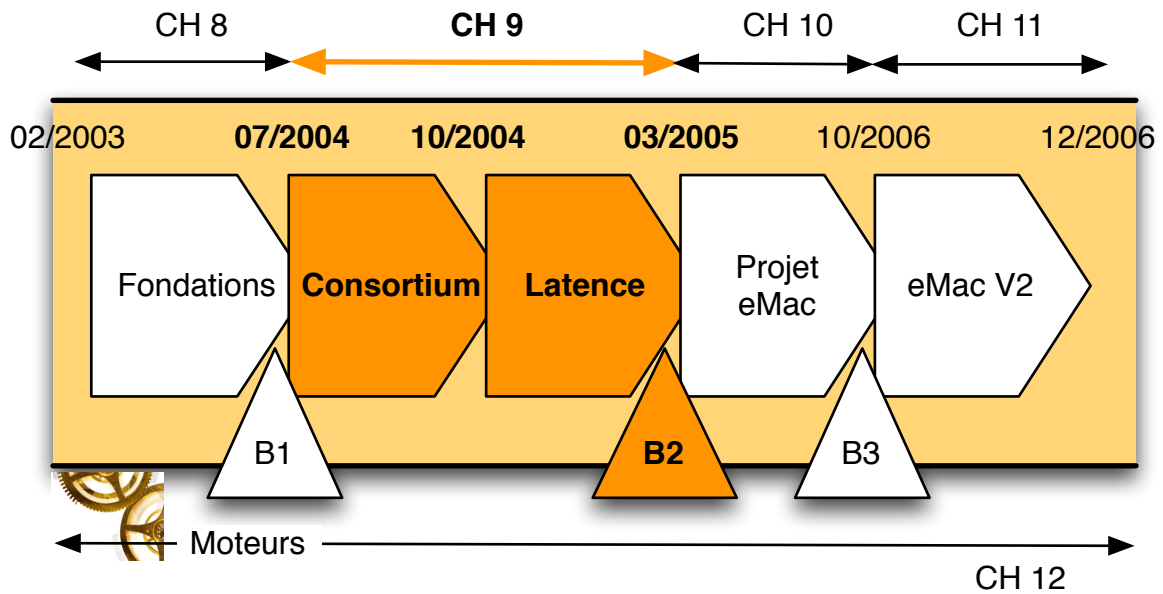
Lorsqu'Hector, assisté de Jim et Florent, décide qu'il va répondre à l'appel d'offre PCRD, il va modifier les ingrédients de ce processus de façon irréversible. **En faisant cela, il vient de coupler le processus MEMORY avec une organisation : la DG Recherche de la CE et son PCRD.** Or, le PCRD a une temporalité très stricte, avec un calendrier d'appels à projet, des dates fixées pour répondre à ces appels, des délais d'évaluation des propositions, et en cas de victoire, un échéancier pour les livrables à produire et pour le versement des subventions aux partenaires.

De plus, répondre à un tel appel d'offre, c'est aussi être dans l'obligation de choisir (et donc aussi d'exclure) tel ou tel partenaire scientifique ou industriel, ce que Hector a très bien compris (voir extrait du mél précédent). Cette décision va donc obliger Hector, Nikita, Florent et Jim à établir une liste des organisations, des individus, des infrastructures, des communautés, bref, **une liste finie de certains ingrédients** qui vont désormais entrer dans la composition à venir du processus.

Mais cette décision (répondre à l'appel d'offre PCRD) a aussi comme avantage d'inscrire le processus MEMORY dans un dispositif connu et financé, ce qui va faciliter le recrutement des industriels qu'Hector a cherché durant toute la Séquence Fondations décrites précédemment. De ce fait, l'activité de conception des eMram va pouvoir repartir, selon une logique que nous détaillons dans la section suivante.

Chapitre 9. Du Consortium au Projet

MEMORY



Section 9.1 La Séquence Consortium

La Séquence Consortium commence avec la décision prise de répondre à l'appel d'offre de la Commission Européenne du PCRD (Juillet 2004) et s'achève par la remise officielle de la proposition à la CE le 19 Octobre 2004. Durant cette séquence, l'activité de conception des eMram a évolué, mais c'est surtout l'assemblage des ingrédients, qui prend forme et se structure dans une certaine direction.

9.1.1 Sur le plan cognitif : de nouvelles partitions et une expansion de K

Le 19 Octobre 2004, une proposition de projet est officiellement remise à la Commission Européenne par le LABO, coordinateur du projet MEMORY. Cette proposition est une inscription qui comporte, en particulier, une description du concept MEMORY tel qu'il a été détaillé par les participants à ce processus. Nous repartons donc de ce document (20041019MEMORYPartB.doc) pour voir ce qui a été fait sur le versant cognitif du processus de conception des eMram en utilisant la théorie CK de la conception.

Le document en question est un document d'une cinquantaine de pages, une vingtaine étant consacrées à décrire les objectifs et les moyens techniques du projet visé. C'est donc la description la plus complète réalisée dans ce processus jusqu'alors. Les documents descriptifs précédents (comme la proposition Eurêka évoquée plus haut) étaient plus synthétiques.

Le concept des eMram, et en particulier le FEM, sa construction, son fonctionnement, sont désormais détaillés avec une plus grande précision, comme le montre le schéma ci-dessous extrait de la proposition PCRD :

Schéma 22: Le FEM MEMORY tel que décrit dans la proposition PCRD d'Octobre 2004

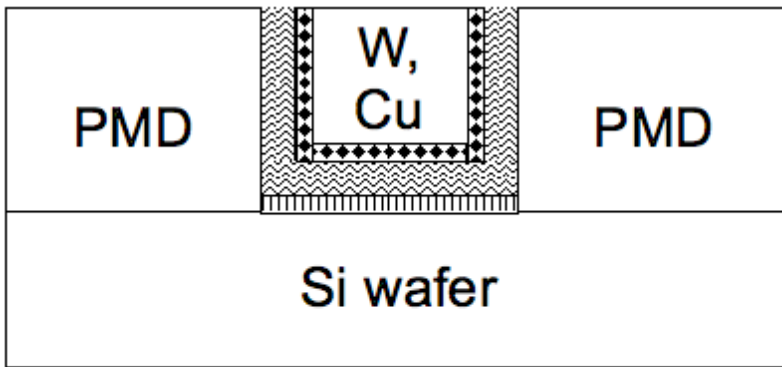
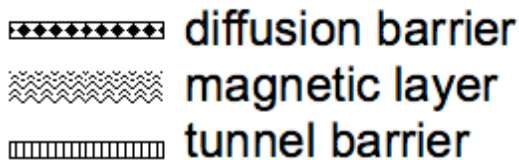


Figure 1: Schematic layout of the layer stack in a filling hole of PMD (pre-metallic dielectric) after the following CMP process



Le "Si Wafer" en bas du schéma est le substrat de silicium sur lequel on souhaite créer un module capable de contrôler l'injection de Spin dans le Silicium. On retrouve ensuite le "sandwich" de couches de matériaux dont nous avons déjà parlé : une couche isolante, faisant fonction de couche tunnel (tunnel barrier) et une couche magnétique (magnetic layer).

Mais il y a au moins **trois nouveautés** par rapport aux stacks décrits précédemment (dans le brevet ou dans la proposition Eurêka par exemple) :

- Une couche de PMD (Pre-Metal Dielectric) vient recouvrir la surface de Silicium. Le dépôt d'une couche de PMD est un usage issu de l'industrie du CMOS et permet, par exemple, de protéger le Silicium (celui-ci s'oxyde en surface s'il est laissé à l'air libre, et perd donc certaines de ses caractéristiques). Dans un deuxième temps, **la couche de PMD est perforée** (voir le centre du schéma). On libère ainsi des trous permettant l'accès direct au Silicium. C'est à l'intérieur de ces trous qu'ont lieu les dépôts de nano couches de matériaux. C'est en partie la taille de ces trous qui va permettre de réduire la taille d'un composant (plus les trous sont petits, plus on peut faire de modules sur une surface donnée). Se pose alors la question des diverses technologies utilisables pour réaliser ces trous, c'est à dire pour **structurer le PMD**.
- Une couche de contact (on parlera aussi de *Capping Layer*), qui permet d'assurer la connexion entre le FEM et les couches qui seront ajoutées par dessus afin d'obtenir une mémoire fonctionnelle. **Cette couche permet en fait de combler les trous réalisés dans le PMD**, et est déposée après le sandwich Couche Ferromagnétique / Couche Tunnel. Pour faire cette couche, on peut uti-

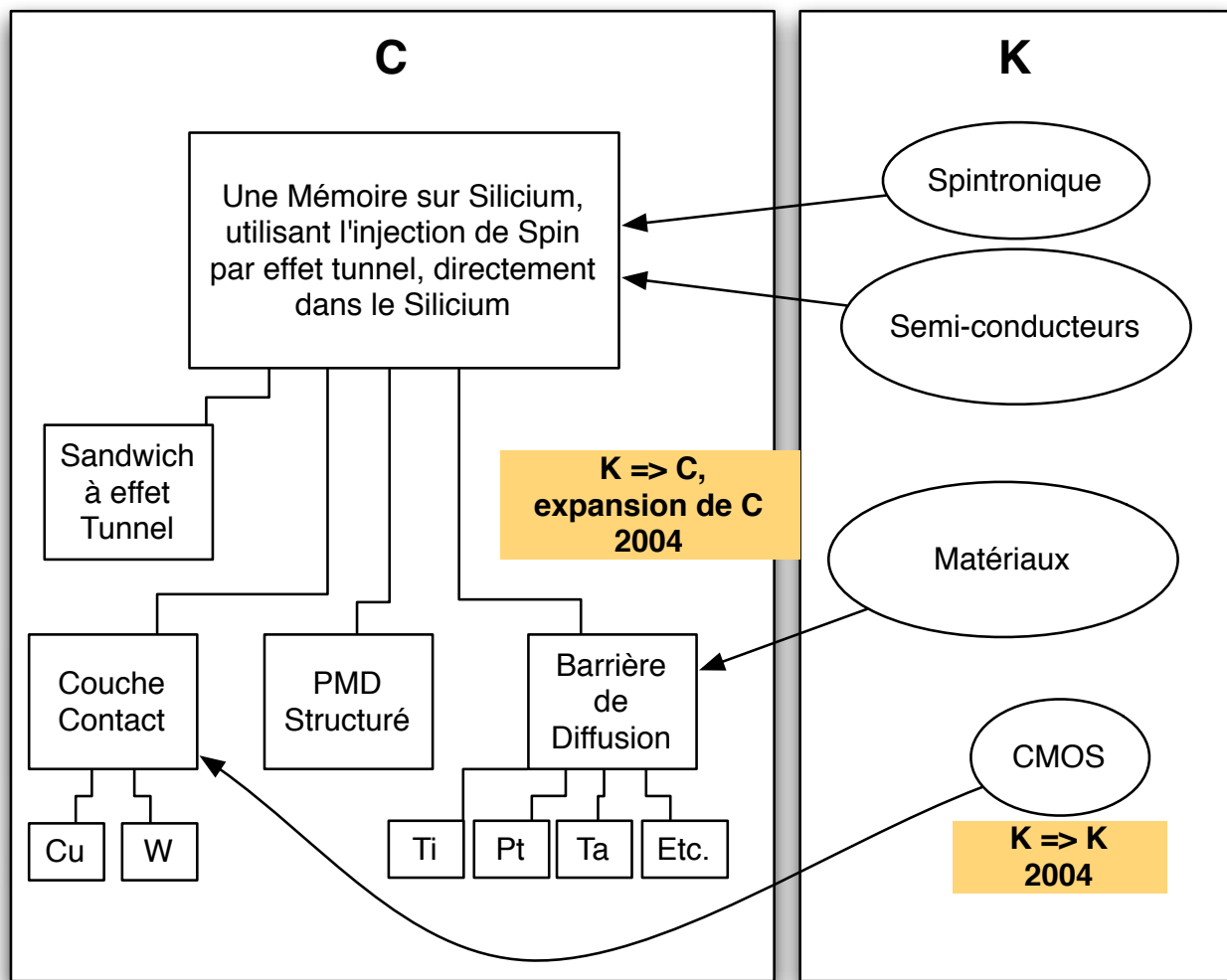
liser divers matériaux. L'Aluminium est possible pour des trous supérieurs au Nano Mètre. Pour une taille plus petite, le Cuivre (Cu) ou le Tungstène (W) sont envisagés.

➤ Une couche anti-diffusion (Diffusion Barrier), enfin, doit être déposée entre la couche Ferromagnétique et la couche de contact que nous venons d'évoquer, car lors de la fabrication de la mémoire, **des diffusions de molécules sont possibles entre ces couches**. Or, si des atomes de cuivre, par exemple, pénètrent dans les couches ferromagnétiques, cela modifie les caractéristiques magnétiques du FEM, ce qui doit être évité à tout prix. De nombreux matériaux sont possibles pour ce faire : le Titanium (Ti) ou son nitrure (TiN), le Platinium (Pt), le Tungsten Titanium (WTi), ou encore le Tantale (Ta) ou son nitrure TaN, et même le Ruthenium (Ru). Nous sommes ici dans des matériaux très rares.

Il y a donc de multiples possibilités pour réaliser le FEM, et donc de nombreux embranchements envisageables pour le concept eMram. Dans la théorie CK, ces nouvelles hypothèses de conception correspondent à **des partitions, réalisées en incorporant des éléments de K ($K \Rightarrow C$)**, l'espace des connaissances. Les connaissances ici ajoutées, telles que la barrière de diffusion, la couche de contact, la couche de PMD, **sont des connaissances issues de l'industrie du CMOS** : elles correspondent à des couches utilisées lors du procédé de fabrication d'un composant électronique plus classique. A ce stade là de la conception, ce sont des éléments qui doivent être pris en compte pour développer le concept initial de eMram (qui fondamentalement repose sur la couche tunnel et la couche ferromagnétique). Les concepteurs ont donc dû prendre en compte des nouvelles connaissances (**$K \Rightarrow K$**), **en élargissant l'espace K de conception**.

Le schéma suivant est une représentation graphique de ces opérations de conception. La partition 'Sandwich à effet tunnel' n'est pas ici déployée, mais correspond aux partitions explicitées précédemment. On comprend que le concept ainsi détaillé se rapproche d'un objet que l'on peut produire selon les méthodes habituelles de l'industrie du Silicium et qu'une partie du chemin allant vers la fabrication d'un prototype a été faite.

Schéma 23: Représentation Graphique en CK de l'expansion du concept eMram en 2004



Les partitions sont donc nombreuses. Si l'on reste au niveau des couches minces utilisées pour réaliser le FEM, il y a théoriquement des dizaines de combinaisons possibles : 2 oxydes, 2 matériaux ferromagnétiques, 2 couches de contact, 5 matériaux pour la barrière de diffusion. Cela donne donc, théoriquement (2X2X2X5) **40 combinaisons de matériaux possibles pour réaliser le FEM** visé.

Il nous faut à présent nous pencher sur le versant social de ce processus, voir quels ingrédients ont été mobilisés et assemblés au cours de ces opérations de conception, quelle a été le rôle et l'évolution de ces ingrédients.

9.1.2 Le fil des événements

Nous avons quitté le fil des événements en Juillet 2004, moment de la bifurcation prise par ce processus, alors qu'Hector s'est décidé à répondre à l'appel à projets IST NMP que la CE devrait prochainement publier. Comme nous allons le voir ci-dessous, à partir de cette décision, les ingrédients

s'arrangent selon une nouvelle logique et on voit un consortium européen se constituer autour de ce projet.

a) Vers un consortium Européen

Jusqu'à présent, les porteurs du projet MEMORY avaient travaillé dans le but de faire un proposition de projet Eurêka. Il y a donc eu des premiers contacts avec des partenaires dans quelques pays hors France. Or, pour être éligible Eurêka, deux pays suffisent. Ce n'est pas le cas pour le PCRD. Officiellement, il faut qu'au moins deux pays européens soient représentés dans une réponse aux appels d'offre de l'Europe. Mais, d'après son expérience des projets PCRD, Florent pense qu'il faut au moins quatre pays représentés, afin de présenter un projet plus équilibré et d'avoir une meilleure évaluation de la part des experts de la CE. Il faut donc désormais élargir les recherches de partenaires :

"Le consortium est pour l'instant beaucoup trop « déséquilibré ». En effet, les français qui prennent part au projet sont en nombre. Il serait donc opportun d'intégrer de nouveaux partenaires étrangers au consortium."

Extrait d'un compte rendu de réunion en Juin 2004 entre STARTER et SPARKS Innovation
(2004007CRSTARTER.doc)

Dès Juillet 2004, une première réunion de consortium est donc organisée à Marseille, dans les locaux du LABO, avec des partenaires potentiels du projet. Les personnes présentes sont les suivantes :

Tableau 9: Participants à la réunion MEMORY de Juillet 2004

Participant	Organisation	Pays
Hector	STARTER	France
Nikita	LABO	France
Kim and Wolfram Maass	EXPERT	Allemagne
Medi and Sébastien	TRON (CENTRE SCIENTIFIQUE)	France
Florent and Jim	SPARKS Innovation	France
Gérald	CAPSYS	France

Les participants sont encore à grande majorité des Français. Outre les partenaires qui "portent" ce projet depuis 2003 (SPARKS, STARTER, LABO), on trouve deux partenaires scientifiques qui col-

laborent avec le LABO dans le cadre du projet de Recherche FUTURA déjà cité (CAPSYS et TRON) et un industriel Allemand : EXPERT.

EXPERT est un équipementier qui conçoit et commercialise des appareillages utilisés dans l'industrie du CMOS, et en particulier des machines réalisant des dépôts de couches minces selon diverses techniques (ALD, PVD). A cette réunion, ce sont des responsables de la R&D de EXPERT qui sont présents. Ils ont été avertis de l'existence de ce projet via la filiale française de EXPERT qu'Hector avait contacté dès 2003 (Extrait entretien Hector) :

"Fin 2003, quand on cherchait un équipementier, via la business unit France. Un responsable R&D était passé nous voir avec Nikita début 2004."

Comme nous l'avons évoqué plus haut, **un tel consortium n'a que peu de chances d'être bien évalué** selon Florent, même s'il suit effectivement les règles d'éligibilité :

"If we consider EXPERT is taking part in the project we are eligible. But our experience proves that we must make better than the rules. The French Grant part of the consortium should not exceed more than 30 or 40%."

Extrait du compte rendu de cette réunion (20040709CRMEMORY.DOC)

Une partie de cette réunion est donc consacrée à faire une liste des contacts des uns et des autres en Europe. On trouve donc dans ce compte rendu les pistes de partenariat suivantes :

- *"TM labs,*
- *University of Moscow,*
- *SCANNEX (UK),*
- *University of Bielefeld (Contact Dr Lisandro & Dr Reiss. We can talk about them to Kim from EXPERT),*
- *University of Krop (Poland),*
- *Agrat (Italian company that already took part in the Coffecan project)*
- *End users: Siemens, Ericsson, Nokia... That's maybe too early for their participation."*

On remarque que certains des contacts proposés ici (Comme l'Université de Bielefeld, en Allemagne), sont assortis d'une recommandation : on peut donc y contacter directement un contact de la part de Kim, qui dirige la R&D de EXPERT. Un tel appui va s'avérer déterminant par la suite.

b) MEMORY est-il un bon projet pour le PCRD ?

Lors de cette première réunion de Juillet 2004, certains partenaires souhaitent s'assurer que MEMORY a des chances d'être un projet séduisant pour la Commission Européenne, avant d'investir du temps dans la préparation de la réponse à appel d'offre. A cette époque en effet, deux questions se posent :

- Q1 : Le sujet du projet (une mémoire eMram basés sur de la spintronique enfouie dans le Silicium) est-il bien compatible avec l'appel à projets ? Une phrase de cet appel à paraître, en particulier, inquiète certains partenaires : **“Dedicated R&D in spintronics is excluded from the present call”**.
- Q2 : Le projet est-il suffisamment "innovant" pour le PCRD ? Son ambition de sortir, en 36 mois, une mémoire de testde 4 Kbits (comme dans le cadre de la proposition Eurêka) n'est-elle pas une ambition trop industrielle ?

Les services de la DG Recherche de la CE sont tenus à des règles d'éthique. Ils ne sont donc pas censés avantager tel ou tel projet. En revanche, ils ne sont pas une forteresse et acceptent d'échanger en toute transparence avec les milieux scientifiques dans le cadre de leurs préparations aux appels d'offre. La difficulté est de savoir à qui s'adresser... C'est un des rôles de Florent à ce moment du processus. **Il contacte donc Dan** (Mél 20040726) un Scientific Officer membre du service en charge de la thématique NMP. Florent connaît des membres de cette thématique, qu'il a rencontrés dans le cadre d'un autre projet collaboratif de R&D, le projet Fabrics, qu'il avait suivi en 2002 et 2003 en tant que consultant chez SPARKS. Le but de ces échanges est de valider l'intérêt de la CE pour le projet MEMORY (Mél 20040722.Pdf)

"MEMORY targets the development of a new kind of MRAM memories : MRAM is using spintronic. Does it excludes our project ?"

La réponse de Dan arrive quatre jours plus tard et est encourageante (Mél 20040726.pdf) :

"After internal discussion and some reflection I think that you can submit a proposal which is dealing with R&D in the area of MRAM as long as sufficient and convincing industrial drive is seen in your proposal combined with innovative solutions. [...]. The exclusion of spintronics was meant to avoid work on logic devices based on spintronics as it is still too far from industrial application [...]."

Il y a donc un feu vert officieux pour les partenaires MEMORY, à condition que la spintronique soit utilisée au niveau de l'état de l'art connu (ce qui répond à la question Q1). Pour ce qui est du caractère plus ou moins innovant du projet (question Q2), les représentants de la CE semblent au

contraire donner une réelle chance pour des projets orientés vers l'industrialisation de solutions ("*industrial drive*"). Le jour même, Jim informe l'ensemble des partenaires du projet de cette réponse. Dès le lendemain, des partenaires donnent leur accord pour continuer sur cette piste :

"Jim, this is truely great news !

For TRON, on the behalf of Sébastien (out for vacation) I give a go for TRON"

Extrait Mél de Mehdi (20040721.pdf)

c) Les nouveaux partenaires

Lorsque Hector et Florent ont voulu monter un consortium afin de rédiger une proposition de projet à valider Eurêka, ils ont rencontré des difficultés pour recruter des partenaires en Europe. Or, ces efforts vont porter leurs fruits durant cette courte séquence de trois mois allant, de Juillet à Octobre 2004, puisque le consortium s'enrichit enfin de partenaires importants issus d'autres pays européens, et recrute des partenaires industriels, capables de produire concrètement des FEM selon le concept eMram.

La réunion de consortium suivante est organisée le 20 Septembre 2004 à la Technopole de Château Gombert à Marseille, là où STARTER est hébergé. Sont présents à cette réunion les personnes suivantes :

Tableau 10: Participants à la réunion MEMORY de Septembre 2004

Participant	Organisation	Pays
Lisandro	Bielefeld University	Allemagne
Natalia	K. INSTITUT	Allemagne
Paulin Nikita	LABO	France
Sébastien	TRON	France
Hector	STARTER	France
Jim Florent	SPARKS Innovation	France

Du côté du Fondateur, essentiel pour ce projet, Hector réactive des contacts déjà pris avec le K. INSTITUT , un institut de recherche appliquée en Allemagne disposant d'installations de production. Il

avait déjà établi des contacts avec cet institut courant 2003, lors de sa recherche d'un partenaire Eureka, mais les pistes russes en particulier avaient été jusqu'ici privilégiées. Cette fois-ci, il relance le K. INSTITUT, qui accepte de participer à une prochaine réunion de consortium.

L'Université de Bielefeld est un contact activé suite à la réunion précédente et qui avait été soumis par le représentant de EXPERT. On peut même penser que l'Université de Bielefeld et EXPERT, via le contact avec Lisandro, forment en fait un tandem (un industriel adossé à un scientifique) et que ceux-ci, en fonction de l'avancement des projets, se partagent leurs participations à des programmes de R&D. C'est en tous cas ce que suggère Mehdi dans un de ses messages (Mél 20040727.pdf), et ce que la suite va nous confirmer :

-If EXPERT withdraws, please remind that U. of Bielefeld could be the contractant with EXPERT as a subcontractor.

En revanche, un partenaire français (le CAPSYS) a désormais disparu. Ce partenaire devait s'occuper de la caractérisation des échantillons (faire une analyse des caractéristiques physiques des wafer produits, tester leurs propriétés, etc.), tâche qui peut être faite par d'autres laboratoires en Europe. Hector a donc décidé de chercher un remplaçant à ce laboratoire, ce qui aura le double avantage de réduire la part française dans ce projet européen et d'ajouter au consortium MEMORY un partenaire que ne soit ni allemand ni français.

"On voulait un labo faisant de l'analyse ayant des compétences en magnétisme. Mehdi a recommandé trois labos qu'on a contacté. Avec ONYX ça s'est bien passé. SPARKS Innovation avait joué les intermédiaires. [...] Mehdi est connu (NDLA : connu par des Scientifiques d'ONYX), a déjà travaillé avec eux."

Extrait entretien Hector

Enfin, un autre partenaire, absent à cette réunion, a donné son accord de principe : il s'agit de SCANNEX, un industriel anglais qui fabrique des équipements pour l'industrie du CMOS et travaille en particulier sur des machines pouvant réaliser des dépôts de couches minces et de décontamination (après un dépôt de matériaux, il faut parfois faire subir un traitement spécifique aux wafer afin d'éliminer des traces de matériaux intermédiaires et nocifs pour le reste de la chaîne de production).

"J'avais pas de contacts particuliers. Je voulais faire rentrer des équipementiers, j'ai fait le tour de ceux que je connaissais. Via des anciens de Up-lide avec qui j'avais travaillé. SCANNEX était intéressé car ont une activité de nettoyage et font aussi des dépôts de couches minces." (ibid)

Il faut donc ajouter à ce consortium en gestation la University of ONYX, et SCANNEX, qui ne sont pas présents à cette réunion de Septembre, mais avec qui les premiers contacts ont été établis.

d) Préparation de la proposition PCRD

Peu à peu, chaque partenaire valide sa participation au projet, ou, pour reprendre les termes employés dans les comptes rendus de SPARKS Innovation, prend une "GO / NO GO Decision" (c'est le sens du "*I give a go*" de Mehdi cité plus haut. Or, ce "Go" entraîne à son tour un ensemble d'actions qui vont contribuer à engager un peu plus chaque partenaire dans leur participation à la préparation de la proposition de projet PCRD, comme le résume Jim dans un mél envoyé à chaque partenaire (Mél 20040726M2.pdf) :

If it's GO :

Everybody -> SPARKS

·To fill the company profile you will find in the STREP DRAFT part B4 (enclosed) .

·Forwarding to SPARKS relevant publications (5 to 10) on the subject so that we could constitute a bibliography.

·To make a technical expertise of each part of the project so that we could define who will be involved in the different parts.

A partir de Juillet 2004, chaque partenaire est donc invité à fournir des informations plus détaillées pour compléter la proposition de projet PCRD. Ces contributions sont administratives, **mais elles sont aussi techniques.**

De Août à Octobre 2004, SPARKS Innovation organise donc un échange d'informations entre les partenaires, chacun devant envoyer des contributions qui permettent de compléter le canevas de la proposition. Durant cette période, STARTER, LABO et SPARKS Innovation se réunissent physiquement à plusieurs reprises pour faire le point sur l'avancée de la proposition.

C'est au cours de ces échanges et de ces discussions que des connaissances nouvelles sur les matériaux sont ajoutées au concept des eMram, ce qui va donner les partitions détaillées plus haut. Par exemple, dans le compte rendu de la réunion de consortium de Septembre 2004 (20040920CRMEMORY.doc), on peut lire l'extrait suivant :

"Starting materials :

		<i>Ferromagnetic Layer</i>	<i>Capping Layer</i>
<i>Si</i>	<i>SiO2 or Al2O3</i>	<i>FeNi</i>	<i>TiN</i>

Bielefeld, LABO, TRON & SCANNEX should share the studies regarding their possibilities."

Ce même compte rendu se termine par une "TO DO LIST", soit une liste de tâches à accomplir, chaque tâche étant attribuée à un partenaire présent. Dans cette TO DO LIST figurent divers points techniques devant être développés par la suite, comme par exemple :

"WP2 partners : Partners who are involved in WP2 should think about a way to reach thermal stability at different levels and how they can contribute.

Bielefeld – LABO – TRON – SCANNEX : to share the studies on the different starting materials.

LABO – TRON : We will need a contribution on the physical feasibility of MEMORY. Please, write a short abstract on it. [...]"

On voit donc, d'une part, que les discussions ont débuté sur les matériaux candidats, en particulier pour la couche de protection (Capping Layer), sur la nécessité de concevoir des solutions résistant à de hautes températures de fabrication et que, surtout, le compte rendu précise que **certains partenaires doivent à présent développer ce point précis dans les semaines à venir.**

Notons aussi que ce travail est déjà éclaté selon une logique projet, puisque l'on parle de Work Packages dans le compte rendu. Dans le document servant de support à l'animation de cette réunion de septembre, document préparé par SPARKS (200409MEMORY.ppt), nous trouvons d'ailleurs une version du Gantt pour ce projet. Cette version a été orientée "PCRD" et s'étale sur 36 mois. C'est sur la base des chantiers ici identifiés (les Work Packages) que les discussions et la rédaction de la proposition vont désormais s'organiser.

Schéma 24: Le Gantt MEMORY en Septembre 2004

til informatisé d'aide à la coordination du projet. SPARKS Innovation n'a en effet pas vocation à participer à des travaux de R&D dans l'électronique ! Elle ne prévoit donc de n'assumer qu'un rôle secondaire dans la suite de ce processus, son travail principal étant de monter le consortium et de l'aider à obtenir un financement.

Tableau 11: Liste des partenaires officiels du projet MEMORY en Octobre 2004

Partenaire	Pays
LABO	France
TRON	France
K. INSTITUT	Allemagne
Université de Bielefeld	Allemagne
Université d'ONYX	Royaume-Uni
STARTER	France
SCANNEX	Angleterre

Le projet MEMORY tel que présenté dans la proposition est un projet de 36 mois, réunissant 7 partenaires issus de trois pays européens, pour un budget de 3,6 Millions d'Euros.

Il nous est difficile de connaître quel est l'apport des uns et des autres aux diverses partitions réalisées dans cette séquence, car nous n'avons pas la teneur intégrale des échanges entre les partenaires durant cette période. C'est le WP2 qui est ici crucial, car il est dédié au choix des matériaux, voire de la combinaison de matériaux pour réaliser le prototype de FEM dans la suite du projet.

Si ce WP est si conséquent (il dure plus de deux ans), c'est qu'au cours des discussions de préparation de la proposition, les membres du projet ont découvert qu'il existait **des dizaines de combinaisons pour réaliser le FEM** : Pour chacune des couches à déposer (Ferromagnétique, Tunnel, Diffusion, Contact), il existe de deux à cinq matériaux candidats. Et pour chaque matériau, il existe deux ou trois techniques de dépôt différentes. On obtient ainsi (nb de couches X nb de matériaux X techniques de dépôt) un grand nombre de couples techniques/matériaux à tester ! Si, dans le schéma de représentation graphique CK exposé plus haut, on ajoute, sous chaque matériau, les techniques de dépôt possibles, on obtient alors une arborescence très large (et dont la représentation graphique devient fastidieuse !). D'ailleurs, pour réaliser ce WP, **le consortium prévoit de produire et de tester plus d'une centaine de wafer** (extrait de la proposition 20041014Propale.doc) :

"Within this work package, more than 100 wafer will be processed. Several full sheet deposition techniques will be investigated, including ALD (Atomic Layer Deposition) and PVD (Physical Vapor Deposition) at TRON and BIELEFELD, LPCVD (Low Pressure Chemical Vapor Deposition) at LABO and ECD (Electro Chemical Deposition) at SCANNEX. Several layers composition, including the use of diffusion barriers, will be studied with their dependence on film thickness."

Dans le détail de la proposition, on comprend que l'Université de Bielefeld va tester des techniques de dépôt par PVD, que le LABO va expérimenter de nouvelles méthodes de dépôt à froid, en particulier pour les métaux (ALD), que pour la couche tunnel, TRON va tester des méthodes par chauffage en plus des PVD, et que SCANNEX va tester des méthodes électriques de dépôt des couches métalliques (ECD). K. INSTITUT est en début de ce processus (ils fournissent des plaques de silicium micro structurée, prêtes à recevoir les dépôts) et en fin de ce processus (une fois les dépôts de FEM réalisés, ils déposent les contacts et les stacks de contrôle qui permettent d'obtenir un composant électronique). ONYX caractérise les échantillons ainsi produits, tandis que STARTER fait la conception logique des futurs circuits intégrés basés sur ce FEM.

9.1.3 Les ingrédients dans la Séquence Consortium

a) Les individus

Le nombre d'individus ayant participé à l'activité de conception dans cette séquence est en augmentation. Outre les individus de la séquence précédente, il faut désormais ajouter toutes celles et ceux ayant participé aux réunions du consortium durant la préparation de la proposition.

On remarque ainsi l'arrivée de **Jim** chez SPARKS Innovation. Jim est ingénieur de formation, et il suit une formation complémentaire en Management. Il effectue un Stage chez SPARKS Innovation. Florent, son maître de Stage, l'implique sur le projet MEMORY car il pense que son Back Ground d'ingénieur peut être utile sur ce projet.

Un individu joue un rôle essentiel durant cette phase : c'est **Mehdi**. Il contribue à impliquer TRON dans le projet MEMORY, apporte ses connaissances sur les matériaux magnétiques, et aussi ses contacts et son carnet d'adresse. **Sébastien** collabore avec lui et est lui aussi impliqué dans les discussion et les réunions MEMORY.

Les deux représentants de EXPERT, présents dans la première réunion de cette séquence, n'apparaissent plus par la suite. Ils semblent en revanche avoir passé le relais à **Lisandro** de l'Université de Bielfeld, qui participe activement à la rédaction de certains points de la proposition. Lisandro est

une personne importante dans ce processus et son rôle va se renforcer par la suite. Lisandro est un spécialiste reconnu des MRAM :

"Il a introduit les MRAM en Allemagne, fait les premières mesures. Ecrit les premiers papiers là dessus en 1994. Sur des wafer à trois pouces. [...] C'était le début d'une grosse activité là dessus. Le gouvernement a financé à 40 millions. Il était à l'Université de Dresde alors. Puis il est allé à Bielefeld en 1998. [...] Il connaissait Nikita pour ses papiers. Il connaissait aussi le groupe d'ONYX."

Extrait des notes prises lors de l'entretien avec Lisandro.

Il y a enfin **Natalia**, qui représente le K. INSTITUT, et qui apporte au processus ses connaissances de la production de wafer sur une chaîne de fabrication de CMOS.

D'autres individus sont sollicités lors de cette phase. Par exemple, pour la proposition PCRD, chaque partenaire doit établir un budget prévisionnel de sa participation au projet. Il est donc fort probable que **les personnels des services administratifs** de ces diverses organisations aient été mis dans la boucle de ces négociations, afin d'obtenir des éléments chiffrés sur les budgets prévisionnels (coûts salariaux, coûts d'immobilisation des installations, consommables, etc.).

b) Les liens

Lors de cette séquence, des liens inter-personnels ont souvent été **utilisés pour contacter et recruter de nouveaux partenaires**. On pense bien entendu à l'Université de Bielfeld : le nom de Lisandro a été donné par les responsables de EXPERT lors de la réunion de Juillet 2004. Lisandro confirme d'ailleurs lui même l'importance de ce lien à ce moment là du processus :

"Phone call de Roger du Development Group des MRAM EXPERT. Il a expliqué alors de quoi il s'agissait. Il voulait (NDLA : Lisandro) en savoir plus. C'était en avril 2004. Il a reçu de l'info de SPARKS Innovation sur ce dont il s'agissait. Il (LISANDRO) avait déjà un projet avec EXPERT. Il connaît personnellement Roger depuis longtemps. Il (NDLA : Roger) voulait rester extérieur, être un observateur. [...]."

Extrait des notes prises lors de l'entretien avec Lisandro.

EXPERT a donc anticipé la participation à venir de l'Université de Bielfeld au projet, puisque Lisandro en a entendu parler avant même cette réunion de Juillet. Cela nous montre que, derrière le lien Lisandro / Wolfgang Maass, il y a une collaboration scientifique de longue date entre EXPERT et Bielfeld sur le sujet des MRAM.

Mehdi joue un rôle comparable durant cette séquence. C'est via ses contacts personnels que l'Université d'ONYX est sollicitée par exemple. Le lien qu'il entretient avec cette organisation est basé sur une expérience passée et semble-t-il jugée positive.

Enfin, **les personnes présentes aux diverses réunions de ce consortium établissent entre elles des liens réciproques** lors de la rédaction de la proposition. Il suffit pour s'en convaincre de détailler l'en-tête des Méls envoyés par les individus cités plus haut lors de leurs échanges (exemple tiré du Mél de Mehdi 20040727M1, par lequel il donne un GO pour TRON) :

"From: Mehdi

Sent: mardi 27 juillet 2004 14:15

To: Jim

Cc: Sébastien; Hector; Kim; Gérald; Mehdi; Nikita; Roger; Florent

Subject: Re: MEMORY Go ! "

Il existe ainsi une liste de diffusion spécifique à MRAM : les représentants des divers organisations s'informent mutuellement de leurs décisions. Cette liste est aussi utilisée par SPARKS Innovation dans les semaines suivantes pour demander aux uns et aux autres d'envoyer leurs contributions aux propositions.

c) Les Organisations

Les organisations dont nous avons parlé jusqu'ici (SPARKS Innovation, l'Anvar, la CE, la Technopole de Château Gombert, STARTER) sont sollicitées dans cette phase. Elles fournissent des moyens au processus : salles de réunions, salaires des individus, bureautique, etc. En plus de ces dernières, il y a des nouveaux venus dans le processus. **Certaines organisations ne s'y fixent pas**, et ne sont plus présentes dans la liste des partenaires en Octobre 2004 (c'est le cas du CAPSYS ou de EXPERT). Soit parce que leur participation a été jugée inutile, y compris pour des raisons tactiques (comme dans le cas du CAPSYS, partenaire ayant le désavantage d'augmenter la représentation française dans MEMORY), soit que l'organisation elle-même ait décidé de rester en retrait (comme dans le cas du EXPERT, qui n'apparaît dans la proposition d'Octobre 2004 que comme un fournisseur de l'Université de Bielefeld).

En revanche, des organisations importantes ont désormais rejoint le consortium.

Le **K. INSTITUT** pour commencer, qui est une structure de recherche très importante en Allemagne et qui a la particularité de tirer de ses ressources de contrats avec l'industrie. De ce fait, le K. INSTITUT possède des installations opérationnelles et quasi industrielles dans de très nombreux domaines. Implanté dans plus de 40 villes en Allemagne, cet institut est souvent cité en exemple comme étant le chaînon indispensable entre la recherche fondamentale et les applications industrielles. En outre, le K. INSTITUT a une grande expérience du PCRD et ses scientifiques participent à de très nombreux projets financés par l'Europe. Ils ont donc l'habitude de ce schéma de financement, et suivent de façon régulière les appels d'offre publiés par le PCRD. L'existence d'un appel à projets dans un domaine où ils ont des équipes opérationnelles (les mémoires MRAM, les mémoires non conventionnelles) va favoriser leur intégration à MEMORY, qui se positionne justement sur une réponse à un tel appel à propositions.

L'Université de Bielfeld est le deuxième partenaire Allemand du projet, et abrite une équipe et des installations dédiées à des recherches sur les MRAM. Elle est donc un partenaire important pour MEMORY, et va pouvoir en particulier tester d'autres techniques de dépôt des matériaux candidats pour le FEM.

L'Université d'ONYX, université anglaise de grand renom, participe à ce projet dans un cadre assez clair : caractériser les échantillons produits durant le projet. Elle doit ainsi mener divers tests et fournir aux autres membres du consortium des rapports d'analyse qui vont permettre de savoir si tel ou tel matériau, déposé selon telle ou telle technique permet de faire une couche ayant les caractéristiques techniques et électriques voulues.

SCANNEX est une entreprise industrielle que l'on peut qualifier d'équipementier : ils conçoivent et vendent des postes de dépôt de couches minces et de décontamination pour l'industrie du CMOS et les laboratoires de recherche de ce domaine. Ce projet peut être pour eux l'opportunité de devenir LE fournisseur de postes techniques pour la production de MRAM dans le futur. En outre, ils sont présents physiquement à Grenoble, dans les locaux du CENTRE SCIENTIFIQUE, qui utilise des équipements SCANNEX.

d) Les communautés

Durant cette séquence, on peut voir que la **communauté épistémique du magnétisme a été fortement mobilisée**, et que ce sont désormais des spécialistes européens du domaine qui joignent leurs connaissances et leur intérêt au processus MEMORY. Il y a bien entendu le renfort de Lisandro (et de son équipe de Bielfeld), qui est un spécialiste reconnu, qui connaît très bien les travaux de ces

collègues. Autour de lui, des scientifiques et des étudiants creusent la question du magnétisme dans les semi-conducteurs :

"Quand on lui a demandé de rejoindre le projet, un de ses étudiants venait de finir sa thèse sur le même sujet, mais pas sur le Silicium, sur Ga As. [...] Beaucoup de gens essayaient l'injection et la détection de spin, mais rataient."

Extrait des notes prises lors de l'entretien avec Lisandro.

Autour de TRON, par exemple, gravitent des personnalités comme Sébastien ou Mehdi, qui sont des spécialistes de la spintronique. Ces derniers travaillent activement à la rédaction de la proposition et organisent entre eux, avec leurs collaborateurs, des réunions de travail spécifiques (extrait du Mél 20040929M1.pdf de Mehdi, dont nous sommes en copie) :

Sébastien

suite a notre discussion de ce matin, ci dessous les points importants a clarifier/souligner :

- Le WP2 dans lequel on teste 4 procédés de dépôt en parallèle doit se terminer a t_0+1 an (environ) par un milestone : "choix de la meilleure solution". [...].*
- Les procédés de dépôt étudiés doivent être compatibles 200mm puisque c'est la filière qui sera utilisée par la suite. Ce point est crucial : Si pas de possibilité 200mm, forget it.[...].*
- Attention a définir un procédé similaire pour tous les stress thermiques. Sinon on comparera des pommes et des poires... [...].*
- Je ne comprends pas pourquoi K. INSTITUT ne peut pas faire le dépôt de la barrière. Ça me semble tres merdique de faire voyager les wafer juste pour une étape... Insister pour qu'ils le fasse [...]*

On notera dans ce mél l'emploi d'un **jargon spécifique à cette communauté** (dont le lecteur de cette thèse est devenu peu à peu familier !), propre aux milieu de l'électronique : on parle de *barrières*, de *wafer*, de *stress thermique*, puisant dans le "répertoire" de cette communauté des significations communes, mais difficilement compréhensibles de l'extérieur. On comprend, au travers ce mél, que les spécialistes de TRON collaborent entre eux, mais aussi avec des spécialistes du K. INSTITUT, qui sont plutôt du côté de la communauté du Silicium, du CMOS.

La contribution de ces communautés est visiblement importante dans la rédaction de la proposition d'Octobre 2004... Et donc dans les partitions que nous avons observées plus haut.

e) Appareillages techniques

Durant cette séquence, le projet reste un projet "sur papier". Les échantillons n'ont pas été produits, les dépôts de matériaux n'ont pas été réalisés selon les spécifications propres au eMram. En revanche, chaque partenaire s'est déclaré sur diverses techniques de dépôt. Bien évidemment, cela a été fait en fonction des capacités technologiques des uns et des autres, chacun ayant pris en compte ce qu'il pouvait techniquement faire.

Il nous faut ici rappeler brièvement en quoi consiste la fabrication d'un composant sur Silicium.

- Le processus part d'une galette de Silicium ronde. Plusieurs diamètres sont possibles au départ du processus, mais **le diamètre de départ impose un certain format aux postes de travail successifs**. Il est impossible, par exemple, de traiter une galette de 8 pouces sur un équipement prévu pour des galettes (ou wafer) de 5 pouces.
- A la fin du processus, et sur une même galette, un grand nombre de composants sont fabriqués. Sur une même galette, on peut fabriquer n exemplaires du même composant, ou alors réserver des zones distinctes pour y fabriquer divers lots de composants. **Le nombre n de composants sur une galette dépend de la résolution choisie pour les composants**. Une résolution forte permet de fabriquer des composants en plus grand nombre sur une même surface (augmentation de la densité). Depuis 1971, la densité des composants double tous les deux ans, ce qui correspond à la loi de Moore.
- Il y a plus de 200 étapes de fabrication entre la galette de Silicium vierge et le Wafer final. Un grand nombre des opérations de transformation nécessitent d'être réalisées dans des atmosphères stériles, sans contaminations, en limitant l'introduction de molécules extérieures non désirées. Pour cette raison, les divers postes de travail sont le plus souvent organisés dans des "**salles blanches**", où des normes drastiques de propreté, de contrôle d'accès, de sécurité sont mises en place.
- La principe central de fabrication de composants consiste à créer des **microstructures** (voir des nano structures) de divers matériaux. L'agencement de ces structures va provoquer les phénomènes électroniques (ou spintroniques) recherchés. **Les structures sont créées couche par couche**, et comportent des opérations de structuration (graver un motif, pratiquer un trou, etc.). Pour créer une structure cible, on peut être obligé de passer par de nombreuses étapes successives (structuration, dépôt 1, décontamination, dépôt 2, structuration, etc.).

Dans le consortium MEMORY, le K. INSTITUT est au début du processus (il prépare les plaques avec les micro structurations voulues, en pratiquant des trous dans une couche protectrice déposée sur le Silicium) et à la fin de celui-ci (il dépose, par dessus le FEM, la circuiterie de commande, d'alimentation, d'interprétation logique), rendant possible la création des prototypes de eMram voulus. Durant cette séquence, **la Salle Blanche du K. INSTITUT est présente dans les choix de conception** : elle impose par exemple son format de 8 pouces, et exige aussi que les solutions choisies pour réaliser le FEM soient compatibles avec son outillage. En particulier, on ne peut pas concevoir un FEM incapable de résister à de hautes températures (Il y a des cuissons à 450 °C dans les opérations réalisées aux K. INSTITUT).

Les partitions proposées au concept eMram à la fin de cette séquence ont du intégrer cette contrainte de conception. En termes CK, on peut dire que "*un composant doit résister à une heure de cuisson à 450 °C sans perdre ses caractéristiques physiques et magnétiques*" est une proposition de K, une proposition donnée par le K. INSTITUT, qui permet de donner dans certains cas un statut à des matériaux candidats.

Les installations techniques de Bielefeld, de TRON et du LABO sont également importantes dans cette séquence pour le choix des matériaux candidats pour le FEM. Bielefeld, par exemple, propose de tester des dépôts utilisant des techniques par PVD (Physical Vapor Deposition). La raison en est simple : l'Université de Bielfeld tient à la disposition de Lisandro et de son équipe des installations capables de réaliser de tels dépôts ! Il en va de même pour le LABO et pour TRON.

f) Inscriptions et dispositifs de coordination

Une inscription est centrale durant cette séquence : il s'agit de la proposition de projet au format PCRD. Cette proposition (ou "propale" dans le jargon SPARKS Innovation) est un document vivant et en perpétuelle évolution tout au long de cette séquence. De Juillet à Octobre, nous trouvons dans notre base documentaire 12 versions intermédiaires de la propale finale, nommées "draft strep_v00.doc", où V00 est le numéro de version (nous avons une V12 !). Durant ces mois de travail, des réunions sont organisées, les partenaires sont relancés, fournissent des informations, contribuent à certains chapitres. Jim et Florent animent ces échanges et consolident les contributions dans un seul document, qui évolue au gré des semaines.

Cette proposition n'est pas qu'un "résultat" de la séquence. C'est aussi une ressource et une contrainte de la séquence, un véritable ingrédient. Par exemple, **elle suit un plan prédéfini et imposé par l'Europe**. Elle est en fait divisée en six chapitres, chaque chapitre correspondant à un des six critères d'évaluation. La proposition impose donc d'aborder les thèmes suivants :

-
- 1- Relevance (en quoi le projet correspond aux objectifs de cet appel, du PCRD et de la CE)
 - 2- Potential Impact (quelles peuvent être les retombées économiques, sociales, scientifiques de ce projet)
 - 3- Scientific and Technological Excellence (Comment le projet se situe par rapport à l'état de l'Art, en quoi propose-t-il une démarche réellement innovante ?)
 - 4- Quality of the Consortium (Quel est le niveau des participants au consortium ? Sont-ils complémentaires ? Une place est-elle faite pour des PME ?)
 - 5- Quality of the Management (Comment la gestion du projet sera faite, avec quels moyens, quelles compétences ?)
 - 6- Mobilisation Resources (Les moyens humains et techniques sont-ils en adéquation avec les objectifs du projet ?)

Chaque chapitre / critère d'évaluation sera noté sur 5, avec une égale pondération. Il faut donc apporter le même soin à chacun de ces chapitres. Or, certains de ces thèmes sont des thèmes inhabituels pour des scientifiques (CH 1, 2, 5 et 6), et l'apport d'industriels et de gestionnaires est alors important. Cette inscription est donc l'occasion de brasser les compétences du consortium, de mêler arguments scientifiques, financiers et stratégiques, dans le but de converger vers un document unique, et si possible séduisant selon les critères fixés par la CE.

En ce sens, **cette proposition est aussi un dispositif de coordination**, car elle focalise les efforts des partenaires, permet de consolider leurs contributions dans un document unique, et fixe les thèmes devant faire l'objet de contributions et de négociations entre partenaires.

Du côté des dispositifs de coordination, cette séquence est l'occasion de deux **réunions** de consortium, qui sont des moments importants de coordination dans le processus, puisqu'elles permettent des discussions collégiales et des contacts physiques entre interlocuteurs.

Nous remarquons que c'est à partir de la première réunion de consortium, en Juillet 2004, que les participants prennent l'habitude de **mettre leurs collègues MEMORY en copie** des Méls importants (voir exemple plus haut), Méls qui commencent souvent par la formule "*Dear Partners*", **signe qu'une reconnaissance mutuelle est en train de naître**. Le Mél est donc, dans cette séquence, un dispositif très utilisé, avec une fonction spécifique à ce média : la possibilité de diffuser, en une seule fois, une information à de nombreux destinataires (ce que l'on nomme une **liste de**

diffusion). Ce dispositif repose sur l'utilisation d'outils simples, largement diffusés et maîtrisés désormais : un micro ordinateur connecté à Internet et disposant d'un client Mél.

g) Les financements

Le travail consistant à rédiger cette proposition est en partie financé par un financement APTI donné à STARTER par l'ANVAR, qui couvre le temps passé par Hector et qui permet de payer l'intervention de SPARKS Innovation. Mais il y a aussi le temps passé et les frais de déplacement, pour les autres partenaires. Ces derniers sont couverts par les budgets et les fonds propres de leurs organisations, qui réalisent là un investissement, pour l'instant modéré, comportant un risque : si le projet n'est finalement pas retenu, cet investissement n'aura pas été suivi de retour...

9.1.4 Evolution de l'assemblage des ingrédients dans cette séquence

Durant cette séquence, l'assemblage d'ingrédients tend à prendre une forme à la fois élargie et contrôlée. Élargie parce que, grâce à l'opportunité PCRD qui s'est ouverte, **des partenaires ont accepté de se joindre à STARTER et au LABO**. Ces partenaires sont des institutions de recherche importantes et la dimension industrielle du projet est enfin prise en compte. Trois pays sont représentés, ce qui permet d'enrôler d'autres spécialistes reconnus des Mram en Europe.

Mais la forme prise par ce véhicule, son extension, est une extension sous contrôle. D'une part elle répond à des objectifs de conception : il faut trouver des partenaires capables de produire des wafer, il faut enrichir les partitions liées aux domaines de matériaux, il faudra aussi disposer de moyens de test. **Ces exigences de conception ont guidé le choix des partenaires**, sélectionnés pour leurs compétences, leurs infrastructures, leur propension à pouvoir efficacement participer à la conception collective d'une eMram.

Le processus MEMORY est aussi **contrôlé par les exigences de la CE** : la proposition est construite selon les critères d'évaluation d'un projet PCRD. On a donc tenté d'avoir un consortium équilibré, regroupant des organisations issues d'au moins trois pays. Le budget même du projet a été soumis à cette contrainte. On sait par exemple qu'une subvention pour un projet de ce type (c'est un projet "STREP", pour Specific Targeted REsearch Project) ne peut excéder 2 Millions d'euros, pour un budget de projet inférieur à quatre millions d'Euros. Ainsi, le nombre de mois hommes, le nombre de wafer pouvant être produits, sont soumis à des contraintes budgétaires connues d'avance. Par conséquent, il y a une limite au nombre de possibilités pouvant être testées durant le projet.

Enfin, l'extension de cet assemblage par le recrutement de nouveaux partenaires a été faite via des contacts inter-individuels. Il y a donc **un fort couplage entre le réseau inter-individuel des individus de MEMORY (les contacts d'Hector, de Nikita, de Mehdi) et le réseau inter-organisationnel qui constitue désormais ce consortium**, le second ayant été construit à partir du premier. La croissance de l'assemblage d'ingrédients nécessaire à ce processus a suivi en grande partie la structure du réseau social des individus présents dans la séquence précédente.

Section 9.2 La Séquence de Latence

Durant les mois qui suivent le dépôt de la proposition MEMORY, le 14 Octobre 2004, un processus d'évaluation et de sélection des meilleurs propositions est mis en place par la CE. Des scientifiques et des industriels venus de toute l'Europe sont réunis à Bruxelles pour des sessions d'évaluation de plusieurs jours, et les propositions sont lues par des experts et évaluées selon une grille évoquée plus haut. A la fin du processus d'évaluation, les meilleures propositions par thème financé sont retenues et les coordinateurs des projets sélectionnés sont invités à entrer en négociation avec la CE.

Les résultats de ce processus d'évaluation ne sont connus qu'en février 2005. Que devient le processus MEMORY durant cette période d'évaluation ?

9.2.1 Sur le plan cognitif

Il nous est difficile de repérer des évolutions dans la conception des eMram durant ces 5 mois, **raison pour laquelle nous parlons de latence**. Nous n'avons pas sur cette période de documents significatifs, et durant nos entretiens individuels, rien ne nous permet de repérer de nouvelles évolutions au concept.

9.2.2 Le fil des événements

A partir d'Octobre 2004, et ce jusqu'à Février 2005, **il ne va pas y avoir de réunions spécifique à MEMORY, ou d'échanges de Méls remarquables**. Les partenaires attendent une décision pour entreprendre collectivement des actions. Bien entendu, cela n'empêche pas le uns et les autres de suivre leurs propres projets, de vivre et d'agir dans leurs organisations. Certains des partenaires de MEMORY vont même avoir l'occasion d'interagir durant ces quelques mois : c'est en particulier le cas des français du consortium, qui se côtoient dans le cadre du projet FUTURA sur les matériaux Ferromagnétiques.

9.2.3 Les ingrédients dans cette séquence

En quatre mois, les ingrédients de la séquence évoluent, on pourrait dire "malgré" le processus MEMORY. Rappelons que chaque ingrédient dont nous avons parlé est très diversement couplé au processus MEMORY. Des organisations comme le K. INSTITUT ou l'Université d'ONYX sont très indépendantes du devenir de ce processus, ce qui n'est pas le cas de STARTER. Ces organisations sont donc elles-mêmes engagées dans de nombreux processus, et continuent à évoluer, à subir des

changements plus ou moins réversibles. Le temps passant, hors de MEMORY, les ingrédients se transforment.

Du côté des **individus**, par exemple, il va y avoir des changements durant cette période de latence, certains de ces changements ayant un impact potentiellement important sur le reste du processus. Par exemple, Lisandro, qui a été une pièce essentielle dans la séquence précédente, va quitter l'Université de Bielfeld. Lui et des membres de son équipe rejoignent AUSTRIAN, une structure de recherche autrichienne, sur le site de Vienne. Ce changement n'est pourtant pas apparent en 2004 : Florent ne l'apprendra qu'en Février 2005.

Les **liens** entre les individus sont également en évolution durant cette période, même s'ils ne sont pas activés dans le cadre du processus MEMORY. Le projet FUTURA, évoqué plus haut, est l'occasion pour Hector et Nikita de collaborer scientifiquement avec Mehdi et Sébastien. Ils ont donc l'occasion de tester leur confiance mutuelle, leur faculté à interagir, ce qui pourra peser dans la suite du processus.

Durant cette période, qui plus est, des papiers continuent à être publiés dans le domaine du magnétisme, de la spintronique, de l'électronique, des matériaux. Nul doute que les **communautés** scientifiques engagées dans MEMORY dans la séquence précédente on en partie connaissance de ces **inscriptions**. En quatre mois, dans un domaine très porteur, l'état de l'art évolue. Cependant, à notre connaissance, il ne va pas y avoir, en cette fin d'année 2004, de découverte capitale pour MEMORY.

Du côté des **financements**, **cette période pose problème, en particulier pour STARTER**. Cette entreprise vit sur des fonds propres, engagés par des fonds d'investissement. Durant ces quatre mois, STARTER doit payer des salaires et des charges, mais n'a pas d'entrées nouvelles de financement. On le verra plus tard, ce temps qui passe, ces investissements qui tardent à produire des résultats tangibles, peuvent créer des problèmes, en particulier vis à vis des actionnaires de l'entreprise.

9.2.4 L'assemblage d'ingrédients durant cette séquence

Durant cette séquence, l'assemblage d'ingrédients est en suspens. Il reste un potentiel d'action non sollicité, et les ingrédients n'interagissent que faiblement. Bien entendu, certains individus (Hector, Nikita) aimeraient que le travail collectif commence dès à présent. Mais pour leurs partenaires, cela est trop risqué. Seuls 20 à 30 % des propositions faites au PCRD sont sélectionnées pour financement. Commencer une collaboration de ce genre, sans avoir l'assurance d'un finance-

ment futur, est difficilement envisageable pour des partenaires (comme le K. INSTITUT, ONYX ou TRON) pour qui le projet MEMORY n'est pas vital. Pour ces derniers, MEMORY est une opportunité de financement parmi d'autres, et leur adhésion à MEMORY est fortement liée à la perspective de recevoir une subvention. On mesure ici la différence d'engagement des uns et des autres dans le processus MEMORY.

Cette latence, cette mise en suspens de l'effort collectif a deux conséquences : d'une part, le versant cognitif du processus est arrêté (on ne fait pas d'expansion de C par exemple). D'autre part, des ingrédients du processus, couplés à d'autres processus, se transforment. On peut aisément imaginer que, si ce suspens se prolonge, les ingrédients auront changé dans des proportions telles que la continuité du processus sera devenue impossible : STARTER aura disparu, les scientifiques seront engagés sur d'autres thématiques, les installations techniques seront modifiées, etc.

On remarque aussi que, entre cette Séquence de Latence et la Séquence Consortium, **il n'y a pas eu de bifurcation** : pas de bouleversement, pas d'irréversibilités majeures créées, pas de décisions à prendre.

Section 9.3 La bifurcation Projet MEMORY

La bonne nouvelle arrive le **1er Février 2005** par Fax au LABO : le projet MEMORY a été positivement évalué (avec une note de 26/30). Un court rapport d'évaluation est fourni (2 pages), ainsi qu'une lettre invitant Nikita, le coordinateur du projet, à prendre rapidement contact avec **Litang, un Scientific Officer de la CE**, afin de commencer la négociation du contrat unissant le consortium MEMORY à la CE pour un financement du projet.

Le 23 Février, au LABO à Marseille, se tient une réunion de coordination entre Nikita, Hector, Jim, Florent et Youri, le nouveau dirigeant de SPARKS Innovation. Hector et Nikita souhaitent le soutien de SPARKS Innovation dans les semaines qui suivent, afin de négocier le contrat avec la CE. Topkink Innovation reprend donc rapidement son rôle d'animateur, laissé de côté depuis Octobre 2004 (Extrait Mél 20050224CR.pdf de Jim à Hector et Nikita suite à cette réunion) :

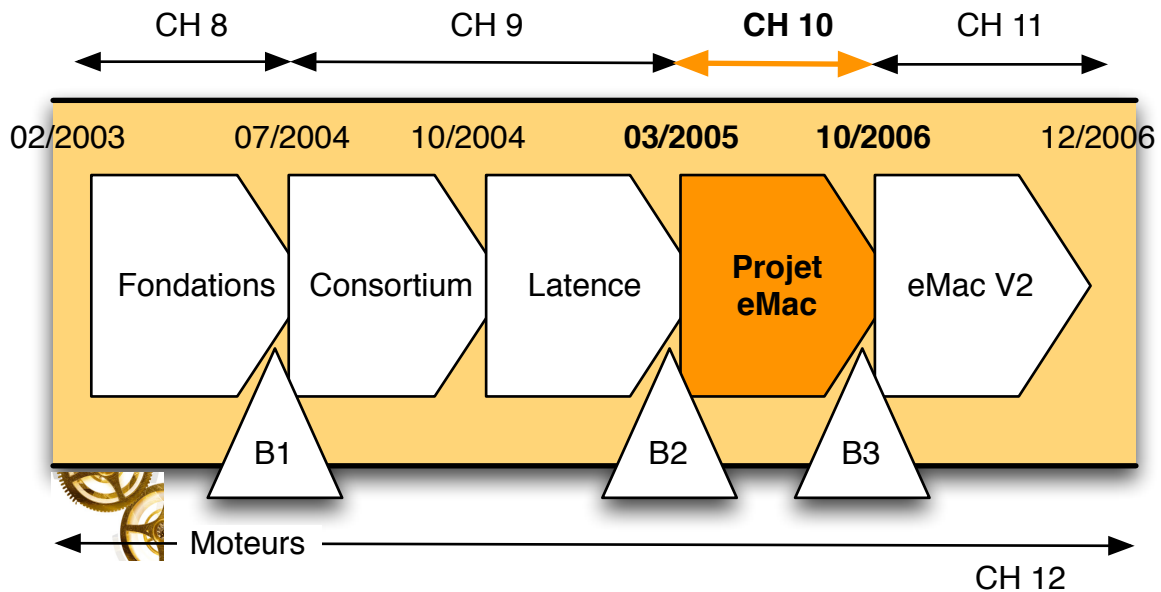
SPARKS s'occupe au plus tôt de contacter chacun des partenaires pour leur communiquer ce qu'ils ont à faire. Nous préparons activement aussi l'entrevue sur Bruxelles avec l'officier de la CE.

C'est ainsi que, **le 7 Mars 2005, Nikita et Florent sont à Bruxelles, dans le bureau de Litang**, représentant du PCRD, pour une réunion préparatoire à la négociation du contrat de financement entre la CE et les partenaires MEMORY. On peut donc considérer cette date comme étant le marqueur pour la séquence suivante : de part et d'autre, des décisions ont été prises. Il y a la décision de la CE de financer MEMORY, bien entendu, confirmée ce jour, puis la décision des divers partenaires de s'engager effectivement dans le projet financé, ces partenaires étant représentés par Nikita, coordinateur officiel.

A partir de cette fin Février, le véhicule MEMORY est donc réactivé : l'échange de méls s'intensifie, des réunions sont organisées, mais surtout, assez rapidement, des échanges d'échantillons vont se mettre en place. C'est une séquence nouvelle qui s'ouvre.

On va ainsi sortir de la Latence précédente. L'assemblage d'ingrédients qui porte l'activité de conception est activé. Il n'est plus un simple potentiel, il devient effectif : le processus collectif est relancé, et la conception évolue de nouveau. Sur le versant social du processus, on peut faire la même remarque : des ingrédients nouveaux apparaissent, d'autres se transforment, le tout s'orchestre dans un nouvel assemblage, selon une autre logique. Le passage entre ces deux séquences est "bifurcatif" : le changement est rapide et implique des décisions.

Chapitre 10. Le projet MEMORY de sa préparation aux premiers résultats



Officiellement, c'est à dire tel que décrit dans le contrat qui unit le consortium à la CE, le projet MEMORY commence le 5 Septembre 2005. Mais comme nous l'avons fait remarqué dans le chapitre méthodologique, le calendrier peut différer du séquençage. C'est pourquoi nous englobons dans une même séquence la première année officielle de MEMORY, ainsi que les six mois qui précèdent ce projet. Selon nos observations, l'ensemble de cette période peut être comprise selon un même logique d'association des ingrédients du processus. Cette séquence va se terminer en Octobre 2006 avec une nouvelle bifurcation que nous expliquerons plus loin.

Section 10.1 Sur le plan cognitif : conjonctions et nouvelles partitions

Nous nous projetons en Octobre 2006. Le projet a officiellement débuté depuis un an, et le dépôt de la proposition date de 19 mois. Les partenaires, réunis en réunion de consortium à Grenoble, présentent l'avancée de leurs travaux. On en sait donc un peu plus sur les matériaux candidats pour réaliser le FEM et un rapport d'avancement des travaux est produit pour être présenté à la CE (document 20061010ManagementReport.doc). On peut donc, à partir de ce document, faire le point sur l'évolution des travaux de conception réalisés durant cette séquence.

10.1.1 Conjonctions : des hypothèses abandonnées

Du côté de C, certaines propositions de conception essentielles ont disparu. C'est le cas en particulier pour les matériaux ferromagnétiques. A la fin de la séquence précédente, le "Sandwich" à effet tunnel était basé sur l'association d'un matériau isolant (qui sert de tunnel) à un matériau conducteur magnétique qui pouvait être NiFeCO ou NiFe. **Désormais, la piste NiFeCo a été abandonnée.**

Comment interpréter cet abandon en termes de conception ? La proposition "Une mémoire sur Silicium, utilisant l'injection de Spin par effet tunnel, directement dans le silicium [...] en utilisant NiFeCo comme matériel ferromagnétique" était un embranchement possible des expansions de C en Mars 2005. Or, cette proposition a acquis depuis un statut pour les concepteurs. Cette proposition est désormais considérée comme n'étant pas une option envisageable pour réaliser le FEM visé par le projet MEMORY : cet alliage peut présenter des défauts de magnétisation importants lorsqu'il est disposé en couches très minces (il y a des publications en 2006 sur ce thème). La proposition a donc acquis un statut dans K (elle est considérée comme "fausse" en 2006). Puisqu'une proposition ayant un statut est un élément de K, cet embranchement disparaît de C.

10.1.2 De nouvelles partitions

En revanche, des matériaux nouveaux ont fait leur apparition. Pour la couche tunnel, par exemple, en plus des Oxydes d'Aluminium et de Silicium, des partenaires du consortium testent désormais la piste MgO, l'Oxyde de Magnésium. En association à cet Oxyde, les concepteurs ont testé d'autres candidats ferromagnétiques : Co (le Cobalt) et des alliages de cobalt (Co60Fe20B20, et Co75Fe25).

Il en va de même pour la couche de contact (capping layer), puisque l'Or (Au) fait aussi son apparition parmi les matériaux candidats. Enfin, d'autres caractéristiques des eMRAM visés sont désor-

mais définies. Par exemple, on sait que le composant BEM devra conserver ses propriétés après une cuisson d'une heure à 550°C, et qu'il sera fabriqué sur des galettes de silicium de 8 Pouces. Ces propositions sont directement issues des connaissances liées à la fabrication d'un composant CMOS, et sont imposées par le protocole habituel de fabrication en Salle Blanche.

D'un point de vue cognitif, il y a là un double mouvement. D'une part, l'acquisition de nouvelles connaissances ($K \Rightarrow K$) qui permettent de désigner d'autres matériaux candidats. D'autre part, l'ajout de ces propositions nouvelles issues de K à l'arbre de conception, ce qui permet de réaliser de nouvelles expansions de C ($K \Rightarrow C$).

10.1.3 Des concepts laissés de côté

Dans la section précédente, nous avons fait remarquer qu'il existait théoriquement une quarantaine d'options possibles pour réaliser le FEM. Nous avons à présent 3 oxydes candidats, 4 matériaux ferromagnétiques, 5 matériaux pour la barrière de diffusion, et 3 matériaux pour la couche de contact, ce qui donnerait en principe ($3 \times 4 \times 5 \times 3$) 180 combinaisons, soient 180 ramifications de C.

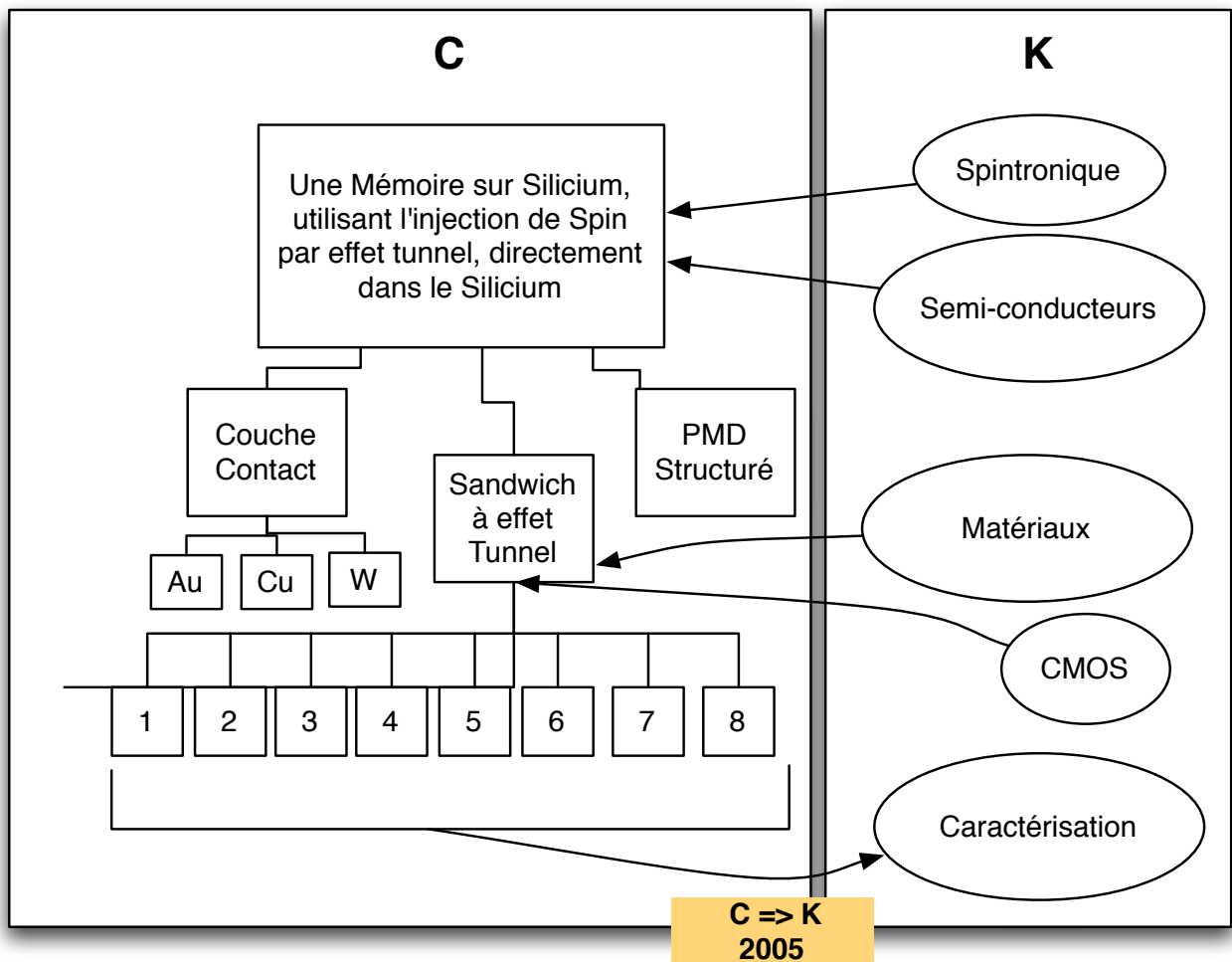
Pourtant, toutes les combinaisons ne seront pas testées, et ce pour diverses raisons sur lesquelles nous reviendrons plus loin. En fait, il semble que les concepteurs aient choisi de privilégier 8 combinaisons à ce moment du projet. C'est sur la base de ces 8 configurations que les premiers wafer sont fabriqués. Ce sont donc ces huit options qui font l'objet d'une tentative de conjonctions (on tente de donner un statut à ces huit versions du concept).

10.1.4 Représentation graphique

La représentation graphique en CK atteint ici ses limites. Il nous faut dessiner une arborescence avec 180 ramifications (toutes les partitions possibles de C) et isoler les 8 combinaisons choisies, qui vont être effectivement testées, et faire l'objet d'une tentative de conjonction. La représentation que nous proposons ci-dessous fait donc visuellement l'impasse sur le développement de 172 propositions, qui sont regroupées dans l'embranchement "n". Les 8 options retenues pour tests sont détaillées ci-après.

Il faut aussi préciser que, dans ce schéma, nous n'avons pas ajouté au concept de base d'autres partitions réalisées durant cette séquence, comme le choix d'une taille de wafer (8 pouces) et la tenue à une cuisson de 550 °C, notre but étant ici d'insister le choix des matériaux et de leur mode de dépôt, tâche qui est centrale dans ce projet et dans la conception des eMRAM.

Schéma 25: Représentation graphique en CK de l'expansion des eMram en Octobre 2006



Les combinaisons de matériaux testées sont les suivantes :

Couche Tunnel	Couche Ferro Magnétique	Barrière Diffusion
1) Al Oxyde (Al ₂ O ₃)	Co	Aucune
2) MgO	Co ₆₀ Fe ₂₀ B ₂₀	TaN
3) MgO	Co ₇₅ Fe ₂₅	TaN
4) SiO ₂	Co	Pt
5) SiO ₂	NiFe	Pt
6) SiO ₂	NiFe	Ta
7) Al Oxyde (Al ₂ O ₃)	NiFe	Pt
8) Al Oxyde (Al ₂ O ₃)	NiFe	Ta

Ainsi, chacune des options de conception décrites ci-dessus va servir de base à la production de plusieurs wafer. Les wafer produits à ce stade du projet ne portent pas des mémoires finies. Seules les premières étapes de production, correspondant à la production du BEM eMram, sont réalisées (dans le jargon de l'électronique on parle de "single cells"). Ces structures sont ensuite soumises à divers tests : analyses paramétriques, observation des nanostructures, évaluation des caractéristiques électriques, etc. Cette batterie de tests permet de constater si, oui ou non, on peut observer sur certains de ces Wafer les effets tunnel visés. A partir de ces tests, on peut donc décider quelles sont, parmi les combinaisons testées, les meilleurs combinaisons de matériaux pour fabriquer les mémoires eMram visées pour la fin du projet. Ou, pour l'exprimer dans le formalisme CK, **on peut donner un statut au 8 embranchements de C pour lesquels on effectue une conjonction ($C \Rightarrow K$).**

Section 10.2 Le fil des événements

Nous entrons ici dans une séquence allant de mars 2005 à Octobre 2006 : MEMORY devient un vrai projet, un consortium se crée, des subventions sont versées, des artefacts sont produits, circulent entre les partenaires, etc. Les événements foisonnent. Nous rappelons ici les faits marquants, qui nous permettent de voir "entrer en scène" des ingrédients importants à ce moment du processus.

10.2.1 De la proposition au contrat

Nous avons quitté la narration de MEMORY le **7 Mars 2005**, date à laquelle Nikita et Florent sont à Bruxelles, dans le bureau de Litang, Scientific Officer de la CE. La réunion entre Nikita, alors coordinateur officiel du projet pour le LABO, et un représentant de la CE, a pour objectif de préparer le contrat unissant le consortium MEMORY à la CE, et de planifier le début du projet. Ce contrat comporte un document essentiel : une annexe technique qui décrit dans le détail le travail à accomplir, les jalons, la répartition du travail, etc. Cette annexe est aussi appelée DOW (Description Of Work) et est une version mise à jour... De la proposition de projet MEMORY. Les promesses faites en 2004 doivent donc désormais se transformer en planification du travail pour 2005 et les années suivantes.

Cependant, il y a des différences, déjà, entre le projet proposé dans la proposition de projet et ce que sera la version final du DOW en mai 2005. La proposition est en effet amendée, d'une part pour répondre à des exigences de la CE, d'autre part pour refléter l'évolution du consortium depuis Octobre 2004. A la suite de cette réunion entre Nikita, Florent et Litang, Litang récapitule les modifications nécessaires à porter au DOW :

"afin d'explorer d'autres routes potentielles d'exploitation, quelques (2-3) industriels seront associés au projet par l'intermédiaire d'un Advisory Board. Ceux-ci seront mentionnés dans le DoW

- des spécifications préliminaires pour la cellule mémoire seront établies dans le DoW. [...]

- la sous-traitance de tâches de gestion de projet n'étant pas permise, SPARKS est invité à rejoindre le consortium en tant que contractant principal. [...]

2. Finances

- les détails de la répartition des coûts en personnel, équipements et consommables seront fournis. Les budgets des partenaires seront ajustés en fonction des changements dans le consortium. Le montant de 2.275.411 euro ne sera en aucun cas dépassé.

3. Administration

- 3 changements sont susceptibles d'être apportés dans la composition du consortium: Bielefeld sera remplacé par AUSTRIAN Vienne - l'UNIVERSITE DES SCIENCES sera un contractant supplémentaire - l'université de Marseille pourrait devenir contractant principal au cas où la clause d'UMR ne serait pas appliquée"

Extrait de Mél 20050330M1

Il y a là trois modifications importantes pour le projet que nous devons expliquer :

- Litang juge dommage qu'aucun industriel important de l'électronique ne soit présent dans ce consortium. Il demande donc à ce qu'un "advisory board", un groupe formel d'industriels soit constitué, et que ce groupe puisse interagir avec le consortium MEMORY à l'occasion de diverses réunions de projet.
- La CE insiste pour que certaines caractéristiques des eMram visées soient précisées dans le DOW. On doit donc "détailler" le concept, faire des partitions, et les inscrire dans ce document.
- Enfin, la constitution du consortium doit évoluer. Le partenaire TRON, laboratoire qui accueille des chercheurs venant à la fois du CENTRAL TECHNO et de l'UNIVERSITE DES SCIENCES disparaît comme personne morale (il n' a pas les statuts conformes pour participer au projet). SPARKS, qui souhaitait n'apparaître que comme fournisseur, est enjoint de devenir un partenaire à part entière. Enfin, la CE prend acte du transfert de Lisandro vers AUSTRIAN (où il est parti en décembre 2004 avec une partie de son équipe), en Autriche, et accepte que AUSTRIAN remplace l'Université de Bielefeld.

Enfin, sur le volet administratif de la préparation du contrat, il y a aussi un gros travail à réaliser pour chaque organisation partenaire (fournir des budgets détaillés, signer divers formulaires d'engagement, etc.). Jim, de SPARKS, va s'occuper de réunir toutes ces informations pour le compte du LABO, en contactant, puis en relançant, l'ensemble des chefs de projet pour qu'ils collectent les documents nécessaires. Notons qu'à partir de ce moment, **la temporalité de la CE, de son PCRD, commence à contraindre le processus.** Par exemple, il existe à Bruxelles un calendrier des com-

missions de revue de projets, celle-ci ne se réunissant que tous les deux ou trois mois, ce qui met les membres du projet sous une certaine pression temporelle :

"Dear partners,

We just have made a meeting this morning between LABO, STARTER and SPARKS. This was the opportunity to make a state of the advancement of negotiations.

Litang, the scientific officers that works on MEMORY, has given us the deadline of 18th April (two weeks before an internal meeting at the commission: 4th May). Lots of documents are missing from several partners.

It's very important for everybody to understand that: if only one of them is missing for the deadline, the overall consortium will be penalized. Please, find below what is missing for your laboratory/SME: [...]."

Si, à la date de la réunion de cette commission, les documents ne sont pas réunis, c'est tout le projet qui risque de glisser, et de ne commencer qu'en 2006, ce qui est difficilement acceptable pour Hector, ou pour Nikita. Finalement, la version finale du DOW est envoyée à Bruxelles le 4 Mai 2005 (20050504DOW).

Dans le courant de l'été 2005, les partenaires reçoivent des copies des contrats de partenariat préparés par la CE. La date officielle de démarrage du projet retenue par la CE est le 5 Septembre 2005.

On comprend que, durant cette période, les partenaires ont dû d'ores et déjà faire évoluer les concept eMram prévu au départ, en particulier sous la pression de la CE qui a imposé que la mémoire visée soit mieux spécifiée (c'est pour cela que le format 8 pouces a été ajouté).

10.2.2 Le démarrage du projet

Les partenaires du projet se rencontrent dès le 5 Juillet 2005 à Marseille pour une réunion de préparation du projet. A cette date, le contrat de partenariat a été établi et l'avenir (en particulier financier) de MEMORY semble éclairci pour trois ans. Une remarque est nécessaire sur ce point : à strictement parler, l'avenir du financement du projet n'est sécurisé que sur 18 mois. En effet, comme montré dans le Gantt suivant, extrait du DOW final (20050504DOW), il y a, après 18 mois de projet, une "**Go No Go Decision**", c'est à dire une analyse des résultats du projet à mi-terme par la

CE. Cette analyse sera suivie d'une décision sur la continuité (Go) ou l'arrêt du projet (No Go) en fonction des résultats obtenus et des perspectives à terme. Ce "Go No Go" a été ajouté dans le DOW à la demande de Litang, ce qui correspond selon lui à une pratique habituelle dans les projets du PCRD.

Schéma 26: Le Gantt du projet MEMORY dans le DOW final

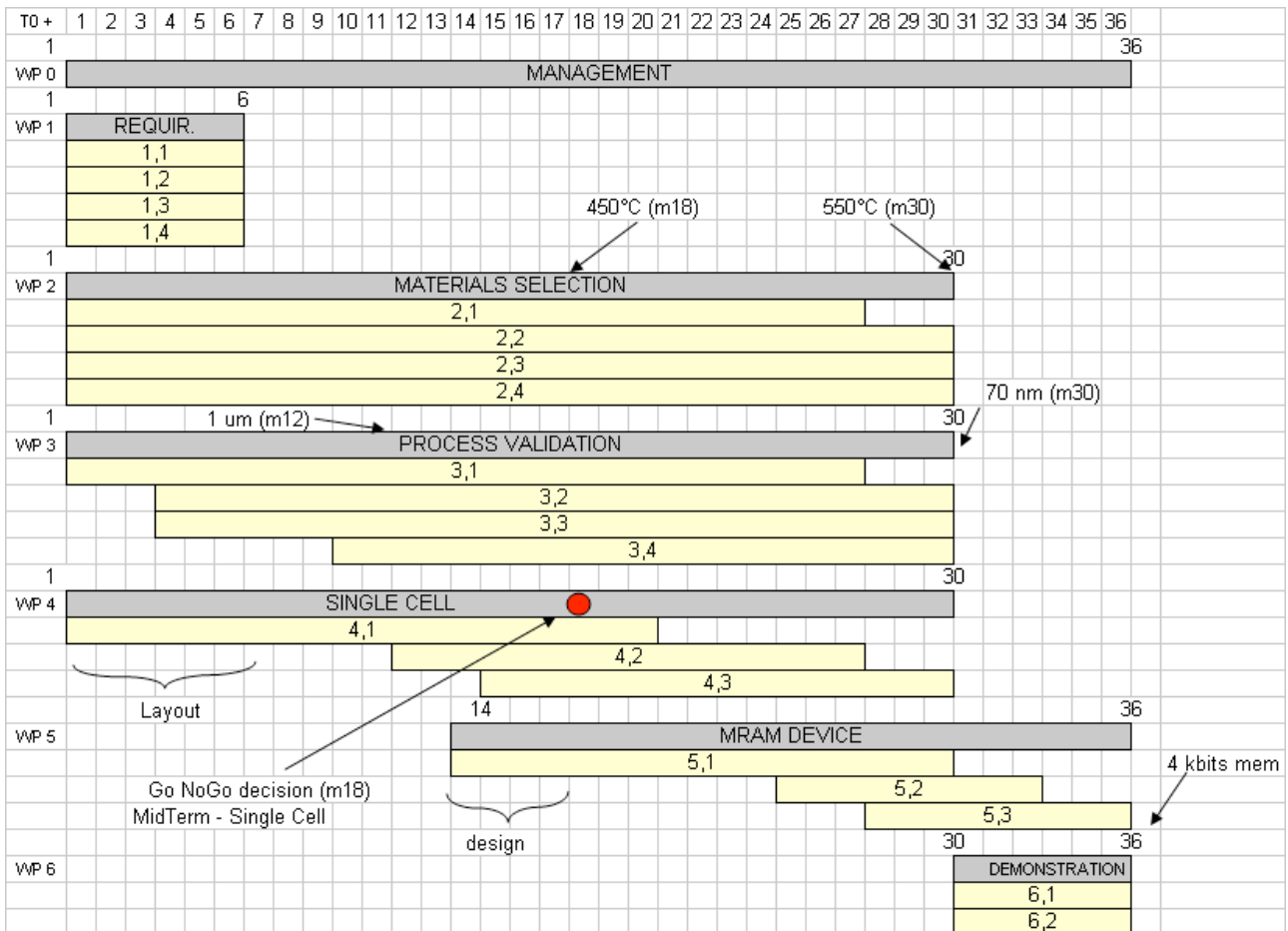


Tableau 12: Liste des partenaires présents à la réunion de lancement de MEMORY

LABO	Paulin – Nikita – Didier Tonneau
STARTER	Hector
CENTRE SCIENTIFIQUE	Fatima
UNIVERSITE DES SCIENCES	Sébastien
ONYX	Kevin
AUSTRIAN	Lisandro
K. INSTITUT	Holger
SCANNEX	Vladimir
SPARKS Innovation	Youri – Jim
EC	Litang

Officiellement, ce 5 Septembre 2005, le consortium MEMORY existe pour la commission européenne. C'est une entité à part entière, qui a un coordinateur (Paulin), un comité de pilotage, un budget, une entité unie par un accord de partenariat, et engagée juridiquement sur la réalisation d'un projet.

Il y a, dans les mois qui suivent, d'autres histoires, d'autres phénomènes parallèles qui montrent que MEMORY devient une entité sociale, avec des règles et un mode de fonctionnement propre. Dans la suite, nous insistons en particulier sur deux récits qui nous permettent de voir MEMORY devenir un acteur : le *Process Flow*, qui va occuper Hector et bien d'autres individus du projet durant cette séquence, et le *site extranet MEMORY*.

10.2.3 Le Process Flow

Durant ce projet, des plaquettes vont passer entre les mains de multiples partenaires avant d'être transformées en prototypes de mémoires. Dans ce premier temps du projet (les 18 premiers mois officiels), les plaquettes subissent un nombre plus limité de transformations : on ne vise pas à fabriquer des mémoires finies, mais juste des structures cibles ayant les caractéristiques recherchées.

Cependant, les plaquettes doivent être structurées et préparées au K. INSTITUT. Ensuite, elles sont envoyées dans divers labos comme AUSTRIAN, le CENTRAL TECHNO et le LABO, qui vont traiter ces plaquettes structurées selon diverses techniques de dépôts de matériaux. Ensuite, certaines plaquettes repassent par le K. INSTITUT pour un dépôt de protection. Enfin, les plaquettes sont envoyées à ONYX où elles subissent un ensemble de tests .

Cette situation, où la fabrication d'un prototype est répartie, n'est pas une situation idéale pour bien coordonner la mise au point du procédé de fabrication :

"Généralement comment ça se passe dans l'industrie, quand on fait du développement de technologies ? C'est des équipes qui sont à côté, physiquement, sur un même plateau, et qui interagissent énormément. Un industriel, ses équipes elles vont se voir au moins une fois par semaine, voire tous les jours. Et avec effectivement plein de compétences différentes. Donc là on a une double difficulté. D'une part les spécialistes sont dispersés sur plusieurs sites, et ensuite c'est pas eux qui interagissent directement. C'est à dire que dans le projet on a pas les spécialistes de chaque domaine. On a quelqu'un qui parle pour les spécialistes."

Extrait d'un entretien avec Hector

C'est pour surmonter cette difficulté qu'Hector va tenter de mettre au point, le plus tôt possible dans le projet, un "Process Flow", c'est à dire un document décrivant l'ensemble des opérations devant être faites à partir des wafer bruts pour produire les wafer de tests visés. Notons que, malgré sa relative précision, le DOW ne permet pas à lui seul d'être utilisé pour cette coordination de l'activité. Le DOW propose une répartition de tâches par Work Package (WP) qui sont des chantiers, mais ce niveau de précision n'est pas suffisant.

"[...] dans le WP on avait défini une approche technique [...]. On veut remettre à jour ce plan technique. Et, effectivement, quand on a commencé à regarder ce que chaque partenaire pouvait faire, par rapport à ce qui était prévu, et de voir comment les partenaires allaient interagir, et bien on s'est rendu compte qu'il y avait des lacunes à certains endroits ou même des éléments que les partenaires n'avaient pas regardé en détail [...] ils se rendaient compte que ça ne marcherait pas tel quel.

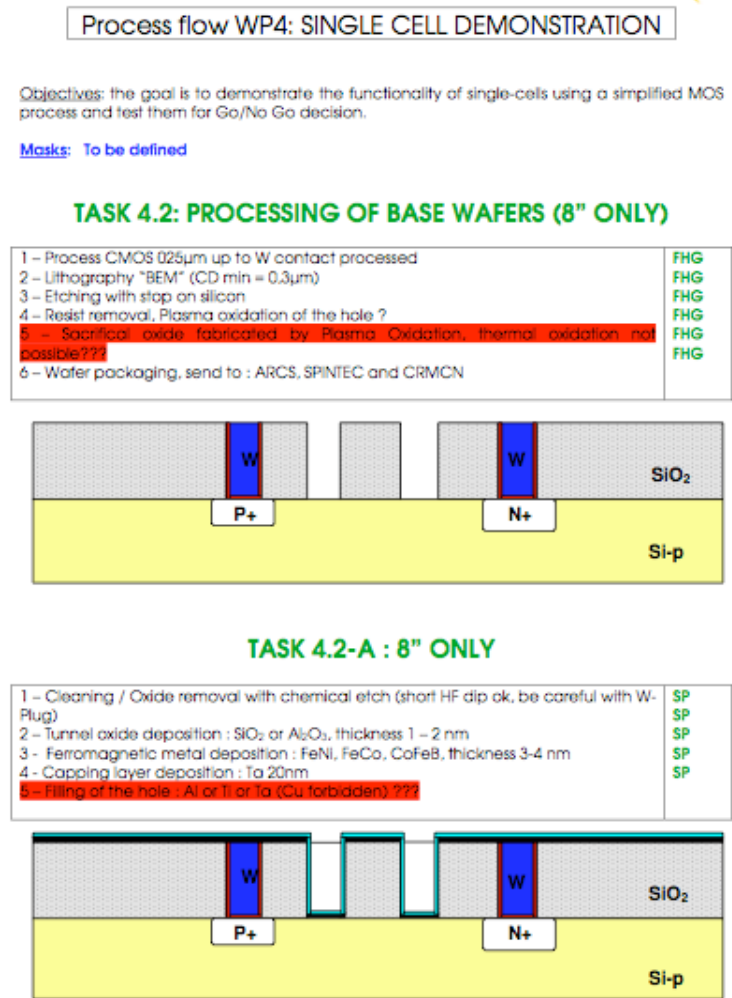
On a pas regardé en détail parce qu'on ne pouvait pas sans savoir que ça serait financé. Car c'est quand même de l'analyse un peu de détail. [...] Donc ça demande quand même un travail important au niveau de chaque partenaire basé sur des connaissances qu'il a pas immédiatement. Les compétences elles sont diluées dans les organisations. Donc il faut qu'il récupère de l'information, ça lui prend du temps, il veut pas le faire a priori. Il a pas vraiment les ressources pour le faire avant le dépôt du projet."

Extrait entretien Hector

Le projet étant gagné, les partenaires trouvent justifié d'aller dans le détail du travail à faire, d'investir du temps pour établir un *process flow* plus complet, qui va plus loin que le DOW. Une première version de ce *process flow* est présentée dès le "kick off meeting" de Septembre 2005 (20050905MEMORYKICK OFF). Cela montre que Hector a anticipé durant l'été 2005 et a déjà

commencé à réfléchir sur la façon de fabriquer les futurs prototypes de eMRAM, en fonction des ressources et des compétences des partenaires du consortium.

Illustration 8: Extrait du Process Flow présenté par Hector en Septembre 2005



Mais il est loin d'avoir atteint la version finale de ce document, qui est d'ailleurs un livrable officiel du projet, prévu dans le contrat avec la CE. Il va y avoir, entre Hector et les divers chefs de projet participant à MEMORY, de très nombreux échanges et de très nombreuses modifications de ce document. La version définitive est prête le 16 Novembre 2005, avec une version V5.0 (20051116MEMORYWorkFlowV5.0) mise à disposition sur le serveur internet du projet.

Depuis l'été 2005, date à partir de laquelle Hector commence à rédiger ce document, de nombreuses difficultés apparaissent en effet :

"- Hector : [...] Et se faisant, ces propositions pouvaient être incompatibles avec les propositions des autres. Et c'est là que ça devient assez rapidement un gros bazar.

- Florent : Par exemple ?

- Hector : Par exemple. Des points comme ça on en a plus d'une dizaine. Mais par exemple, TRON, qui veut déposer une couche supplémentaire, pour protéger lors du dépôt des croissances d'oxyde. Mais, K. INSTITUT, si ils ont cette couche supplémentaire, ça leur perturbe leur procédé, de manière suffisamment importante pour rendre critique l'ensemble."

(ibid)

A mesure que Hector veut décrire le procédé de fabrication, des contradictions entre les options technologiques proposées dans le DOW apparaissent. On ne peut pas déposer n'importe quel couche d'oxyde (couche isolante) dans un laboratoire : certains matériaux sont considérés comme des contaminants dans la salle blanche du K. INSTITUT qui finit la fabrication de wafer. **Il y a donc des techniques de dépôt incompatibles, et par conséquent des matériaux, qui ne peuvent entrer dans le concept à tester ... parce que, physiquement, ils ne peuvent être en salle blanche !**

En réalisant le *process flow*, Hector n'est pas seul. Il interagit avec ses collègues, chefs de projet chez les différents partenaires, qui à leur tour contactent leurs spécialistes en interne. Il est alors confronté à la structure du réseau social de MEMORY, structure qui présente de nombreux "trous" : au centre, un ensemble de chefs de projets se contactent, échangent des méls, et à la périphérie, des techniciens et des scientifiques répartis dans diverses organisations, travaillent localement dans leurs installations. Mais ces techniciens, ingénieurs, scientifiques, dont les connaissances pèsent sur le *process flow*, ne se connaissent pas entre eux. C'est aux chefs de projet au centre de la structure, ceux qui effectivement se croisent dans le cadre de MEMORY (réunions, méls, etc.) de faire remonter ces besoins et de tenter de les concilier.

"C'est à dire que dans le projet on a pas les spécialistes de chaque domaine. On a quelqu'un qui parle pour les spécialistes. Par exemple TRON, sur ce dépôt de couche, c'est pas la personne qui impose le dépôt de couche qui nous dit ça. C'est la personne qui est dans le projet. Et le spécialiste c'est quelqu'un d'autre.

On a plein de couches intermédiaires qui sont les responsables de projet, qui brouillent un peu le message et ont une compréhension partielle, et en plus, moi même je brouille à mon tour. C'est assez compliqué."

(ibid)

Ainsi, la réalisation du *process flow* peut être vu de deux façons complémentaires :

- **d'un point de vue social**, le *process flow* est un objet négocié, qui permet d'activer tout le réseau social constitué par les techniciens, scientifiques, chercheurs, ingénieurs devant participer dans les mois à venir au projet. En quelque sorte, **ce livrable donne vie à MEMORY en tant que collectif d'individus**. Il permet d'en discerner les contours, de faire l'inventaire des ceux qui devront intervenir dans la fabrication des plaquettes, et de tenter, déjà, de concilier leurs diverses visions (celle d'un chercheur du CENTRAL TECHNO n'est pas spontanément compatible avec celle d'un ingénieur de procédés dans une salle blanche !).

- **d'un point de vue cognitif, la réalisation du *process flow* permet de faire des conjonctions**. Comme nous l'avons vu plus haut, certains matériaux ont été abandonnés depuis 2004, et des associations de matériaux ne seront pas même testées. Or, nous venons de voir que des matériaux candidats, proposés par des spécialistes du magnétisme et des matériaux, ne peuvent pas rentrer en salle blanche. Il ne sont donc pas "intégrables" dans une chaîne de fabrication CMOS. Ils ont ainsi, pour le collectif participant à MEMORY, un statut : celui de matériaux non conformes, voire dangereux pour le reste de la chaîne de fabrication. Ces propositions deviennent donc des éléments de K.

Le statut de ces propositions a été négocié et précisé entre mai 2005 et novembre 2005, à l'occasion de la rédaction du *process flow*, en activant le véhicule devant participer au processus.

10.2.4 Le site extranet MEMORY

Dès l'été 2005, les coordinateurs du projet MEMORY ont conscience que l'éclatement des équipes, leur répartition dans plusieurs organisations et plusieurs pays, sera un défi à relever pour mener à bien ce projet. Florent a réfléchi sur cette question depuis Mai 2005, et prépare la maquette d'un site internet pouvant favoriser le travail collaboratif entre les équipes MEMORY. La mise en oeuvre d'un site était prévue dès 2004, dans la proposition de projet : *"The Partners will establish within the first 3 months an MEMORY home page on a World Wide Web (WWW) server accessible via the Internet."* (extrait de 20041012MEMORYpropale.doc).

Pourtant, à cette date (Octobre 2004), le site internet envisagé est vu comme un outil **devant faciliter le suivi de projet** : *"As far as the activities follow-up and the simultaneous management of the relevant expenses of the project are concerned, the system permanently compares the provisional planning and budget with the monthly tracing of work [...] and the monthly reporting of expenses. It thus provides the basis for periodic management reports decisions support to re-planning, reallocation of resources and contract amendment whenever required."* (ibid).

Cette vision du site internet, basé sur un outil de suivi des travaux, va pourtant rapidement évoluer. Certains partenaires, comme Nikita, ne sont pas persuadés de l'utilité d'un tel site. En fait, dès la réunion préparatoire de Juillet 2005 entre les partenaires, on demande à SPARKS Innovation de concevoir un outil, non pas de "suivi" de ce qui est fait ou pas, mais comme un lieu de débat, où l'on peut résoudre les problèmes :

"A secured website will be implemented by SPARKS Innovation. Very important : a forum where partners will be able to discuss freely of their problems." (Extrait de 20050706CR1, compte rendu de la réunion de consortium de Marseille).

Ainsi, durant cet été 2005, Florent travaille sur une première maquette de ce site. Il est réalisé sur un serveur de tests, à partir de logiciels libres (Joomla™, MySQL™ et BBEdit™). Ces logiciels sont relativement faciles à prendre en main, et permettent de déployer rapidement des sites internet basés sur des modules déjà développés par d'autres utilisateurs. Lors de la réunion de lancement du projet, Jim intègre des copies d'écran de ce site dans sa présentation. Dans le compte rendu de cette réunion il précise :

"Partners can share documents into a specific documentation data base. Submissions of new documents are controlled by the webmaster."

"Once registered into the private area of MEMORY web site, Partners have access to the MEMORY FORUM. The MEMORY FORUM is organized by activity type and WPs. The Forum keeps track of all the project discussions. The Forum warns you by email when a contribution was made to one of your questions / comments."

(extrait 20050905MEMORYKICK OFF, compte rendu de la réunion de lancement)

Florent va finaliser le site MEMORY en plusieurs étapes. Dans un premier temps, il met en ligne une première version, sur un serveur sécurisé, et crée des codes d'accès pour la partie privée du site pour seulement trois personnes : Youri et Jim, de SPARKS Innovation, et Paulin, le coordinateur de projet du LABO. Cela lui permet d'avoir un premier retour. En particulier, le 28 Septembre 2005,

Florent rencontre Paulin pour lui faire une démonstration du site et recueillir ses remarques. Outre des remarques sur l'emplacement de certains boutons, ou le mauvais fonctionnement d'outils, il y a des remarques sur le fond de l'outil :

"

- *création de liens vers des sites consacrés à des projets de recherche concurrents [...]*
- *Prévoir dans la partie publique du site une rubrique consacrée à la diffusion des résultats à venir du projet*
- *Structurer la base documentaire partagée avec les trois sous rubriques suivantes : EC Guidelines, Working Documents, Official Documentation*
- *Faire un mode d'emploi pour la base documentaire*
- *Dans le forum, prévoir la possibilité pour le chef de projet de faire une annonce globale, annoncée en tête de Forum dès la connexion.*
- *Liste des acteurs complète dans une zone « privé »"*

Extrait de 20050929CR, compte rendu de la réunion entre Paulin et Florent.

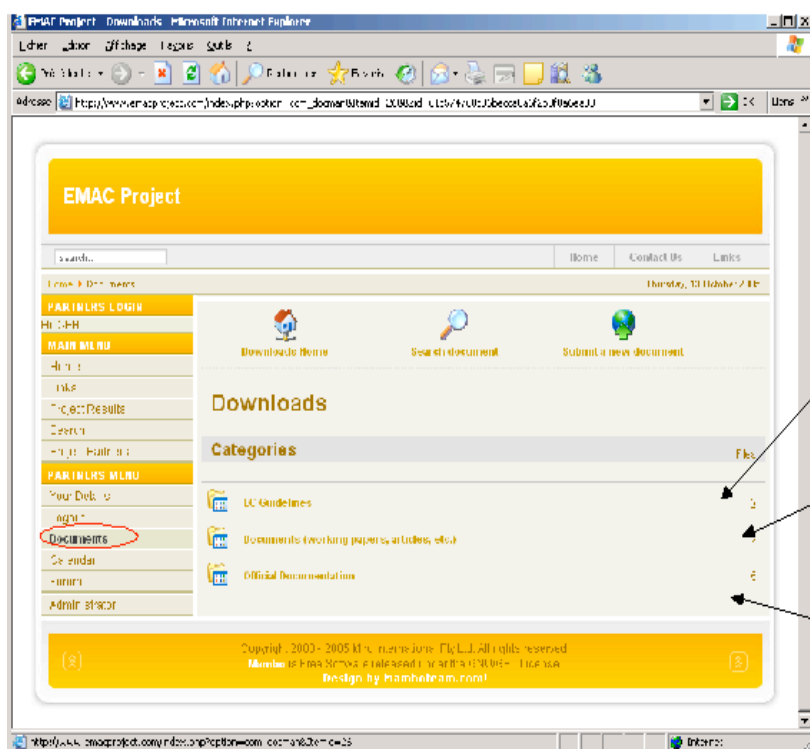
Paulin ajoute donc au site des fonctions qui renforcent MEMORY en tant qu'acteur social à part entière : côté public, MEMORY se définit par rapport à des projets concurrents. Il publie ses résultats. Côté privé, il tient à jour une liste de ses membres, il organise son forum comme un panneau d'affichage, sur lequel le chef de projet peut s'adresser aux autres membres.

Finalement, la version exploitable du site MEMORY est mise en ligne le 18 Octobre 2005, et est aussitôt annoncée par mél aux chefs de projet MEMORY. Est joint à ce mél une présentation du site qui en explique de façon abrégée et didactique le fonctionnement.

Illustration 9: Extrait du guide d'utilisation du site MEMORY
(20051019tutorialMEMORYwebsite)

Docman Application (1)

The Docman application allows partners to share documents. The current setting does not support files exceeding 5 Meg. The allowed formats are the following : .zip .rar txt .xls and .doc



You can download a document from one of the following folders or sub folders :

- EC Guidelines
- Documents
 - Internal Reports
 - On going publications before release
- Official Documentation
 - EC Statements
 - Reviews
 - Deliverables

Dans la foulée, Florent crée un code d'accès et un mot de passe pour les six chefs de projet représentant les autres partenaires du consortium, ainsi que pour Litang de la CE. Rapidement, Jim de SPARKS Innovation alimente la base documentaire avec un ensemble de documents officiels du projet. Dans les semaines qui suivent, quelques remarques au sujet du site émergent :

"(Jim quote) Did you have a look at the forum? What do you think about this tool?"

Perhaps, as leader of WP5 and 6 you will have some items to put in the future there... I hope this will be useful for you...

Uwe : I think it is a useful tool. We can for example use it to inform the partners about our current status on process integration..."

Extrait de 20051104M1, mél de Natalia du K. INSTITUT à Jim de SPARKS Innovation

Dans la réalité, le site - et en particulier le forum de discussion - est assez peu utilisé. Un plan d'action est alors mis en place pour inciter les membres du consortium à se faire connaître sur le site, à y interagir, à y poster leurs questions. Nous ne détaillons pas ici l'ensemble de ce plan d'action, qui nous écarterait de notre sujet, et les résultats obtenus. Mais nous pouvons conclure que, après plusieurs mois d'exploitation, **le site MEMORY a trouvé sa place dans le processus MEMORY, une place différente que celle imaginée a priori :**

- le site MEMORY n'est pas utilisé comme outil de collaboration entre membres du consortium. Les Fora de discussion, par exemple, pour lesquels 42 codes d'accès ont été créés, ne comportent en Novembre 2006 que 79 messages. Seules 18 personnes ont publié au moins une fois un message, et les trois plus gros contributeurs (Jim, Florent et Hector) ont publié à eux seuls 60,7% des messages...
- l'obtention d'un code d'accès et d'un password est souvent vue comme une marque d'adhésion au projet. Ainsi, Jim et Florent reçoivent régulièrement des demandes de création de codes d'accès lorsqu'une nouvelle personne doit participer, d'une manière ou d'une autre, à MEMORY. Ils créent ainsi un compte (à leur demande) pour l'agent comptable du LABO devant valider des déclarations de coûts, ou pour deux évaluateurs mandatés par la CE pour la revue de projet en Novembre 2006.
- la base documentaire est régulièrement utilisée par plusieurs chefs de projet, pour officialiser la fourniture d'un document, d'un article, d'un livrable. *"Le forum j'utilise pas. En revanche j'utilise l'outil pour les deliverables, parce qu'ils sont classés, triés par thème. Tous les rapports devraient y être"* (extrait d'un entretien avec Paulin).

Au final, on se rend compte que le site internet n'est pas un outil utilisé pour négocier, échanger, se coordonner au jour le jour. Par exemple, l'outil n'a pas permis que l'ingénieur en salle blanche du K. INSTITUT échange librement avec un chercheur du CENTRE SCIENTIFIQUE. Les raisons de la non acceptation de certaines fonctionnalités du site sont nombreuses, et leur compréhension nécessiterait un travail de recherche spécifique qui nous éloignerait de la présente recherche. Notons que, de l'avis même de praticiens habitués aux projets collaboratifs, il est très difficile de faire réellement interagir les scientifiques, les ingénieurs, les chercheurs, la coordination revenant souvent à un nombre limité de chefs de projets :

"Ce que veut l'Europe c'est faire des gens qui travaillent ensemble... Et sur tout les projets, c'est ce qu'on arrive pas a faire. ça ne marche pas. Chacun travaille dans son coin. [...] Je vois pas assez d'échanges. Si c'est pas spontané, c'est très difficile à imposer. Faudrait faire des échanges physiques de Thésards. Sans échanges physiques, y' a pas de communication réelle."

Entretien Paulin

Les Fora, par exemple, ne seront jamais utilisés pour réaliser le *Process Flow*, malgré les espoirs d'Hector (extrait de Mél 20051118) :

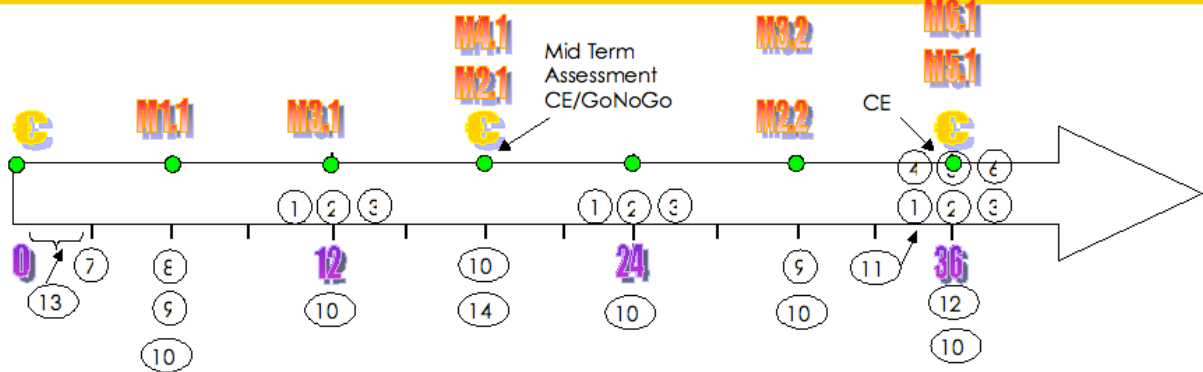
"Ok, j'ai posté la notice (NDLA : sur le Forum). Est-ce envoyé directement aux utilisateurs ? J'espère que ça sera un bon outil, j'ai du mal à gérer tous les reply des partenaires pour la mise à jour du process flow. »

En revanche, le site internet personifie le projet, pour ses participants comme pour l'extérieur. Il est un signe tangible de l'existence de MEMORY, en tant qu'entité sociale. Il est utilisé par les chefs de projet comme un lieu permettant d'officialiser leurs productions. Il a donc un rôle réel, mais pas celui attendu à priori.

10.2.5 Livrables et résultats

Le reporting dans un tel projet peut prendre des proportions très importantes. C'est d'ailleurs pour cette raison que, souvent, une entreprise spécialisée, ou bien un service spécifique, prend en charge la coordination de la rédaction de ces livrables, afin de préserver du temps utile de recherche pour les scientifiques. A titre d'exemple du poids de ce reporting, nous reproduisons ci-dessous un schéma présenté par Jim lors de la réunion de démarrage à Bruxelles (20050905MEMORYKICK OFF), qui expose l'ensemble des rapports devant être produits durant le projet MEMORY.

Schéma 27: Liste des livrables à produire durant le projet



- | | | |
|--|-------------------------|-----------------------------------|
| 1: Activity periodic report
(What has been done ?) | } Long Progress Report | 7: Project presentation |
| 2: Management periodic report
(costs & audits) | | 8: Management Plan |
| 3: Community periodic contribution
(How the EC money has been shared ?) | | 9: Light Progress reports |
| 4: Final Activity report 36 months | | 10: Dissemination Plan |
| 5: Final Management report 36 months | | 11: Marketing Plan |
| 6: Final Community Contribution 36 months | | 12: Technical Implementation Plan |
| | | 13: Project Web Site |
| | } Final Progress Report | 14: Mid Term Report |

La première réunion de consortium, après six mois officiels de projet, est l'occasion de faire un premier point. Il y a plusieurs aspects dans le suivi de l'avancement. Un point sur les progrès techniques, qui est orchestré par Hector et par Paulin, et un point administratif et financier, puisque l'on doit d'ores et déjà consolider les dépenses de chaque partenaire, et les comparer avec les budgets initialement prévus. Mais pour ce faire, les partenaires du projet sont censés envoyer régulièrement des rapports intermédiaires au coordinateur, afin que celui-ci puisse suivre l'avancée du projet au fil de l'eau. Or, ce reporting régulier est loin d'être fait... Paulin s'en inquiète officiellement dans un mél (20060303M1) envoyé à tous les partenaires.

"[...] j'avais personnellement, en tant que coordinateur du projet, demandé que chaque partenaire me fasse parvenir, chaque mois, une feuille de compte-rendu [...]. Tout cela ayant bien entendu pour but d'assurer un meilleur suivi du projet et de détecter très rapidement l'apparition de problèmes. A ce jour, tous les partenaires du projet, excepté le CENTRAL TECHNO et UNIVERSITE DES SCIENCES, se sont acquittés de cette tâche. [...]"

On saisi ici la difficulté de mettre en place un tel reporting au sein d'un consortium, et le peu de poids du chef de projet pour imposer une telle procédure.

Sur le plan technique, des problèmes apparaissent également :

"Le second point que je veux aborder est la fourniture par TRON, de wafer de 200 mm à SCANNEX pour que ce dernier étudie les procédures de décontaminations en espèces ferromagétiques et les quantifie.

A l'heure où j'écris ce message, il semble que SCANNEX n'a toujours rien reçu de TRON ce qui est extrêmement inquiétant pour la suite du projet. En effet, le Fraunhofer de Duisburg n'acceptera de plaquettes dans sa ligne de process que si la preuve formelle d'une absence de contamination a été fournie (ce que j'approuve totalement). [...] Aussi, si TRON est dans l'impossibilité de fournir ces wafer dans les plus brefs délais (une quinzaine de jours), je me verrai dans l'obligation, en tant que coordinateur, de trouver une autre source [...]."

Extrait de 20060303M1

Trois jours plus tard, Sébastien de l'UNIVERSITE DES SCIENCES réagit à ce mél (20060306M3)

"Concernant le reporting financier : à la demande des services administratifs du CENTRE SCIENTIFIQUE, nous avons en effet renoncé à fournir ces rapports mensuels étant entendu que ces services s'occuperont de la finalisation de ces rapports qui seront fournis en temps et en heure.

Concernant le deuxième point du message du coordinateur relatif aux plaques à fournir à SCANNEX, nous avons reçu cette demande (très cordiale d'ailleurs) seulement le 17 février. Nous nous efforçons actuellement d'y répondre sachant que notre équipement de dépôt en 200 mm est en panne (et oui ça peut arriver) et que nous sommes pour le moment obligé de faire appel à des partenaires extérieurs (y compris pour les autres projets) en attendant la remise en route de notre équipement. De plus, lors d'une réunion le 24 octobre 2005 entre SCANNEX, TRON et STARTER consacrée à la définition du type de plaques à fournir à SEMITTOL pour les études de dé-contamination, il n'a pas été possible de définir précisément les plaques nécessaires à l'étude : la couche de tantale servant habituellement de capping pour TRON n'était pas adaptée aux méthodes de nettoyage de SCANNEX. Par ailleurs, le Fraunhofer ne semblait pas accepter le risque de renoncer à cette couche de capping. Il reste donc sur ce point à trouver une solution qui soit techniquement acceptable par tous les partenaires. [...]"

On comprend alors que, pour ce qui est du reporting financier, **le chef de projet de l'UNIVERSITE DES SCIENCES** subi les contraintes de sa propres structure, à laquelle il est lui-même soumis pour produire les reportings demandés. Pour ce qui est de l'avancée technique, Sébastien fournit deux justifications complémentaires :

- d'une part, un équipement essentiel est en panne
- d'autre part, il subsiste une controverse technique sur le matériau candidat pour le capping layer

Il est donc, là encore, en partie soumis aux contingences de son laboratoire, et du matériel disponible dans son laboratoire. La machine en question est une Selinia, équipement dont nous aurons l'occasion de reparler dans la séquence suivante... Mais on comprend bien ici que le processus MEMORY est retardé du fait de l'indisponibilité de cette machine.

Malgré ces aléas, qui finalement font partie de la vie courante d'un tel projet, des wafer sont produits et circulent entre les partenaires, comme en attestent les rapports préparés pour la fin de cette période officielle de reporting, qui sont en préparation à partir de Septembre 2006 (le projet est découpé en trois périodes d'un an).

La réunion clef pour le projet sera celle tenue le 16 Octobre 2006 à Grenoble. Litang, Scientific Officer du projet, sera présent à cette réunion, et sera même accompagné de deux évaluateurs extérieurs. Nous avons choisi cette réunion comme borne à cette séquence : elle est l'occasion de faire le point, de rédiger des livrables de synthèse, de faire le compte de ce qui a été fait, découvert, produit durant cette première période. Elle est aussi l'occasion pour un grand nombre de membres du collectif participant au processus de se rencontrer physiquement.

Cependant, avant la fin de cette séquence, nous décelons les prémices d'une crise qui va amener le projet à se réorienter : **le 21 Septembre 2006, nous apprenons que Hector va déposer le Bilan de la société STARTER, qui va bien entendu quitter le projet MEMORY.**

Section 10.3 Les ingrédients dans cette Séquence

10.3.1 Les individus

Dans cette séquence, un grand nombre d'individus font leur apparition dans le processus, via leur implication dans le projet collaboratif MEMORY. Dans le site extranet dont nous venons de parler, 42 login et password ont ainsi été créés.

Le trio des individus très présent dans les séquences précédentes (Hector, Nikita et Florent) est toujours présent, mais son rôle a évolué :

- L'implication d'**Hector** reste très importante, comme nous venons de le voir. Il est le coordinateur technique du projet et c'est lui qui, au travers de la réalisation du *process flow*, anime les négociations entre partenaires.
- **Florent**, qui commence sa thèse et n'est plus employé qu'à temps partiel sur le projet, prend du recul par rapport au quotidien de MEMORY. Son implication reste importante de Mai 2005 à Février 2006, pendant la mise en oeuvre et le déploiement du site extranet.
- Durant cette séquence, **Nikita** quant à lui prend beaucoup de recul par rapport au projet. Ce n'est pas lui qui est le chef de projet pour le LABO, et il n'est pas le coordinateur du projet. Certes, il est l'inventeur du concept des eMram, mais il est aussi directeur du LABO, et son rôle n'est pas de suivre un projet en particulier.

Un personnage essentiel fait son apparition durant cette séquence, il s'agit de **Paulin**, qui est le chef de projet pour le LABO et aussi, du fait du rôle du LABO dans le projet, coordinateur officiel de MEMORY. Paulin est directeur de recherche au LABO. Il est un nouvel arrivant dans ce projet :

"Florent : Depuis quand connaissez-vous MEMORY ?

Paulin : J'ai pris le projet en route. Avant c'était Nikita. J'ai pris le train en Juillet 2005."

(Extrait entretien Paulin)

Mais il a une double compétence essentielle pour MEMORY : d'une part, il connaît parfaitement les questions de dépôts de couches minces et leurs applications dans le magnétisme :

"Y'a deux ans on a fait un changement de thématique vers le magnétisme. J'avais l'occasion d'être dans GREENFRUIT, un Medea plus (NDLA : il s'agit d'un projet collaboratif de recherche proche de la thématique du magnétisme). Et je faisais un labo avec SKRANK sur le magnétisme."

On voulait trouver une nouvelle façon de déposer des oxydes. SKRANK vend des bâtis qui font ce genre de dépôt. " (Ibid)

D'autre part, il a une longue expérience de la direction de projets collaboratifs et il a parfaitement conscience que son rôle de coordinateur diffère largement de celui de scientifique :

"On essaie de faire en sorte que le projet soit cohérent vu de l'extérieur..."

J'interagis un peu avec tout le monde. J'essaie de cibler mes messages, mes demandes, en fonction de ce qu'ils savent faire. Mon boulot est beaucoup derrière l'ordinateur.

Je suis aussi derrière les chercheurs ici en salle blanche. Si non ça part vers des choses qui n'ont pas de rapport avec le projet. C'est dur à manager. Ils regardent en fonction de leur intérêt, pas en fonction de celui du projet." (Ibid)

Durant cette séquence, Paulin contribue largement à l'avancée du projet (voir méls de relance plus haut) et est un ingrédient essentiel du processus, qui personnifie le projet, qui confère à MEMORY un autonomie en tant qu'entité sociale.

Il y a également un chef de projet pour chaque partenaire organisationnel, qui joue un rôle important à partir de ce moment du processus. Nous avons déjà cité Sébastien, Lisandro, Natalia. Nous faisons aussi la connaissance de **Vladimir**, de SCANNEX, de **Kevin** de l'Université d'ONYX et de **Youri** de SPARKS Innovation. Ces trois derniers sont les représentants légaux dans MEMORY de trois partenaires du projet.

- Le rôle d'Youri, qui a pris la direction de SPARKS Innovation en Mai 2005, va être important pour la rédaction de l'accord de consortium : Youri, docteur en Physique, a aussi passé vingt ans dans l'industrie de l'électronique, et il est rompu à la négociation de tels contrats.
- Kevin a été nommé chef de projet en charge de MEMORY, et il découvre le consortium lors de la réunion de Juillet 2005 à Marseille. Il a été désigné par sa hiérarchie et n'est pas connu des autres membres du consortium.
- Vladimir dirige la filiale française de SCANNEX. Il est donc basé en France, à Grenoble. C'est lui le représentant de SCANNEX dans MEMORY.

Il faut bien entendu parler de Litang, le Scientific Officer de la CE en charge du suivi de MEMORY. Son influence personnelle est patente dans le processus, puisque c'est à sa demande que l'on ajoute au projet un "Go NO GO" dans ce projet, ou que l'on explicite des spécifications pour les

mémoires visées. Il n'est donc pas seulement une fonction, le porte-parole légal de la CE : dans le cadre de son activité, il peut exprimer son avis personnel sur le projet et en influencer en partie le cours.

Au cours de cette séquence, bien d'autres individus entrent en scène, puisque chaque organisation engage ses équipes dans les travaux prévus dans le cadre du projet collaboratif. Compte tenu de notre dispositif d'observation, il nous est difficile de savoir avec précision qui participe au projet. Théoriquement, la liste est probablement très longue. Par exemple, lorsqu'une plaque de silicium est produite pour le consortium dans le cadre du projet, elle va passer par de multiples mains dans la salle blanche du K. INSTITUT : employés de logistique, techniciens, ingénieurs, chercheurs, l'intervention de très nombreux individus est nécessaire. Pourtant, pour nombre de ces individus, l'intervention sur MEMORY entre dans le cadre d'une activité routinière : pour le responsable de la logistique, par exemple, qui réceptionne les wafer vierges et les prépare avant leur entrée en salle blanche, rien ne distingue une plaquette MEMORY d'une autre plaquette, qui va donc être traitée conformément aux procédures de production en vigueur dans cette organisation. Il en va autrement, en revanche, d'un certain nombre d'autres intervenants, qui participent directement à la mise au point de cette nouvelle mémoire, et aussi à la mise au point de nouvelles technologies de production. D'ailleurs, comptablement, dans le reporting fait à la CE, la distinction entre ces deux types de contributions existe : les premières sont considérées comme des coûts de structure, alors que les deuxièmes, enregistrées comme des coûts additionnels, ouvrent des droits à une subvention.

Nous retrouvons trace de ces coûts additionnels dans les reporting financiers établis par les partenaires. La plupart de ces intervenants ont d'ailleurs un code d'accès au forum MEMORY, même s'ils n'y contribuent pas. Enfin, certains de ces contributeurs sont en copie des méls des chefs de projet. On a par exemple **Al** de SCANNEX dont la contribution est importante, puisque c'est lui qui met au point un procédé de décontamination pour permettra aux plaques traitées au CENTRAL TECHNO d'être acceptables par le K. INSTITUT. Il y a également **Rémy**, un chercheur du CENTRAL TECHNO présent en salle blanche, qui est "mis dans la boucle" dans la plupart des échanges techniques et qui participe à la réunion de Duisburg après six mois de projet. Il faut noter aussi la présence et la **contribution essentielle de jeunes chercheurs dans cette séquence**, comme **Tommy** (post doctorant à AUSTRIAN) ou **Barnard** (Post doctorant au CENTRE SCIENTIFIQUE), qui ont été recrutés spécifiquement dans le cadre de MEMORY, et qui comptent parmi les rares ressources allouées à plein temps sur ce projet.

Enfin, dans cette séquence, des personnels administratifs sont mis à contribution, comme par exemple une employée de la cellule de valorisation du LABO, qui est impliquée dans le calcul des

coûts éligibles lors de la préparation des contrats. Avec l'institutionnalisation de MEMORY, son financement à venir, le processus ne touche plus seulement des scientifiques : il entraîne avec lui des juristes, des financiers, qui établissent les conditions de participation de leurs organisations à MEMORY, qui consolident aussi les éléments

10.3.2 Les Organisations

Il y a officiellement neuf partenaires organisationnels dans ce consortium :

- Le **LABO** est là depuis le début de ce processus, et il est le coordinateur officiel de ce projet. C'est donc lui qui reçoit la subvention et qui la répartit aux partenaires du projet, et lui qui représente officiellement MEMORY pour la CE. C'est donc dans cette séquence un ingrédient central.
- **AUSTRIAN** est un nouveau venu dans cette séquence, puisque ce centre de recherche ne figurait pas dans la proposition et n'était pas un ingrédient de la séquence précédente. Mais AUSTRIAN emploie Lisandro et son équipe, et est ainsi un invité de dernière minute dans MEMORY.
- Le **K. INSTITUT** de Duisbourg occupe une place particulière dans ce consortium, parce qu'il possède une salle blanche capable de produire des mémoires finies sur des wafer de 200 mm. Il héberge aussi la réunion de coordination après six mois de projet. Enfin, ayant une orientation vers la recherche appliquée et l'industrie, le K. INSTITUT pourrait commercialiser des mémoires eMram sur certaines niches.
- **L'UNIVERSITE DES SCIENCES** apparaît de façon explicite seulement dans cette séquence : en réalité, cette université forme une unité mixte de recherche avec le CENTRE SCIENTIFIQUE, et met des ressources en commun dans TRON, un laboratoire que nous avons déjà eu l'occasion d'évoquer. Mais TRON n'ayant pas les statuts d'une personne morale indépendante, il n'apparaît plus officiellement en tant que tel dans le consortium, mais reste présent en filigrane, au travers de L'UNIVERSITE DES SCIENCES et du CENTRE SCIENTIFIQUE.
- le **CENTRAL TECHNO** est un très grand centre de recherche public et possède des installations et des salles blanches. En revanche, il n'a pas la capacité à produire des wafer finis. Son apport sur ce projet porte sur les dépôts de matériaux. La réunion après un an de projet est organisée dans ses locaux à Grenoble.
- **L'Université d'ONYX** est le laboratoire d'analyse de ce projet. L'apport est essentiel pour le processus, puisque c'est à partir des analyses réalisées par ONYX que l'on peut évaluer le potentiel

des différents matériaux candidats (ou dit autrement, que 'on peut donner un statut à des éléments de C).

- **SCANNEX**, partenaire industriel, a une tâche spécifique dans le projet, car il collabore étroitement avec TRON (donc le CENTRAL TECHNO et l'UNIVERSITE DES SCIENCES) pour la mise au point de techniques de dépôts de couches minces.
- **STARTER**, organisation créée au début de ce processus, est la seule organisation dont le projet MEMORY est la principale tâche. Outre la coordination technique et l'exploitation future des eMram, les ingénieurs de STARTER (il y a deux autres employés en plus d'Hector) doivent mettre au point les règles de design des circuits imprimés basés sur la technologie eMram.
- **SPARKS INNOVATION**, qui souhaitait avoir un rôle secondaire dans MEMORY, est finalement plus impliqué que prévu : mise en place du site extranet, coordination du reporting, de la rédaction des contrats, l'entreprise assure nombre de tâche administratives et fait l'assistance du LABO dans la coordination du consortium.

A partir du reporting de fin de période, comme par exemple le "Activity Periodic Report" de la fin de première année (20060929D6M1T Activity Periodic Report), on peut avoir une bonne idée de qui a fait quoi entre Septembre 2005 et Septembre 2006. On comprend alors que, derrière chaque matériaux candidats, il y a des partenaires bien particuliers, qui maîtrisent et défendent telle ou telle option (tel ou tel embranchement dans C), et que le choix de se focaliser sur huit combinaisons de matériaux est lié au compétences particulières de trois partenaires :

Le LABO, qui a développé des dépôts de couches minces à froid, souhaite tester les oxydes d'Aluminium pour l'isolant, et Co pour le ferromagnétique. AUSTRIAN, assistés de EXPERT, leur fournisseur de technologies, testent le MgO en isolant et des alliages à base de Co pour la couche ferromagnétique. TRON (ou CENTRAL TECHNO et UNIVERSITE DES SCIENCES) testent quant à eux des Oxydes de Silicium pour l'isolant et NiFe comme matériau, grâce à la contribution spécifique de SCANNEX sur ces méthodes (le dépôt de TRON n'est acceptable en salle blanche qu'après une complexe décontamination qui doit être mise au point par SCANNEX). On comprend alors que **les huit embranchements de C qui sont testés dans cette première année de projet, sont "tenus" par des partenaires différents.**

La **Direction de le Recherche de la CE** est une organisation capitale a ne pas oublier non plus dans cette séquence : elle accueille la réunion de démarrage, finance le projet, impose des règles de gestion, un contrat type, une temporalité au projet.

Nous avons évoqué plus haut une requête spécifique de la CE, qui demandait à ce qu'un *advisory board* regroupant des industriels majeurs puisse suivre ce projet. Durant cette séquence, ce bureau ne va pas se réunir. En revanche, SPARKS INNOVATION contacte des acteurs majeurs, comme **ST Microelectronics** ou **Atmel**, avec qui des négociations sont alors en cours (elle portent principalement sur la signature demandée par le consortium MEMORY d'un accord de confidentialité).

Enfin, il existe dans cette séquence un nouvel ingrédient que l'on pourrait classer dans la catégorie "organisation" : le **consortium MEMORY** lui même. Ce consortium dispose de ressources financières, de moyens de coordination (comme le site extranet) et d'une structure de gouvernance, avec un Comité de Pilotage regroupant les divers chefs de projet.

10.3.3 Les liens

Dans nos données, un type de lien apparaît de façon évidente, celui **unissant entre eux les membres du groupe restreint des chefs de projet**. Ils sont par exemple souvent associés dans les méls venant de SPARKS Innovation ou du LABO concernant des questions de coordination :

" De : Jim@SPARKS-innovation.fr

Objet : PUDK & meeting in K. INSTITUT

Date : 13 février 2006 15:08:05 HNEC

*À : amit@materials.ox.ac.uk, sébastien@drfmc.ceng.CENTRE SCIENTIFIQUE.fr,
Hector@STARTER.fr, fatima@CENTRE SCIENTIFIQUE.fr, paulin@LABO.fr,
Lisandro@AUSTRIAN.ac.at, Vladimir@SCANNEX.com, natalin@ims.K. INSTITUT.de*

Cc : Florent@SPARKS-innovation.fr, Youri@SPARKS-innovation.fr"

Compte tenu de notre position d'observation (chez SPARKS Innovation, nous sommes par définition aux interstices entre les partenaires), il n'est pas étonnant que ce sont ces liens entre chefs de projet qui émergent principalement dans nos données. Ce lien interindividuel entre les chefs de projet est central dans la coordination du consortium. C'est par ce lien que transitent les compte rendus, les demandes de reporting, les relances, l'organisation des réunions, etc. C'est sur ce réseau des

chefs de projet qu'est centralisée la mise au point du process flow. On peut considérer que **c'est sur ce coeur de réseau que la conception est réalisée**, que le statut des propositions est négocié, une fois que les contraintes des uns et des autres ont été synthétisées, et que les connaissances réparties dans le consortium ont été prises en compte, traduites et "rapportées" dans ce coeur de réseau.

Si l'on mesure la fréquence avec laquelle ce lien est utilisé dans cette séquence, on constate qu'elle est en nette augmentation depuis le début de ce projet, en particulier depuis Septembre 2005 : les chefs de projet doivent préparer leurs rencontres, ils sont relancés pour la préparation des livrables, ou bien se contactent pour trouver des solutions aux problèmes qui commencent à se poser. En utilisant la fréquence d'utilisation des liens comme critère de mesure, on peut dire que **les liens entre chefs de projet se renforcent à l'occasion de ce projet**.

Cependant, **il existe aussi des liens que l'on peut qualifier des "transverses"** : tous les échanges entre organisations, dans le cadre de ce projet, ne transitent pas par les chefs de projet. Certains experts ou ingénieurs communiquent directement entre eux dans MEMORY, comme par exemple un ingénieur de SCANNEX et un scientifique de TRON :

"Al: je me rends compte que Rémy est la véritable interface. C'est celui que j'appelle, le seul interface vers la salle blanche."

Extrait d'un compte rendu de réunion téléphonique (20070117 Notesobservation)

Al, ingénieur à SCANNEX, doit mettre au point un procédé de décontamination des wafer traités par TRON, afin qu'ils puissent entrer par la suite dans la chaîne de production de K. INSTITUT. Al, pour mettre au point le procédé visé, a besoin de comprendre la nature des contaminations à traiter. Or, il ne parvient pas à obtenir cette information de la part des chefs de projet de TRON (Sébastien et Fatima). Il contacte donc directement Rémy, qu'il connaît personnellement depuis longtemps, SCANNEX équipant déjà la salle blanche de TRON.

Il existe peut-être d'autres liens de ce type, mais d'une part, ils échappent en partie à notre dispositif d'observation, et d'autre part, d'autres témoignages nous indiquent qu'il ne sont probablement pas très nombreux :

Florent : Avec qui avez-vous besoin de communiquer pour réaliser votre Job dans MEMORY ?

Zacharia : J'ai beaucoup de contacts et de mélanges de connaissances. Pas nécessairement avec les gens du projet MEMORY. Les gens locaux déjà, on a nos spécificités. Le plus d'interactions

c'est avec les chercheurs du labo ici. On a besoin de parler de nos problèmes, de nos interrogations. On parle avec les spécialistes des matériaux ici.

Mes échanges avec l'extérieur, a part recevoir des échantillons du K. INSTITUT, c'est tout."

Extrait de l'entretien avec Zacharia

On comprend ici que, dans un tel projet, une part importante du travail nécessite d'agir localement, avec des installations, des collègues, et que le contact avec des équipes lointaines et inconnues n'est pas toujours une nécessité. Le cas du lien entre Al et Rémy cité plus haut est particulier : il est rendu nécessaire parce que le wafer produit, celui qui entrera au K. INSTITUT avec une couche d'oxyde décontaminée, doit être fabriqué à la fois par TRON et par SCANNEX. Cet artefact commun nécessite donc une collaboration, l'activation de liens interindividuels, entre deux spécialistes. Et on constate que, dans ce cas, le lien préexistait au projet MEMORY.

10.3.4 les communautés

La remarque ci-dessus de Zacharia attire notre attention sur le rôle des communautés dans cette séquence. On comprend que, dans chaque laboratoire (en particulier LABO, TRON et AUSTRIAN), des matériaux différents vont être testés. Chacun va donc tenter de mettre au point une technique de dépôt pour constituer le FEM sur la base de wafer structurés par le K. INSTITUT. Il faut donc, dans chacun de ces laboratoires, créer des connaissances sur la meilleure façon de faire de tels dépôts. Localement, des chercheurs sont engagés sur ces questions de recherche, ils mettent au point des protocoles expérimentaux, lisent la littérature, interagissent avec leurs collègues, leurs étudiants, en particulier avec des post-doctorants recrutés spécialement sur le projet. L'application de leurs travaux sur les matériaux dans l'électronique représente parfois une innovation pour eux :

"[...] C'est presque du fondamental. Ensuite, on va regarder, à l'échelle atomique, ce qui va se passer. Je n'ai jamais fait de travaux sur les mémoires en fait. Juste les matériaux : les dépôts de matériaux, leur croissance, etc. C'est un problème nouveau pour moi - c'est le transport des électrons - et qui m'intéresse. C'est intéressant pour moi."

Extrait entretien Zacharia

De plus, ce travail de recherche est éminemment collectif, et permet de traiter de question intéressant plusieurs chercheurs et étudiants : il est ainsi souvent fait référence au collectif, au "nous" au "on", pour désigner le groupe d'appartenance du chercheur (mots surlignés en gras par l'auteur) :

"Nous on est payés pour publier [...]. Si je me lance dans une étude, je vais jusqu'au bout pour pouvoir faire mon papier. C'est aussi essentiel pour mon étudiant. (NDLA : il vient de pousser la porte), dans l'objectif de son reclassement futur.

En plus, quand on démarre sur quelque chose, on tombe sur d'autres perspectives de recherche."

(Ibid)

L'importances de ces communautés de chercheurs, travaillant collectivement autour d'une installation, y créant des connaissances, **a aussi une dimension péjorative pour l'avancée du processus.** Par exemple, une communauté de scientifiques peut donner une grande importance à des observations nouvelles, parce qu'elles offrent des perspectives plus fondamentales du point de vue des connaissances :

"Par exemple, on a vu un effet étonnant. L'aluminium se mélange sur deux plans atomiques avec le Silicium. Après l'oxydation, le tout se lisse... L'oxyde se comporte comme une peau et mouille toute la surface. [...] On a vu aussi des "bulles" sous la couche. Donc là on s'est écartés de ce que l'on nous demandait de faire. [...]." (Ibid).

Ainsi, la communauté des scientifiques réunie dans un laboratoire peut être tentée de suivre une piste d'investigation, prometteuse de son point de vue... même si elle n'a que peu de rapport direct avec le projet permettant de financer cette recherche :

"Je suis aussi derrière les chercheurs ici en salle blanche. Si non ça part vers des choses qui n'ont pas de rapport avec le projet. C'est dur à manager. Ils regardent en fonction de leur intérêt, pas en fonction de celui du projet."

Extrait entretien Paulin

Le chef de projet doit donc composer avec ces communautés : il profite bien entendu de leur faculté à créer des connaissances utiles pour le projet, mais il doit aussi prendre en compte **la tendance de ces communautés à suivre leurs propres questions de recherche.**

Il existe aussi des communautés plus larges, que l'on peut qualifier de **communautés épistémiques**, auxquelles les chercheurs appartiennent et qui sont également des ingrédients du processus MEMORY. Par exemple, les rapports produits lors de ce projet, les discussions techniques sur les fora, ou dans les méls, reposent sur un répertoire commun, un champs lexical comportant de nombreux termes anglo-saxons propres aux domaines de l'électronique et des matériaux. Nous trouvons ainsi

dans nos données des termes spécifiques à cette communauté, comme *wafer*, *stack*, *oxyde channel*, *layer* ou encore des acronymes comme *PVD*, *CVD*, qui forment un jargon scientifique difficile à comprendre lorsque l'on est pas soi même membre de cette communauté.

L'existence de cette communauté scientifique, son couplage au processus MEMORY via la participation active de scientifiques importants du domaine comme Nikita ou Lisandro, a un effet positif sur ce projet. Cela permet d'avoir un base scientifique commune et partagée, qui favorise la coordination du projet. Mais le fait que les connaissances nécessaires au projet sont encadrées dans des communautés scientifiques peut aussi avoir un versant négatif. Par exemple, il y a des "allant de soi" dans une communauté, même dans une communauté scientifique : des technologies jugées dépassées, d'autres considérées collectivement comme des options d'avenir, ce qui va orienter les choix *a priori*. Par exemple, dans le concept eMram proposé depuis 2004 on a souvent mis en avant des couches ferromagnétiques basées sur des alliages à base de cobalt, car cela semblait une bonne option compte tenu de l'état de l'art de l'époque. Or, on se rend compte durant le projet que sur des couches très minces d'oxyde (pour la barrière isolante), le cobalt diffuse dans le Silicium, ce qui n'est pas conforme aux spécifications du FEM recherché. Or, il se trouve qu'il y aurait eu d'autres options que le Cobalt :

"Par exemple, sur le magnétisme, je ne sais pas si le Cobalt est la meilleure solution. Nous on a des DeltaR/R faibles. Mais avec des alliages HEUSLER on a des DeltaR/R de 300% . Ca ça relance les MRAM. C'est sorti en 2005 ou 2006. Ces alliages ont été étudiés dans les années 50. Juste en recherche fondamentale. Quelque part, j'ai failli dans la biblio, et nous tous sur le sujet, de ne pas avoir vu ça."

Entretien Zacharia

Mais ces autres options scientifiques, basées sur des travaux anciens, n'étaient plus dans les connaissances de référence de cette communauté en 2004.

10.3.5 Appareillages techniques

Dans cette séquence, les installations techniques entrent massivement en jeu. D'abord par anticipation : lorsque Hector cherche à rédiger le *Process Flow*, il doit prendre en compte des contraintes directement liées aux caractéristiques de ces dernières. Par exemple, un wafer ne peut pas entrer en salle banche s'il comporte certains matériaux, considérés comme des contaminants. Les installations existantes sont donc invitées dans la conception, parce qu'elles contribuent à donner un statut à certains embranchements de C.

A partir des rapports de fin de période produits par les membres du consortium, dans lesquels les partenaires détaillent leurs travaux, on peut avoir une idée de la variété des installations sollicitées à partir de Septembre 2005 pour produire les échantillons prévus dans MEMORY. Une lecture détaillée du rapport d'activité produit à un an (20060929D6M1T Activity Periodic Report) permet par exemple d'identifier des appareils hautement spécialisés :

- un appareil de lithographie par faisceau d'électrons (*e-beam lithography*) est utilisé par TRON pour un dépôt de matériaux.
- une chaîne de production CMOS en salle blanche au K. INSTITUT est mobilisée pour produire les wafer.
- une chambre de pulvérisation cathodique par Magnétron (*Magnetron sputtering chamber*) est utilisée à AUSTRIAN pour des dépôts de MGO.
- Un *TEM*, ou Microscope par Transmission d'Electrons est utilisé à ONYX pour évaluer les caractéristiques des couches minces produites par les partenaires du consortium.

Bien entendu, de telles installations techniques nécessitent l'utilisation de nombreux consommables, ou le changement régulier de certaines pièces au cours d'opération de maintenance. Un exemple de ces nombreux consommables nous est donné dans le DOW, dans la description de l'équipement de SCANNEX (20050929 DOW) :

*"This tool is composed of multiple reactors allowing to process electrodeposition Cu (ECD), Electroless deposition (including surface pre-treatment and surface activation process chambers) and Back-side/bevel edge clean (Capsule Chamber). The 3-year development program will require a **number of consumables to be used on the tool:** spare parts (seals, pumps, and electronic parts that may fail during the 3 years), chemicals (electrolyte, electroless baths, organic additives, etc..) and consumable parts like Cu anodes, electrical contacts, filters, etc.."*

Ces équipements, nécessaires au déroulement du processus MEMORY, fixent aussi leurs propres limites. D'abord parce que certains de ces équipement sont eux même en cours de conception, qu'ils sont au stade expérimental (mots surlignés en gras par l'auteur) :

"it is foreseen to develop an alternative technique based on metal organic chemical vapor deposition using metallocenes in order to solve the important problem of deposition into sub 100

nm boxes. For this purpose an experimental setup will be fabricated in order to test the availability of this process for the different species involved in the MRAM structures. "

Extrait de 20050929 DOW, partie décrivant la contribution du LABO

Ensuite, parce que même opérationnels, les équipements présents dans le consortium peuvent n'être pas suffisants. Ainsi, Paulin regrette l'absence d'un partenaire disposant d'équipements précis pour faire certaines mesures électriques sur les échantillons produits :

"Sur MEMORY, j'aurais fait autrement [...]. On aurait eu plus besoin d'un labo centré sur la caractérisation électrique."

Extrait entretien Paulin.

Mais il n'y a pas, en 2005, un tel équipement dans MEMORY, ce qui peut limiter la compréhension du fonctionnement de certains échantillons produits durant le projet...

Enfin, des équipements pèsent sur le processus, tout simplement parce qu'ils s'avèrent être indisponibles. C'est le cas d'un équipement utilisé habituellement par TRON, devant être mobilisé pour produire des dépôts sur les wafer :

"Paulin : vous avez des difficultés pour fournir les plaquettes..."

Hervé : J'ai pas de solution... La façon la plus simple, la EXPERT de FLOWER en Allemagne. Pas eu temps. Machine pas opérationnelle. Machine remontée en France en Avril. On aura pas de temps machine avant Mai.... Faut donc trouver solution d'ici là."

Extrait de notes prises lors d'une conférence téléphonique à SPARKS Innovation (20070117Notes)

Si l'observation relatée ci-dessus date de janvier 2007, elle concerne bien des événements concernant la séquence qui nous intéresse ici. Le problème est le suivant : TRON ne peut pas livrer les plaquettes à SCANNEX, parce que les scientifiques de TRON n'ont plus l'accès à un équipement permettant de faire le dépôt initialement prévu (un machine de type Selinia). Pourquoi ? Parce que le CENTRAL TECHNO a tout simplement décidé de démanteler cette installation, qui sera remplacée à terme par un équipement EXPERT... Equipement qui n'est pas opérationnel en 2006, et ne sera disponible qu'en 2007.

On voit ici le poids d'un appareillage technique manquant, qui vient perturber le cours prévu du processus.

10.3.6 Dispositifs de coordination

Les dispositifs de coordination sont essentiels dans cette séquence, à tel point que nous avons déjà décrit avec précision l'importance de deux d'entre eux : le *process flow* et le *site extranet*.

Le *process flow*, et en particulier sa mise au point collective au début du projet, a été l'occasion de faire avancer l'effort collectif de conception. Mais il est aussi utilisé pour coordonner le travail à venir, en décrivant les étapes de fabrication devant être suivies par les différents partenaires pour construire les prototypes de eMram. C'est un document de référence, qui permet à chacun de savoir ce qui doit être fait.

"Attention, SCANNEX a reçu ses échantillons de TRON. Là on parle d'ONYX... je pense qu'ils attendent les leurs de quelqu'un d'autre... je vais regarder le process flow d'Hector."

Extrait de 20060523M1, où Jim se réfère au Process Flow

Le fait qu'il ait été mis au point collectivement, et non simplement imposé par le coordinateur du projet, en fait d'ailleurs un objet pivot, on pourrait dire un objet réifié pour tous les membres du collectif participant au processus. Ce process flow est d'ailleurs un livrable officiel du projet MEMORY et il est soigneusement mis à jour durant le projet, et mis à disposition sur le serveur extranet de MEMORY.

Le *site extranet* est lui aussi un dispositif de coordination important pour MEMORY : s'il n'est pas l'agora ouvert auquel les coordinateurs avaient rêvé, l'espace de coordination entre les membres du projet, il n'en est pas moins le panneau d'affichage officiel du consortium. C'est sur ce site que les livrables et les rapports sont publiés officiellement par les divers chefs de projet. De plus, l'obtention d'un code d'accès à ce serveur est vue comme une étape importante d'officialisation de la participation d'individus à MEMORY :

"Dear Jim

Vlado has started work on the MEMORY project. Could you please send him details (vlado@materials.ox.ac.uk) regarding how to log on to the MEMORY web site?

Thank you for your help,

Kevin"

Extrait de 20051205M1, mél de Kevin d'ONYX à Jim.

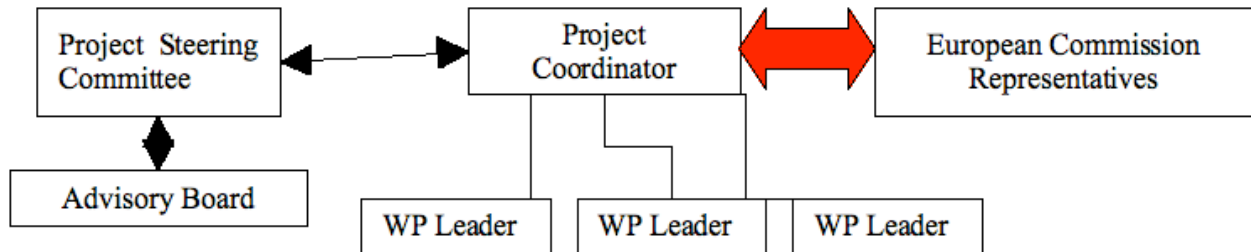
Pour ce qui est de la coordination quotidienne, les ajustements directs entre partenaires, les dispositifs les plus courants sont le Mél, le téléphone et les réunions physiques.

- Nous avons eu l'occasion, dans cette section, de reproduire de multiples échanges par Méls entre partenaires. Bien souvent, ces échanges ont lieu entre plusieurs individus : le coordinateur du projet s'adresse à plusieurs partenaires, qui répondent à leur tour en mettant en copie l'ensemble des destinataires du message précédent. C'est l'un des avantages du Mél que de permettre d'impliquer plusieurs personnes dans les débats. Il existe d'ailleurs, sur le serveur extranet, une liste mise à jour des chefs de projet, avec leurs téléphones et leurs méls (20051212 MEMORY Contact List.pdf), que chacun peut télécharger et utiliser dans ce projet.
- Le téléphone est également utilisé, en particulier pour des résolutions de problèmes. Dans ce cas, des **conférences téléphoniques** sont organisées, qui permettent de réunir plusieurs partenaires sur un point particulier (voir par exemple plus haut l'échange au sujet du démantèlement de la Selinia au CENTRE SCIENTIFIQUE)
- Dans cette séquence, quatre réunions permettent à l'ensemble des partenaires de se rencontrer physiquement : une première à Marseille, en Juillet 2005, la réunion officielle de lancement en Septembre 2005 à Bruxelles, la réunion intermédiaire de MEMORY à Duisbourg en Mars 2006, et la réunion de fin de première période à Grenoble en Octobre 2006.
- Enfin, des partenaires se rencontrent physiquement hors de ces réunions de consortium, pour se coordonner sur des points particuliers. Par exemple, les contributeurs du LABO, de STARTER et de SPARKS se rencontrent régulièrement durant cette période, pour préparer le reporting, mettre en place le site extranet, faire le point sur l'avancement des travaux, etc. La proximité géographique de ces trois partenaires (qui sont tous dans le Sud de la France) et leur implication directe dans la coordination du consortium explique cela.

Enfin, le consortium MEMORY dispose de structures de gouvernance qui ont été contractuellement établies lors du démarrage officiel de ce projet, et qui figurent dans le DOW annexé au contrat de partenariat. Outre un organigramme opérationnel du projet, qui montre que les responsables de lots doivent en théorie rendre des comptes au chef du projet (ou coordinateur), il existe en parallèle un comité de pilotage du projet (Steering Committee), où siège un représentant de chaque partenaire organisationnel. Ce Steering Committee est l'endroit où peuvent être prises les décisions stratégiques pour le consortium. Concrètement, dans le cas de MEMORY, ce Steering Committee est

composé par les chefs de projet désignés pour chaque partenaire. Durant cette séquence, il se réunira trois fois, à l'occasion des réunions de consortium.

Schéma 28: Structure de Gouvernance du consortium selon le DOW



10.3.7 Incriptions

Il y a un foisonnement des inscriptions durant cette séquence. Il est probable que toutes n'ont pas été identifiées par notre dispositif d'observation, mais nous avons quand même une bonne idée de la variété de celles-ci grâce à notre accès à la base documentaire du site extranet MEMORY. Sur les 77 documents postés dans la base documentaire, 50 ont été postés durant cette séquence. 22 sont classés dans la catégorie "working papers" et 28 dans la catégorie "official documentation", qui comporte les livrables obligatoires. Les documents sont très divers : il y a des projets d'articles scientifiques ou des posters, présentés par des membres du projet lors de conférences. On y trouve des rapports d'analyses menées par ONYX sur les échantillons, des comptes rendus d'activités ou encore des rapports de fin de période dûs à la Commission Européenne.

Les rapports de fin de période nous semblent particulièrement intéressants : ils sont souvent consolidés par SPARKS, à partir de rapports fournis par les partenaires. Ces rapports sont eux-mêmes fabriqués à partir d'autres inscriptions : graphes, épreuves numériques sorties d'instruments de mesures, clichés, etc. Ainsi, si l'on observe un rapport d'activité de fin de période, comme par exemple un "periodic activity report", on découvre **une inscription faisant la synthèse d'autres inscriptions**, issue d'un long travail de synthèse, de relances, de compilation.

Illustration 10: Extraits d'un rapport intermédiaire (20050929 D6M12 Activity Periodic Report)

The effect of annealing apparently did not change either the morphology or structure of the deposited films, as shown in the HRTEM image, Fig. 31 (see results of as-deposited structure in the WP3 report). The structure of the MgO layer remains amorphous as well as that of the ferromagnetic CoFeB layer. The HRTEM image of the ferromagnetic layer shows lighter contrast at the bottom of the layer compared with the rest of it.

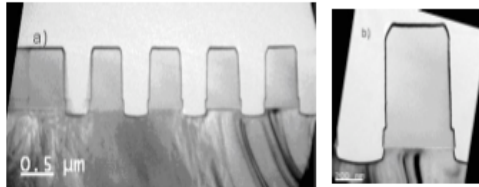


Figure 30 : BF TEM images from the patterned trenches on Si/SiO₂

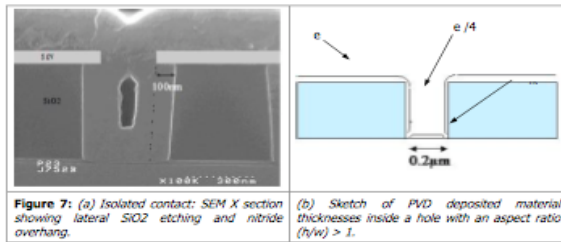


Figure 7: (a) Isolated contact: SEM X section showing lateral SiO₂ etching and nitride overhang. (b) Sketch of PVD deposited material thicknesses inside a hole with an aspect ratio $(h/w) > 1$.

Using Physical Vapour Deposition (PVD) techniques to fill CT holes, results in not uniform material thicknesses around small holes (see above right picture): deposited thickness is reduced at hole's bottom and even more on hole's edges.

We take into account this phenomenon and have increased the nominally deposited ferromagnetic (NiFe) material thickness ($e=20\text{nm}$) so that the $e/2$ value is equal to the expected thickness (10nm) in the MIS stack inside small CT holes. Same strategy is applied to the TaN subsequent layer (NiFe capping and barrier layer).

Remark: The actual morphology of the PVD deposition on CT edges (much reduced thickness, possible discontinuity at bottom corners) may be considered of second order as MIS functionality is mainly linked to the bottom of the hole.

Dans l'extrait ci-dessus par exemple, nous voyons comment le chef de projet de AUSTRIAN (partie gauche) insère des clichés issus de leur appareil de mesure (le TEM), qui sont des inscriptions produites dans le cours du projet, en appui de son argumentation. Quelques pages plus loin, ce sont des clichés issus d'un microscope électronique utilisé par le K. INSTITUT qui sont convoqués. Toutes ces inscriptions se trouvent assemblées dans un état d'avancement unique, qui tente de refléter le travail du consortium MEMORY vu comme une entité indépendante. Derrière la création de ce rapport, de cette inscription unique, il y a donc le travail de tout le consortium qui se révèle.

10.3.8 Financements

A partir de Septembre 2005, un premier versement est effectué par le CE au profit du consortium MEMORY. Ce premier versement, qui est une avance correspondant à 80% des coûts éligibles du projet pour cette première période d'un an, est transféré au LABO, qui répartit ensuite le financement au prorata de la participation théorique de chaque partenaire. Ainsi, dès Septembre 2005, le consortium MEMORY bénéficie d'un financement propre.

Ce financement ne couvre pas l'ensemble du budget du projet : une subvention de 1,8 millions d'euros est allouée pour un budget total de 3,2 millions d'euros sur trois ans. **La différence est financée directement par les partenaires**, qui engagent sur MEMORY des installations et des équipes payées grâce à leurs propres budgets de fonctionnement (pour les laboratoires) ou avec leurs fonds propres (pour les entreprises).

Ce financement de la CE n'est pas sans contrepartie : les partenaires s'engagent sur un programme de travail et sont mutuellement responsables via un contrat de partenariat. De plus, ils doivent fournir chaque année un "Audit Certificate" c'est à dire un état des dépenses affectées au projet validé

par un auditeur externe (un cabinet d'audit pour les entreprises, ou un agent comptable indépendant pour les partenaires publics). L'existence de cette procédure de validation des coûts impose donc la mise en place de procédures spécifiques de suivi des coûts MEMORY chez chaque partenaire. Le projet MEMORY, du fait de ce financement, devient donc aussi une ligne de comptabilité analytique chez chacun des partenaires.

Ce budget de plus de trois millions d'euros comporte en grande partie des coûts de personnels (à plus de 70%) et des coûts de consommables (plus d'une centaine de wafer seront produits durant ce projet). Le reste du budget comporte l'amortissement des installations utilisées, des coûts "de structure", qui permettent de prendre en compte l'intervention d'autres services des organisations concernées (comme les services financiers et juridiques) et enfin des coûts de déplacement nécessaires pour l'organisation des réunions de consortium (ce qui est un coût marginal dans ce projet).

Section 10.4 Le véhicule dans cette séquence

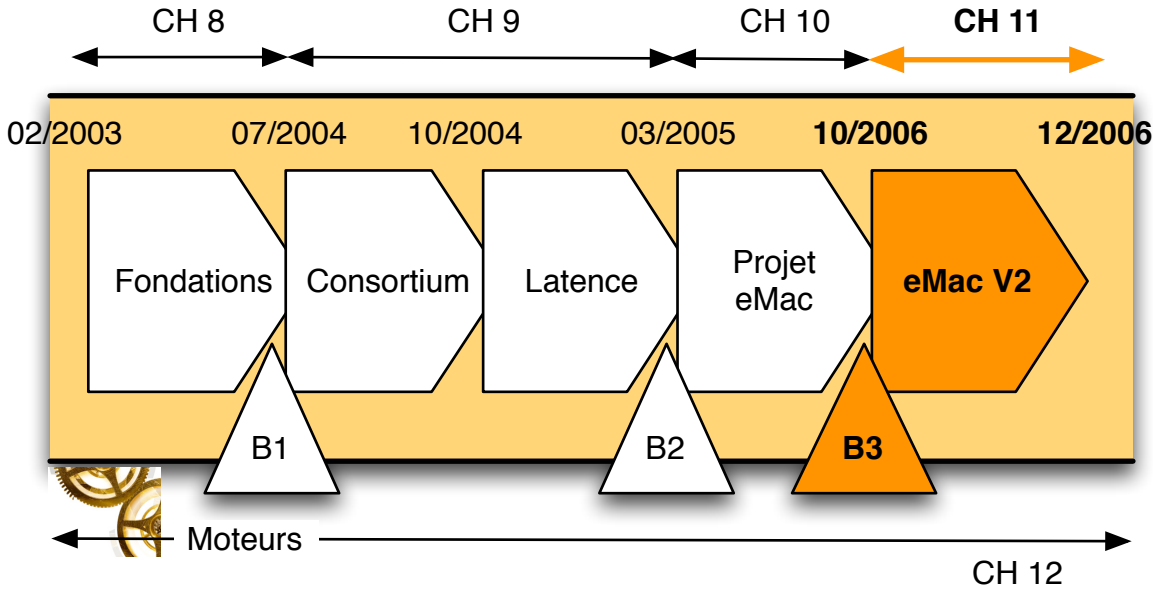
La séquence que nous venons de décrire est portée par un véhicule qui tend à se stabiliser : les partenaires organisationnels, par exemple, sont désormais connus, et ce consortium reste stable dans sa composition.

Mais cette séquence est surtout l'occasion de mettre ce consortium à l'épreuve de la réalité : il doit à présent mettre en oeuvre ce qui était décrit, prévu, lors des séquences antérieures. C'est alors que toute la "circuiterie", pour reprendre un terme issu de l'électronique, se révèle. Les liens existants sont activés, se renforcent. Les dispositifs techniques sont sollicités par des chercheurs, des ingénieurs, des techniciens regroupés en communautés. Entre ces communautés, des informations, des artefacts et des inscriptions circulent et sont transformées, associées. Ce véhicule entre dans une phase plus active pour la conception : les concepts sont expansés, des connaissances nouvelles sont créées, des prototypes sont fabriqués et analysés, ce qui permettra bientôt de réaliser des conjonctions, de donner un statut à certains embranchements de C.

L'institutionnalisation de ce véhicule est de plus en plus évidente : MEMORY est un consortium, disposant de moyens financiers. Ce consortium est une forme sociale en soi, qui dispose d'un nom, d'un site internet, de structures de gouvernance. Par contrat, des ressources lui sont allouées, tant matérielles qu'humaines. Ce véhicule s'est en partie découplé des organisations membres du consortium, devient lui même un acteur du processus.

Enfin, les ingrédients de ce véhicule sont plus fortement couplés entre eux que dans les séquences précédentes : l'existence d'un contrat de partenariat sur trois ans, l'allocation de ressources financières, le recrutement de chercheurs sur ce projet, tout cela contribue à rendre le véhicule plus durable. Certains projets de recherche, comme ceux menés par les doctorants ou post-doctorants participant au projet, sont financés et rendus possibles par MEMORY. Le destin de ces chercheurs est ainsi lié à celui de MEMORY.

Chapitre 11. Vers le projet MEMORY V2



Section 11.1 La bifurcation suite au départ d'Hector

Hector décide de mettre la société STARTER "en sommeil", pour reprendre ses propres termes, et l'annonce à un cercle réduit dans MEMORY dès Septembre 2006. Cela se passe lors d'une séance de préparation à la réunion de consortium du 16 Octobre 2006. Sont présents Youri, Jim et Florent de SPARKS, Nikita et Paulin du LABO.

Nous ne connaissons pas tous les ressorts de cette décision d'Hector, mais nous pouvons en citer deux essentiels :

- La faisabilité du concept eMram n'est pas encore clairement démontrée, alors que la société STARTER a été créée depuis plus de trois ans (Février 2003). Durant ces trois années, STARTER n'a fait qu'investir dans de la R&D, mais n'a pas ou peu fait de chiffre d'affaire. La société dépend ainsi entièrement des ses fonds propres, ici constitués par des fonds d'investissement. Or, pour continuer l'aventure et soutenir STARTER, ces investisseurs ont besoin de croire en ces mémoires mortes vives promises. En Septembre 2006, ces mémoires n'existent toujours pas.
- Hector a une proposition intéressante du point de vue de sa carrière : on lui propose la direction administrative et financière d'une importante PME de l'électronique, basée en PACA. Pour ce jeune polytechnicien, c'est une opportunité réelle de se relancer, de sortir de ce processus MEMORY qui met du temps à décoller (il y travaille depuis plus de trois ans).

Pourtant, **les participants à cette réunion de septembre 2006 décident de temporiser** : il y a une réunion capitale en Octobre, il n'est pas question de lancer cette mauvaise nouvelle à ce moment crucial : cela donnerait probablement un signal très négatif sur le projet, sur la faisabilité des eM-RAM. Il faudrait alors s'en justifier devant Litang, accompagné de deux experts indépendants, lors de la revue de projet qui s'annonce. Or, une évaluation négative du projet à ce moment charnière pourrait tout simplement sonner le glas du projet, qui serait orienté sur un "NO GO" six mois plus tard. Certes, STARTER quitte le consortium, mais les étudiants, les chercheurs, les post docs engagés dans MEMORY souhaitent que ce projet continue, qu'ils puissent continuer leur travaux en cours, financer leurs thèses, leurs expérimentations, leurs achats déjà engagés. Il en va de même pour les PME engagées dans ce projet, comme SPARKS ou SCANNEX : le projet MEMORY est une recette financière importante, et théoriquement garantie sur trois ans. C'est un apport qui est loin d'être négligeable !

11.1.1 Officialisation du départ d'Hector

"[...] I would like to inform you about some very recent discussion with Hector. STARTER has presently some economic difficulties so that, for strategic reasons, they would like to release from MEMORY commitment. This kind of situation is foreseen in the "Consortium Agreement". Of course, the Steering committee and the Commission have to agree this change. [...]"

Extrait d'un mél de Paulin daté du 20 Novembre 2006 à Lisandro de AUSTRIAN (20061120M1).

Nous sommes à la fin du moi de Novembre, et deux mois se sont passés depuis l'annonce, à un groupe restreint de partenaires, du départ d'Hector. A présent, le coordinateur informe par mél personnel chaque chef de projet du consortium.

Paulin profite de ces méls pour proposer une nouvelle répartition des tâches initialement dévolues à STARTER :

"[...] I imagine that K. INSTITUT or TRON could realize this part of the project. Of course, the corresponding funding of STARTER will be shared between the partners.

Concerning the other workpackages I propose you to be more involved in WP0 (management) and WP1. "

Ibid

C'est donc MEMORY, son comité de pilotage et son coordinateur, qui prend en main la gestion de ce départ, et redistribue les tâche du partenaire défaillant, en conformité avec les règles de gestion établies par contrat entre les partenaires.

Mais il faut aussi en informer officiellement la CE :

"Paulin, Fin Novembre 2006, a appelé Litang pour lui annoncer le retrait possible de STARTER. Litang s'est dit inquiet. Paulin a tenté de la rassurer en lui disant qu'il n'y avait pas de problème grave, que les partenaires avaient mis en place entre eux un contingency plan. Litang a demande à avoir une lettre du LABO, au nom du Consortium, de prendre acte du retrait de STARTER avec une demande d'avenant au contrat. Ce n'est qu'après acceptation de ce courrier que le consortium sera autorisé à faire une modife du DOW et enclencher un contrat"

Extrait entretien Jim

Cette demande officielle ne sera faite que le 22 Décembre 2006, par recommandé envoyé par Paulin, les termes de cette lettre ayant été patiemment pesés :

"Salut Paulin,

Nous n'avons pas parlé du contenu de la lettre que tu vas envoyer à Litang ce matin.

Je ne sais pas si je te l'ai dit mais tu peux lui envoyer un projet de lettre dans un premier temps par email, qu'il te validera avant que tu lui envoies le recommandé.

A+"

Extrait d'un mél de Jim à Paulin (20061220M1).

Ce qui explique ce délai de trois mois entre l'annonce officielle du départ d'Hector, et la demande officielle de modification du contrat de partenariat, c'est que durant ce laps de temps, un autre tournant important a dû être négocié.

11.1.2 Le débat sur Delta R / R

Le concept eMRAM est basé sur l'existence d'un effet tunnel entre deux couches conductrices magnétisées séparées par un isolant. On peut calculer le rendement de ce effet tunnel, en mesurant la magnétoresistance obtenue par le dispositif. Cette magnétoresistance est donnée par un ratio que l'on nomme "Delta R / R", où R est la résistance, et qui permet de mesurer l'ampleur des variations de R lorsque l'effet tunnel est activé.

Un Delta R / R même très faiblement positif peut signaler l'existence d'un effet tunnel. En revanche, pour concevoir une mémoire industrialisable, il est essentiel que ce rapport soit assez important : une variation de grande ampleur sera plus facilement détectable et interprétable, ce qui facilite la réalisation des couches supérieures chargées d'interpréter les réactions du BEM. Dans le DOW final, le ratio visé était supérieur à 5% après 18 mois de projet, au moment de la revue de "GO / NO GO"

Or, après 12 mois de projet, les tests électriques réalisés sur les échantillons ne présentent pas ce niveau de magnétoresistance :

"On a quand même validé plein de choses... Sauf Delta R / R, la magnetorésistance... Sans cela, pas d'effet mémoire. L'idéal étant d'avoir une forte valeur. Avec un taux faible, on complexifie le circuit de commande."

Extrait entretien Paulin

Lors de la réunion à 12 mois (Octobre 2006 à Grenoble), à laquelle participe Litang assisté de deux experts, les Delta R / R présentés sont faibles (inférieurs à 3%). Or, à ce niveau là, l'industrialisation future des mémoires eMRAM n'est pas assurée. Pire, ce taux peut être lié à des phénomènes de bruit sans rapport avec un effet tunnel avéré. Les experts remarquent rapidement ce problème. Dans leurs recommandations officieuses, ils plaident pour qu'à 18 mois un ratio supérieur à 10% soit atteint sur certains échantillons. Lisandro de AUSTRIAN s'en inquiète (20061024 M1) :

"Dear Hector, dear Paulin

I'm a bit concerned about the recommendation of the reviewers to change the Go/NoGo criteria. You know I immediately tried to discuss things back to the 5 % threshold. Hector, you argued in this direction, too. My opinion is that we should comment on this issue to Litang as early as possible; I mean before the official reviewer report will be sent. We should make him clear that in the Go/NoGo criterium a minimum value is appropriate from this we can improve. We should argue that a value of 10-20% is needed only at the end of the project when a operating device is promised."

En effet, si le taux demandé est trop élevé, le projet prend le risque de s'arrêter prématurément. Paulin et Hector confortent Lisandro dans son analyse. Ce dernier prend donc les choses en main fin Octobre, et décide d'échanger directement avec Litang, au nom du consortium, pour négocier ce point crucial (20061025 M1):

"Dear Litang

This email refers to the reviewer's opinions and recommendation which you told us at the end of the MEMORY project meeting in Grenoble. It was said that the criteria for the Go/NoGo decision in midterm of the project should be readjusted. The suggestion was that the threshold of magnetocurrent (NDLA : Magnetoresistance) change should be raised from 5% to 10-20%. The project partners intensively discussed this critical issue after the meeting. It is our conviction that the threshold should not (!) be changed. It should remain at 5%, a value which was estimated and determined after a long discussion a half year ago. The reasons for this are:

- 1) A MR change of 5% is large enough to demonstrate a proof of principle. [...]*
- 2) Physical argument: [...] The S/N depends on the total current which can be driven through the device, and this again on the barrier height, composition and quality which are major research items in the project. [...]*

3) *In the case that the limit is set to 10-20%, should we then stop the project if we have "only" 5% at midterm ? This wouldn't be reasonable. [...]"*

L'argument de Lisandro est qu'un taux de 5% permet déjà de valider le concept (*proof of principle*) dans un premier temps, un taux plus important pouvant être ensuite recherché grâce à des travaux de recherche spécifiques sur les matériaux, en deuxième partie de projet.

Finalement, après quelques jours de réflexion, Litang se range à l'avis de Lisandro (20061030 M1):

"Dear Lisandro,

Thank you for these additional considerations.

After discussion with the reviewers, we have decided to follow your arguments. This is reflected in the review report that will be sent to you in a separate mail."

Il y a donc eu, en cette fin de première année de projet, un véritable débat sur le Delta R / R acceptable. D'un point de vue cognitif, on peut dire que le critère permettant de dire si, oui ou non, le concept eMram est viable ou pas, **le critère permettant de donner un statut à ce concept, a fait l'objet d'une controverse entre les membres du collectif engagé dans le processus MEMORY.** On comprend aussi que, dans un contexte où l'incertitude sur l'avenir du projet est réelle, il était difficile d'annoncer officiellement le départ d'Hector et de STARTER de ce projet...

11.1.3 Dater cette bifurcation

Les premiers éléments de cette bifurcation, ce qui préfigure le virage à venir, sont détectés courant Septembre 2006, avec l'annonce officieuse du départ d'Hector. Ce départ est lié à la difficulté rencontrée par les partenaires MEMORY à produire des échantillons viables, faisant la preuve du concept eMRAM, avec un niveau acceptable de Delta R / R. La crise est définitivement résolue en Décembre 2006, avec la signature d'un avenant au contrat, qui d'une part prend acte du départ de STARTER et de la redistribution du travail dans le consortium et qui, d'autre part, valide que le Delta R / R recherché à court terme est de l'ordre de 5%.

Il est donc difficile de désigner un point précis dans le temps pour situer cette bifurcation. Dans le découpage temporel que nous présentons ici, nous avons choisi la date du 17 Octobre 2005 comme tournant symbolique : c'est à cette date que le consortium MEMORY se réunit pour la dernière fois dans sa configuration première.

Section 11.2 La séquence MEMORY V2

11.2.1 Le fil des événements

a) Le réunion de fin de période

Les 16 et 17 Octobre 2006, le consortium se réunit donc à Grenoble, dans les locaux du CENTRE SCIENTIFIQUE, pour une réunion de deux jours. Les membres de la CE ne sont présents que la deuxième journée, ce qui permet aux partenaires d'avoir, le premier jour, une réunion de travail en toute liberté : on peut y exposer les problèmes, évaluer les risques, aborder les points critiques. Les difficultés peuvent être mises sur la table sans crainte. Enfin, ce premier jours de réunion se termine par un comité de pilotage entre les chefs de projet.

Le deuxième jour de réunion sera très différent : il s'agit d'un exercice de présentation formel du projet, de ses résultats, le but étant principalement de montrer aux représentants de la CE que le projet suit un cours normal, que des résultats encourageants ont été obtenus.

Les personnes présentes à ces deux jours de réunion sont les suivantes :

Suzy	CENTRE SCIENTIFIQUE	Post Doc
France	CENTRE SCIENTIFIQUE	Thésard
Barnard	CENTRE SCIENTIFIQUE	Chercheur
Rémy	CENTRE SCIENTIFIQUE	Chercheur
Fatima	CENTRE SCIENTIFIQUE	Chercheur et chef de projet
Sébastien	UNIVERSITE DES SCIENCES	Chercheur et chef de projet
Paulin	LABO	Chercheur et coordinateur
Zacharia	LABO	Chercheur
Litang	CE	Scientific Officer
Greg	Indus1	Expert
Tino	Foundry1	Expert

Hector	STARTER	Chef d'entreprise
Kevin	ONYX	Chercheur
Vlado Lazarov	ONYX	Chercheur
Sébastien Vladimir	SCANNEX	Ingénieur et chef de projet
Al	SCANNEX	Ingénieur
Lisandro	AUSTRIAN	Chercheur et chef de projet
Tommy	AUSTRIAN	Post Doc
Natalia	K. INSTITUT	Chercheur et chef de projet
Youri	TLI	Dirigeant et chef de projet
Jim	TLI	Consultant
Florent	TLI	Thésard

b) Les matériaux candidats

A la suite de cette réunion, un livrable important doit être réalisé : il s'agit du "FEM Description", décrit comme suit dans le DOW :

"Selection of the "best" FEM regarding holes filling for holes of diameter equal to 1 μ m. This process should be available on 200mm wafer and will be used for WP4. It is due to 12th month."

Ce document doit désigner de façon formelle, parmi les nombreuses solutions testées jusqu'à présent, quelles seront les combinaisons de matériaux qui serviront de base à la production de prototypes de mémoires durant la deuxième partie du projet. C'est Lisandro, de AUSTRIAN, qui doit rédiger ce document. Il ne s'agit pas là simplement de produire un rapport, mais bel et bien de procéder à des arbitrages, et de décider quels sont les technologies les plus prometteuses pour réaliser le FEM.

Lisandro va donc diffuser un questionnaire aux principaux laboratoires chargés de produire ces FEM, afin que ceux-ci puissent synthétiser les résultats obtenus. Il s'agit là, pour le LABO, AUSTRIAN et TRON, de décrire chaque sandwich de matériaux expérimenté, et d'en évaluer les caractéristiques.

Illustration 11: Questionnaire d'évaluation des FEM, exemple pour AUSTRIAN

Questionnaire for the evaluation:

(only short answers please)

1. Layer stack on Si

ARC: Si / MgO / Co₆₀Fe₂₀B₂₀ / TaN

2. Deposition and oxide formation

- deposition method? **PVD**
- oxide formation technique? **reactive sputtering from MgO target**
- growth mode (epitaxial, polycrystalline, layer-by-layer, ..)? **amorphous**
- approx. deposition time? **10 min.**

3. Advantages

- homogeneity of hole filling (hole diameter 1 μm)
 - homogeneity of film thickness? **film thickness smaller in hole \rightarrow calibration**
 - homogeneity of barrier? **barrier somewhat thicker at the edges \rightarrow no problem**
- ferromagnetic material
 - degree of spin polarization? **high**
 - Curie temperature? **900-1000 K**
 - switching field? **around 10 Oe**
 - squareness of hysteresis? **good, up to 450° C**
 - dead layer at the barrier interface? **N.A.**
 - thermal stability? **fm crystallizes at 400° C (onset)**
 - long-term switching stability? **N.A.**
- barrier
 - thermal stability? **550° C**
 - voltage breakdown stability? **N.A.**
 - defects in the barrier? **no defects**
- others?
 -
 -

4. Drawbacks

fm crystallization at higher temperatures \rightarrow enhancement of Hc

5. Further research required?

yes, breakdown stability, long-term behaviour, ..

6. Recommendation: Is this layer stack suited for implementation in FEM MRAM?

suitable

not suitable

Lisandro va ainsi collecter 8 questionnaires (8 combinaisons de matériaux ont été testées), ce qui permet d'évaluer les caractéristiques de ces 8 FEM sur des critères partagés. On évalue par exemple la tenue en température (qui est nécessaire pour l'intégration dans la chaîne de production CMOS), ou encore l'homogénéité des couches, qui est nécessaire pour les phases suivantes du projet. On prend aussi en compte, bien entendu, les résultats des tests électriques, mais aussi la disponibilité de la technologie en format 200 mm, condition nécessaire pour qu'une option puisse être intégrée par la suite dans la chaîne de production CMOS du K. INSTITUT.

Dans le livrable final, daté fin novembre (20061123MilestoneM31), Lisandro propose un tableau de synthèse, qui permet d'identifier les combinaisons de matériaux candidates pour la suite :

stack on Si	deposition technique *)	advantages	drawbacks	recommendation *)	further research required
Al oxide / Co	Al + O: ALD Co: Knudsen cell	very smooth layer	time consuming	at the moment not suitable to be transferred to 8 inch wafers (new machine)	homogeneity, thermal stability
MgO / Co60Fe20B20 / TaN	Sputtering	stable up to 400°C	crystallization of CoFeB above 400°C	limited suitable	small holes, breakdown stability, long-term behavior, ..
MgO / Co75Fe25 / TaN	Sputtering	stable up to 550°C or more		suitable	small holes, breakdown stability, long-term behavior, ..
Si oxide / Co / Pt	PVD, thermal Si oxide	stable up to 450°C		in principle suitable	small holes, contamination of Si, long-term stability, ..
Si oxide / NiFe / Pt	PVD, thermal Si oxide		contamination by NiFe: (interface) defects	not suitable	
Si oxide / NiFe / Ta	Sputtering (Singulus), thermal Si oxide		contamination by NiFe: (interface) defects	not suitable	
Al oxide / NiFe / Pt	PVD, ALCVD of Al oxide	smooth growth	time consuming, interface defects by NiFe	not suitable	Al oxide barrier with Co or CoFe
Al oxide / NiFe / Ta / Au	Sputtering	MRAM standard system	non-uniform deposition of Au in holes	in principle suitable	thermal stability, homogeneity

Il y a donc au final quatre FEM retenus (notés "suitable" dans la cinquième colonne du tableau ci-dessus). Dans la colonne de droite, Lisandro prend le soin de noter les questions de recherche qui devront être abordées pour certaines de ces pistes, y compris pour des pistes temporairement abandonnées. D'ailleurs, parmi ces dernières, certaines options prometteuses sont mises de côté (c'est le cas l'assemblage AL Oxyde / Co proposé par le LABO), non parce qu'elles ne permettent pas de créer un effet tunnel, mais parce que leur mise en oeuvre sur des wafer de 200 mm (8 pouces) n'est pas encore possible, faute d'outils adéquats :

"Dear Lisandro,

Thank you very much for the great work you have done in evaluating Milestone M3.1. You mention that our deposition technique is not suitable for WP4. Of course at the present time we are not able to perform this deposition on 200 mm wafer. In this sens you are true to say that it is not suitable. However, I am investigating the possibility to perform, with the help of STRANO company, deposition of tunnel oxide and metal onto 200 mm wafer. I'll know if it is possible in january of february. If yes, I think it would be interesting to make tests. [...]"

mél de Paulin à Lisandro (20061222M1)

L'évaluation de ces matériaux, on le voit, fait l'objet de discussions entre projets.

c) Sortie du terrain

C'est au cours de cette séquence, dans laquelle les partenaires s'engagent dans de nouveaux travaux pour produire des prototypes de eMram et explorer les quatre pistes principales que nous venons d'évoquer, que nous avons cessé nos observations de MEMORY. Nous quittons donc une séquence en cours, et laissons en pointillés la narration du processus MEMORY.

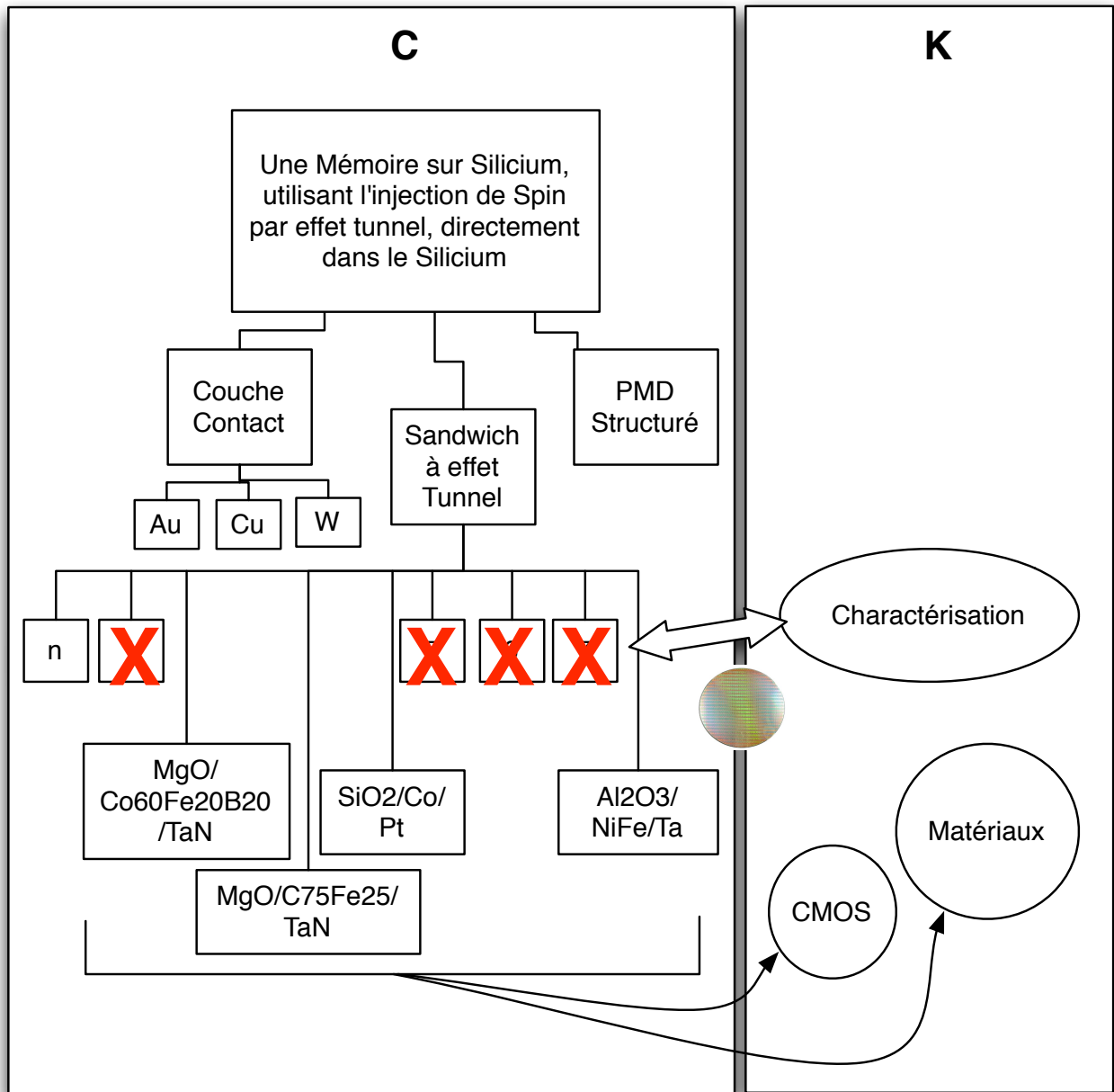
11.2.2 Sur le plan cognitif : des conjonctions et des questions de recherche

Sur le plan cognitif, la production d'échantillons, leur caractérisation et leur évaluation consiste à donner un statut à des concepts, à des embranchements de C développés dans les séquences précédentes. En termes CK, cela correspond à une conjonction. Les pistes abandonnées ont acquis un statut pour le collectif participant au processus : elles ne sont pas "suitable" pour produire les mémoires eMRAM visées, en tous cas pas dans l'état des connaissances en Octobre 2006.

Les quatre pistes conservées, celles jugées "suitable", restent exploitables pour la conception. Cependant, elles soulèvent des questions nouvelles de recherche qui vont devoir être traitées dans la suite (en ce sens, elles n'ont pas un statut définitif, et restent donc dans l'espace C). La conception permet ici d'envoyer de nouvelles questions de recherche vers K, comme par exemple :

- Quelle est la stabilité à long terme de ces différents assemblages de matériaux ?
- Les techniques de dépôt restent-elles robustes en diminuant la taille des trous dans le silicium ?
- Peut-on limiter les phénomènes de contamination dans le Silicium durant le procédé de fabrication ?

Schéma 29: CK au début de la séquence MEMORY V2



Ainsi, l'effort de recherche mené sur les chaîne de production CMOS ou sur la mise au point des sandwich de matériaux doit être poursuivi par les partenaires de MEMORY dans la suite de cette séquence.

11.2.3 Les ingrédients au départ de cette séquence

N'ayant pas de données sur l'ensemble de cette séquence, nous ne faisons pas ici une description exhaustive des ingrédients dans les 8 catégories utilisées jusqu'alors. En revanche, nous proposons de décrire quelles ont été les principales modifications engendrées par la bifurcation d'Octobre 2006 selon ces diverses catégories.

a) Les individus

Dans cette séquence, l'absence d'**Hector** est le point le plus marquant. Ingrédient essentiel dans les séquences précédentes, sa sortie du processus doit être compensée. On constate cependant que, à ce stade-ci du processus, la disparition de cet ingrédient central jusqu'alors ne met pas fin au processus MEMORY. Elle marque surtout la bifurcation du processus vers une nouvelle séquence.

Cette bifurcation est aussi l'occasion pour **Lisandro** de prendre une place importante dans le processus MEMORY : il remplace en partie Hector dans sa fonction de coordinateur technique du projet. C'est lui aussi qui négocie directement avec la CE, au nom du consortium, les critères pour le Go No Go. Enfin, c'est lui qui orchestre la réflexion commune permettant d'identifier quatre assemblages de matériaux candidats pour la suite du processus. L'intérêt de Lisandro pour l'injection de Spin dans le silicium est ancien, ce qui explique sa motivation et son implication dans MEMORY. Pour Lisandro, la réussite de ce projet est capitale :

"Beaucoup de gens essayaient l'injection et la détection de spin, mais rataient.

En sciences on a souvent ça. Un main stream. Des échecs. Des routes abandonnées. Pas publiées. Puis des papiers expliquent pourquoi c'est pas possible. Lisandro a utilisé les expériences loupées pour faire ses propres recherches.

Des gens continuent à utiliser ces arguments théoriques pour dire que ça va pas marcher.

So you need a proof of concept."

Extrait des notes d'entretien avec Lisandro

La mise au point d'une cellule mémoire, même très simplifiée, basée sur l'injection et la détection de spin dans le silicium est donc pour lui un enjeu majeur, qui lui permettra de valider ses thèses dans le monde scientifique.

Il faut aussi noter l'importance de **Litang et de ses collègues experts**, au moment de la bifurcation puis au début de cette séquence. Chargés d'évaluer le projet, ces derniers instaurent un véritable dialogue scientifique avec le collectif MEMORY. Ils sont prêts à discuter des critères d'évaluation, à modifier leurs avis, à prendre en compte les arguments des responsables du projet :

"On a mis en place ce système régulier des reviews, avec des experts du domaine, dans le but de coller à la réalité des projets. ça nous permet de mieux comprendre ce qui se passe et d'introduire de la souplesse dans l'évaluation des projets. Dans certains cas, c'est même nous qui

poussons le consortium à changer les plans. Certains partenaires sont frileux pour ce faire. En particulier parce qu'il craignent que l'on doive revoir la participation financière."

Extrait entretien Litang

b) Les organisations

Là encore, c'est la disparition de STARTER qui est la plus marquante par rapport à la séquence précédente. Mais cette absence n'est pas capitale pour la continuité du processus. En tant que Start-up, STARTER n'apportait pas des ressources essentielles dans le processus, outre ses compétences humaines réduites à Hector et à deux ingénieurs. Les tâches de design des circuits qui devaient être assurées par STARTER sont transférées à K. INSTITUT, qui en tant qu'intégrateur de solutions CMOS a les compétences en interne pour concevoir le dessin de ces futures mémoires.

La CE est aussi un ingrédient organisationnel important dans cette séquence, puisqu'elle accompagne et autorise la réorientation du projet. La revue de projet, au moment de la bifurcation, est d'ailleurs l'occasion d'affirmer l'importance de la CE dans le processus, qui n'est pas un simple "financeur" de projet, puisqu'elle s'implique directement dans le pilotage des projets qu'elle soutient.

c) Les liens

Nous avons mis en avant l'importance des liens unissant les huit chefs de projet entre eux lors de la séquence précédente. La bifurcation que nous venons de décrire et l'engagement du processus dans une nouvelle séquence, est l'occasion pour nous de distinguer, dans ce réseau des chefs de projet, **un noyau restreint d'individus** plus fortement liés entre eux : il s'agit de Jim, Paulin, Lisandro et Natalia. C'est entre eux, en particulier, que les principaux échanges ont lieu au moment du retrait d'Hector.

Le lien Lisandro / Paulin est en particulier essentiel : c'est d'eux que part la réorganisation du consortium, les négociations sur les niveaux de Delta R / R ou encore le choix des matériaux candidats pour la suite du projet. D'ailleurs, Paulin est conscient de l'importance de ce lien, lien qu'il cherche à renforcer :

"Je suis allé à Bielfeld avec Nikita discuter avec Lisandro. Après, je l'ai invité à Minsk. Il est parfait. Heureusement qu'il est là. On va envoyer des étudiants à AUSTRIAN, pour travailler avec eux. [...] Mais entre des gens qui font le même genre de choses, faut un échange physique, un lien, sinon les choses se font en parallèle"

Il y a indéniablement un respect mutuel entre les deux hommes, le développement d'une certaine confiance durant cette première partie de projet. Il y a aussi une convergence de leur intérêt scientifique pour le Spin dans le Silicium :

"Si réellement on arrive à montrer que ça marche, c'est très important. ça ouvre la voie à un très gros travail fondamental sur le transport des spins. ça donne de la matière aux théoriciens. ça donne de quoi faire des papiers dans PHYSICAL REVIEW LETTERS."

(Ibid)

On voit aussi, au début de cette séquence, que le lien entre Litang, le Scientific Officer de la CE, et Paulin, le coordinateur officiel du projet, n'est pas un lien exclusif, purement institutionnel. Par exemple, Lisandro peut contacter Litang directement, au nom du consortium, sans passer nécessairement par le chef du projet.

d) Communautés

Dans cette séquence, on retrouve les mêmes communautés que dans la séquence précédente. Localement, que ce soit au LABO, chez AUSTRIAN ou encore au K. INSTITUT, des techniciens, des ingénieurs, des scientifiques partagent une même pratique destinée à produire des résultats de recherche et fonctionnent comme des communautés de pratique. Ils s'organisent autour d'installations complexes, comme des salles blanches, des instruments de mesure, des châssis de dépôt sur des wafer.

Sur un plan plus transverse, de nombreux participants à ce processus font partie d'une même communauté scientifique, et portent un intérêt commun à la spintronique ou aux matériaux : Lisandro comme Paulin, par exemple, participent à un même courant de recherche.

e) appareillages techniques

Du côté des appareillages techniques, on retrouve les mêmes installations que dans la séquence précédente. Et on retrouve les mêmes absences : la Selinia démantelée du CENTRAL TECHNO n'est toujours pas remplacée en Janvier 2007 :

"[...] je m'inquiète de ne pas recevoir le reporting financier de SCANNEX. Je m'en inquiète auprès de Vladimir (NDLA : chef de projet de SCANNEX). Il finit par envoyer quelque chose, avec juste quelques mois homme. Il aura du mal à justifier beaucoup plus. Motif : il ne reçoit pas les Wafer à décontaminer de la part de TRON. Il se trouve que la solution de rechange pour la

Selinia, la EXPERT, n'est pas pérenne... La EXPERT 8 pouces est en Allemagne, et FLOWER est prioritaire dessus... De plus, elle est en cours de démontage et ne sera réinstallée en France qu'en avril 2007... Et ne sera opérationnelle que fin Mai... C'est emmerdant pour tout le projet. Car à court terme, SCANNEX doit mettre au point un procédé de décontamination sur les dépôts SIO2 et SI... Procédé de décontamination nécessaire pour, par la suite, traiter les WAFER en sortie de TRON avant leur entrée chez K. INSTITUT."

Notes d'entretien avec Jim

En revanche, des dizaines de wafer ont été produits durant la séquence précédente, embarquant sur leurs surfaces divers assemblages de matériaux. Or, certains de ces wafer n'ont pas encore été totalement analysés et caractérisés. Dans ce projet, un wafer microstructuré et sur lequel des nano couches de matériaux ont été déposées, **est l'expression physique d'un embranchement de C** : chaque wafer a été fabriqué selon les expansions dans C. **Cela signifie que des concepts ont été mis de côté** pour le projet. Physiquement, ces concepts mis de côté sont des objets rangés dans des tiroirs, dans des boîtiers de protection, en attente d'analyse :

"[...] on en est encore à étudier des échantillons de ce projet. On exploite encore les résultats, on est pas certains de ne pas voir l'effet sur des échantillons que l'on a.

[...] On ne sait pas ce que l'on va trouver. On a des durées de trois ans, mais on peut prendre plus de temps pour comprendre, interpréter."

Extrait entretien Paulin

Cependant, pris par la temporalité du projet MEMORY, qui doit produire des prototypes en trois ans, des choix ont du être faits au début de cette séquence. On a donc **donné un statut temporaire à certains élément de C**, en mettant de côté certains wafer, en les considérant comme "non suitable" pour l'instant, en se basant sur des résultats préliminaires.

f) Dispositifs de coordination, inscriptions et financements

On remarque encore une fois que, en ce début de séquence, la résolution des problèmes (sortie d'Hector, négociation des critères de Go / No Go) s'appuie sur le téléphone et le mél, qui sont des dispositifs de coordination de choix pour des coordinations rapides entre les chefs de projet. On voit par exemple Lisandro diffuser par mél un questionnaire (qui est aussi un inscription) et récupérer les résultats toujours par Mél.

Plusieurs inscriptions importantes sont aussi produites, en particulier un rapport d'évaluation rédigé par les experts ayant participé à la réunion d'Octobre 2006 à Grenoble, et une nouvelle version du

contrat de partenariat. Nous l'avons vu, ce rapport d'évaluation a été l'objet d'une négociation entre la CE et le consortium MEMORY, puisqu'il préconise, à la demande de Lisandro, d'atteindre un taux de Delta R / R faible pour les 18 mois du projet. Ce rapport est important, car il rend l'avenir du projet moins incertain, en lui imposant un seuil à court terme tout à fait réalisable.

Le nouveau contrat de partenariat, quant à lui, vient officialiser la nouvelle organisation du consortium, prenant acte du retrait d'Hector et de STARTER et de la nouvelle répartition des tâches comme des financements.

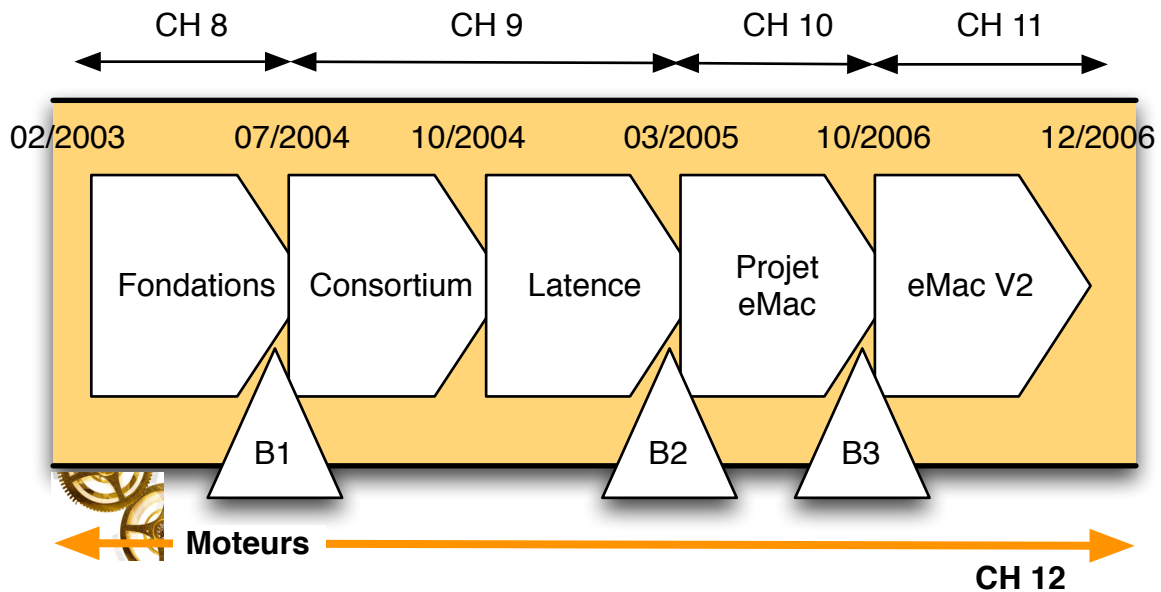
Section 11.3 Le véhicule au départ de cette séquence

L'assemblage des ingrédients au début de cette séquence est basé en très grande partie sur un recyclage des ingrédients de la séquence précédente. Il n'y a pas de nouveaux recrutements d'individus, d'enrôlements d'organisations, d'arrivée de nouveaux matériels, etc. Ce véhicule est donc reconstruit à partir des ingrédients de la séquence précédente, mais avec une logique légèrement différente : il a fallu remplacer le départ d'Hector, de STARTER, et réorienter le projet vers un objectif moins industriel, plus orienté recherche en amont : on sait désormais qu'un bon Delta R / R n'est pas atteignable à court terme, que les prototypes fabriqués dans ce projet seront plus des "proof of concept" que des prototypes préindustriels de mémoires eMram.

Cette réorientation voit donc la montée en puissance des scientifiques dans le processus, qui ont en quelque sorte pris le relais (par l'intermédiaire de Lisandro ou de Paulin) dans le pilotage de MEMORY : ce sont eux qui désormais prennent des décisions stratégiques, échangent avec la CE, etc. En revanche, ils n'ont pas pour autant transformé MEMORY en un processus de recherche basé seulement sur la construction de connaissances : ils visent toujours à faire la démonstration d'un concept, et une mémoire simplifiée de 4 kbits est toujours visée.

Ce qui est marquant ici, bien entendu, c'est que le processus de conception est désormais porté par un véhicule qui ne comporte plus les ingrédients clefs du véhicule décrit au départ de ce processus. Au travers des séquences et des bifurcations, d'autres ingrédients sont entrés dans le processus. Ces ingrédients sont suffisamment prégnants et suffisamment couplés pour permettre la continuité du raisonnement collectif sur les eMRAM.

Chapitre 12. Les moteurs du processus MEMORY



Les quatre chapitres précédents nous ont permis de décrire le développement temporel de MEMORY, et de montrer comment un véhicule permettait d'assurer sa continuité dans le temps. Pour aller encore plus loin dans notre compréhension de ce processus, il nous faut à présent comprendre les logiques à l'oeuvre au cours de ce processus, celles permettant de rendre compte de l'évolution du véhicule dans le temps.

Au cours du processus MEMORY, il n'y a pas un mais plusieurs moteurs téléologiques qui vont tirer le processus vers une finalité (section 1). Cependant, ce processus se déploie au sein d'une population d'autres projets liés à la conception de mémoires non conventionnelles : il y a donc une véritable lutte pour les ressources, en particulier les financements, et l'on peut voir des moteurs évolutionnistes peser sur MEMORY (section 2). Parfois, le moteur évolutionniste crée des contraintes pour MEMORY, mais il peut aussi favoriser celui-ci, comme lorsque la CE choisit de financer le consortium MEMORY par exemple. Enfin, à tout moment, les ingrédients du véhicule

MEMORY restent en tension entre leur couplage à MEMORY et leur couplage à d'autres entités sociales. C'est ce que nous nommons le moteur dialectique (section 3).

Pour illustrer ce jeu à trois moteurs, et son effet sur le véhicule, nous utilisons la métaphore de Christophe Colomb et de son voyage d'exploration pour découvrir une route par l'Ouest pour les Indes (section 4). Cette métaphore nous permet de mieux comprendre les tensions et les jeux cumulés de ces moteurs en fonction du moment de l'expédition. Cette métaphore nous aide aussi à généraliser la théorie du véhicule et à sortir du cas MEMORY par induction.

Section 12.1 Des moteurs téléologiques

Un moteur téléologique permet d'expliquer le développement d'un processus, en particulier l'évolution de l'assemblage des ingrédients, en fonction d'une finalité. Nous cherchons donc à montrer ici l'existence d'une ou de plusieurs finalités, expliquant bien la logique d'évolution du véhicule. On peut mener cette recherche au niveau de chaque unité d'analyse (séquences, bifurcations). On remarque alors qu'il existe plusieurs moteurs téléologiques permettant d'expliquer en partie l'évolution du véhicule au cours du processus MEMORY.

12.1.1 Moteurs téléologiques au début du processus

Au tout début, le processus est porté par Hector et Nikita. Hector a créé une start-up pour développer les mémoires imaginées par Nikita. Pourtant, il sait que cette configuration n'est pas suffisante :

"[...] assez rapidement je me suis dit avec ça on ira pas assez loin, il faut un projet derrière plus industriel. Et pour ça il faudrait le faire dans le cadre d'un projet européen plus fédératif, faire rentrer des compétences un peu plus variées."

Extrait entretien TONY.

C'est pour cette raison qu'il décide de monter un consortium européen et de tenter de répondre à un appel à projets de la Commission Européenne. A ce moment là du processus, "répondre à un appel à projets européen" constitue donc une finalité, qui permet bien d'expliquer la logique d'assemblage des ingrédients au cours de la séquence *fondation* : on fait appel à SPARKS, cabinet de conseil spécialisé dans le montage de propositions européennes, on contacte des partenaires, on rédige des propositions de projet, on prend contact avec des institutions européennes, etc.

Bien entendu, il existe un autre objectif, global, que l'on retrouve tout au long du processus : celui de produire une mémoire eMRAM. Mais localement, à l'échelle des unités temporelles d'analyse que nous avons définies, on peut désigner des finalités à moyen terme, plus concrètes et opérationnelles, qui permettent au projet d'avancer, c'est à dire qui permettent à un véhicule de se constituer.

Au moment de la première bifurcation, entre Mai et juin 2004, on choisit de répondre à un appel à projets bien précis, publié par le CE dans le cadre du PCRD. La finalité est donc désormais encore plus précise : *répondre à l'appel à projets IST MP3 dans le cadre du PCRD*. Désormais, on sait à quelle appel d'offre on souhaite répondre, on en connaît l'agenda et la particularités. Au cours de

cette séquence, cette finalité est peu à peu partagée par d'autres individus et d'autres organisations, à mesure qu'ils sont recrutés par Hector et par ses partenaires. Le moteur téléologique vient ainsi s'appliquer à de nombreux autres ingrédients liés désormais au moteur : répondre à un appel à projets de l'Europe impose des contraintes. Cela infléchit le cours des choses : il faut établir des budgets, décrire sa participation au projet, participer à des réunions préparatoires, établir une première planification des tâches, etc. La finalité pèse donc de façon très prégnante sur l'évolution du véhicule à ce moment du processus.

Bien entendu, il y a de nombreuses autres finalités dans le processus. Des directeurs de recherche, des ingénieurs, des consultants, ont chacun des objectifs qui leurs sont propres. Mais si nous parlons d'un moteur téléologique dans cette séquence, c'est que ce moteur est commun et partagé parmi les participants au projet, que cette finalité commune s'accorde (au moins temporairement) aux finalités particulières des uns et des autres.

12.1.2 Séquence de Latence : le moteur téléologique

cale

A partir du 14 Octobre 2004, la finalité que nous venons de décrire a été atteinte. La balle est à présent dans le camp de la CE, qui doit procéder à l'évaluation des propositions de projet. Durant ces quelques mois, le véhicule qui porte MEMORY est donc en suspens. les uns et les autres attendent une réponse officielle afin de continuer le travail en commun et de prolonger le raisonnement en cours. Nous n'avons donc pas, dans cette séquence, de finalité partagée par les individus et les organisations du véhicule. Il n'y a plus de moteur téléologique dans ce moment du processus.

L'absence de moteur téléologique explique en partie une impression de stagnation, de ralentissement des événements : les coups de fil entre partenaires sont rares, chacun se concentre sur d'autres tâches, et les besoins d'interactions sont faibles. C'est une période de « suspens » au sens premier du terme. Chacun attend l'évaluation de la CE avant de commencer le travail en commun. En effet, en cas de réponse négative, et faute de financement, il est probable que de nombreux partenaires se consacreront à d'autres projets, d'autres activités. Les partenaires d'origine devront alors choisir : continuer ce projet sous une autre forme ou l'abandonner. L'avenir du véhicule du processus est pour l'instant très incertain.

12.1.3 Le redémarrage des moteurs téléologiques

Le premier Février 2005, le projet MEMORY est retenu pour financement. Cette nouvelle aplanit en partie l'avenir, et rend possible le démarrage d'une nouvelle séquence pour le processus. Dans cette séquence, il y a de nouveau diverses finalités partagées. Dans un premier temps, l'objectif est de conclure la négociation avec la CE afin de valider l'obtention du financement. C'est pour atteindre cet objectif que des réunions de consortia sont organisées, que l'on rédige des contrats de partenariat, que l'on détaille ce que sera la mémoire visée, que l'on gère et que l'on intègre les modifications d'ingrédients survenues durant la période de latence (comme par exemple le départ de Li-sandro pour l'Autriche).

Une fois le contrat mis au point, une nouvelle finalité existe et est partagée entre les membres du consortium : produire un prototype de eMram ayant certaines caractéristiques, dans un horizon de trois ans. Cette finalité est inscrite dans un contrat, dont tous les membres sont signataires. Elle est donc centrale pour comprendre ce qui se passe dès lors dans processus. C'est autour de cette finalité que le travail a été planifié et réparti, que des moyens humains et techniques sont engagés, que ici et là, dans le consortium, des travaux de recherche et de conception sont lancés.

La bifurcation qui survient suite au départ d'Hector en Octobre 2006 ne suffit pas à faire disparaître une finalité partagée dans le projet. Le véhicule MEMORY, et en particulier ses membres individuels, trouve de nouveaux objectifs. Le processus MEMORY doit désormais faire la preuve du concept, à défaut de produire des prototypes pré-industriels de eMRAM et on va se concentrer sur l'obtention d'un Delta R / R acceptable. Lorsque nous quittons le processus MEMORY en cours à la fin de 2006, c'est ce nouveau moteur téléologique qui tire le processus à lui. On a modifié officiellement l'objectif du projet dans un avenant au contrat, et réorganisé les ingrédients de façon à tendre vers ce but.

Pourtant, les moteurs téléologiques ne suffisent pas à expliquer toute la logique du cheminement de MEMORY. Le processus n'est pas linéaire, tendu vers des finalités. Il peut stagner (comme dans la séquence de latence ou encore s'accélérer (comme au moment de la bifurcation PCRD). Pour mieux comprendre cela, nous devons comprendre comment le processus MEMORY doit se dérouler et trouver sa place dans un environnement plus large, fait d'institutions et d'organisations, qui elles aussi peuvent peser sur le déroulement de MEMORY.

Section 12.2 Les effets contradictoires des moteurs

évolutionnistes

Pour observer un moteur évolutionniste dans un processus, il faut replacer un phénomène dans une population de phénomènes comparables, puis observer des mécanismes de variation, de sélection et de rétention dans cette population. Dans le cas de MEMORY, il faut donc replacer, dans un premier temps, le processus de conception d'une nouvelle mémoire eMram dans une population d'autres projets de mémoires.

12.2.1 La population des projets de mémoires et

MEMORY

Dans le monde, il existe des centaines de projets relatifs à la conception de nouvelles mémoires informatiques. Les mémoires sont un enjeu majeur de l'électronique, pour l'informatique, pour la téléphonie, et pour toute une génération de nouveaux dispositifs portables et communicants (on pense à l'iphone, à des GPS, des portables, etc.). Au début des années 2000, les MRAM, les mémoires mortes/vives sont apparues comme une option technologique de choix pour les mémoires du futur. Tous les grands acteurs de ce domaine se sont lancés dans des projets visant à mettre au point des MRAM (IBM, Motorola, Infineon, ST Microelectronics). C'est dans ce climat, cet engouement pour une technologie, que Hector lance son propre projet, basé sur le concept de Nikita :

"[...] en 2000, 2001, on parle beaucoup de MRAM dans la presse. IBM sort un premier proto en 2001. Nikita me recontacte en 2001 avec une idée qui prend la suite d'un projet réalisé avec l'IMEC (Belgique) dans le cadre d'un autre projet européen. Ils avaient démontré des effets intéressants ferromagnétiques sur des petites surfaces. A partir de ça ils avaient inventé un nouveau point mémoire, beaucoup plus intégré qu'une mémoire magnétique traditionnelle, avec des couches au dessus du silicium. [...] . Moi de mon côté ça m'intéressait de créer un truc là dessus donc on a monté STARTER.

Florent : Toi t'avais envie de créer une société. C'était un rêve ?

Hector : Oui oui, je me suis dit qu'il y avait une bonne occasion. Il y avait vraiment beaucoup de communications sur les MRAM. C'était vraiment vu comme la mémoire universelle."

Extrait Entretien Hector

Le projet MEMORY s'inscrit donc bien dans la population des projets de conception de mémoires MRAM. Cependant, il s'en démarque aussi, puisque dans MEMORY on souhaite créer le magnétisme directement dans les couches basses du module, au niveau du silicium, et non dans les couches supérieures. De ce fait, MEMORY représente une VARIATION dans la population des projets de mémoire, ce qui est le premier principe d'un moteur évolutionniste.

12.2.2 Le PCRD comme principe de sélection

La CE, au travers de son programme de soutien à l'innovation, le PCRD, peut orienter en partie les axes explorés par les individus en Europe. Dans le PCRD, tout ne peut pas être financé. Un projet doit correspondre au programme de travail édité par la CE. Ce programme est mis au point par des fonctionnaires de la CE, grâce à l'appui de la communauté scientifique. Ainsi, le programme fait des choix *a priori* sur les thèmes d'exploration qui pourront recevoir des financements européens, et sur les thèmes exclus de ces supports. Concrètement, deux fois par an, un appel à projet est lancé par la CE, chaque appel étant ciblé sur un nombre limité de thèmes issus du "programme de travail". Les associations, entreprises, laboratoires européens ont alors quelques mois pour se constituer en consortia et monter une proposition de projet. L'adéquation des projets par rapport aux thèmes du programme de travail est un critère d'évaluation essentiel des propositions (20% de la note). Pour recevoir un tel financement, il est donc essentiel de bâtir une réponse suivant au plus juste les demandes de la CE.

Il y a donc ici un principe de sélection de projets à l'oeuvre, qui vient s'exercer sur toute une population de projets. La population des projets de mémoires informatiques (dont MEMORY) n'échappe pas à cette pression comme le fait remarquer Nikita :

"Le même projet lancé avant : aucune chance. Après non plus. Il y avait une fenêtre. C'est souvent comme ça. Des brevets dorment souvent. Les premiers articles sur le laser dataient d'avant la guerre. Les lasers n'ont été réalisés que dans les années soixante."

Extrait entretien Nikita

Le projet MEMORY a donc profité de cette fenêtre, c'est à dire, à un certain moment, de l'existence d'une possibilité de financement. Cette possibilité est une fenêtre, puisqu'elle ne dure que le temps de l'appel à projets, soient quelques mois.

A chaque appel à projet, la CE reçoit des centaines de proposition de projets. Elle ne peut en financer, en moyenne, que 20%. La proposition MEMORY ayant passé ce filtre, elle est "sélectionnée", face à des projets concurrents, et se voit donc attribuer des ressources pour continuer son cheminement.

12.2.3 Les effets contradictoires du moteur évolutionniste

Ce moteur évolutionniste vient combiner son action aux moteurs téléologiques décrits plus haut. Parfois, l'action des ces moteurs est cumulative. A d'autres moments, ces moteurs jouent en opposition.

a) Effet cumulatif

SPARKS s'est procuré le texte de l'appel à projets quelques mois avant sa publication officielle. Nous l'avons vu, lors de la *bifurcation PCRD*, des contacts sont pris avec des *scientific officers* de la CE, pour savoir si, oui ou non, le projet MEMORY serait éligible dans cet appel (initialement, la spintronique était exclue des travaux finançables). En Juillet 2004, des fonctionnaires de la CE donnent un avis positif sur l'éligibilité du projet :

"After internal discussion and some reflection I think that you can submit a proposal which is dealing with R&D in the area of MRAM as long as sufficient and convincing industrial drive is seen in your proposal combined with innovative solutions. [...] ».

Extrait 20040726M1.txt

Bien entendu, Florent s'empresse de faire suivre ce mél aux partenaires en cours de recrutement pour MEMORY. L'annonce de cette nouvelle est reçue très positivement par les partenaires, et contribue à emporter la décision de certains de participer activement à la préparation d'une réponse commune :

"Florent, this is truely great news !

For TRON, on the behalf of Sébastien (out for vacation) I give a go for TRON".

Extrait d'un mél de Mehdi (20040727M1.txt), de TRON, après transfert du mél ci-dessus.

On constate ici que la décision de la CE de prendre en compte la proposition MEMORY, ce qui est un début de sélection positive par la CE, produit déjà des effets sur des ingrédients du processus en

cours. Un tel climat est largement positif pour *MEMORY*, qui repose sur un concept de MRAM innovant et breveté, qui a donc théoriquement le bon « profil » pour passer cette étape de sélection. Cela crée donc des conditions très favorables pour Hector et ses partenaires, et va faciliter la mise en oeuvre de leur projet de rédaction d'une réponse à cet appel à projet.

Les deux moteurs (téléologiques et évolutionnistes) ont donc ici un effet cumulatif sur le *processus MEMORY* : tous deux poussent au rapprochement entre acteurs complémentaires, tous deux favorisent la construction d'un consortium européen autour du concept de eMRAM, tous deux permettent d'expliquer qu'un groupe d'industriels et de scientifiques s'accordent pour développer ensemble un prototype de mémoire basé sur cette technologie, qu'ils mettent en commun des ingrédients pour constituer le véhicule de ce processus.

b) Effet en opposition

L'évaluation des propositions de projets faites en réponse aux appels de la CE n'est pas immédiate : des comités d'experts doivent être convoqués et réunis à Bruxelles, avant de lire et d'évaluer des dizaines de propositions. Plus de quatre mois vont s'écouler entre la date de remise des propositions (Octobre 2004) et la communication des résultats aux coordinateurs des différents projets. Entre Octobre 2004 et Mars 2005, date de la réunion entre le directeur de LABO et un représentant de la CE, la procédure de sélection en cours exerce alors un pouvoir anesthésiant sur le processus *MEMORY*, elle en gèle la progression (c'est la séquence de latence dont nous parlons plus haut). Avant d'agir, de commencer le travail prévu (ce que souhaiterait TONY, qui lui n'a pas de temps à perdre dans sa perspective industrielle), les partenaires attendent de savoir ce qui va advenir de leur projet : sera-t-il financé ?

Durant ce temps de latence, qui est imposé par la procédure de sélection de la CE, les ingrédients de *MEMORY* évoluent, parfois dans des proportions importantes, ce qui va peser plus tard sur le processus (comme par exemple le changement de laboratoire de Lisandro). Dans cette séquence, de latence, on peut donc considérer que le moteur évolutionniste crée une dynamique en opposition de celle du moteur téléologique. Le premier gèle le processus, pousse à la non action, ce qui empêche le deuxième de fonctionner, d'exercer sa force de traction (c'est parce que le projet est en suspens, du fait de la procédure de sélection, que la téléologie est en panne.

Un autre exemple de cet effet en opposition d'un moteur évolutionniste se retrouve plus tard dans le processus : au moment de la deuxième bifurcation marquée par le départ d'Hector et l'arrêt de *STARTER*. Le 1er Juillet 2003, TONY a été lauréat du concours ANVAR de la jeune entreprise in-

novante. Dans la population des Start-up, STARTER (son entreprise) est donc une jeune pousse prometteuse. Mais entre la création de l'entreprise et son succès commercial, il y a un long chemin, et les marchés comme les financeurs imposent aux entrepreneurs de multiples épreuves de sélection. Lorsqu'en Octobre 2006 STARTER doit déposer le bilan, TONY agit en bon gestionnaire : l'entreprise n'a toujours pas réussi à produire un prototype de mémoire eMRAM (le projet MEMORY n'est pas encore fini), les autres activités menées par l'entreprise suffisent à peine à équilibrer les comptes, et les financiers qui ont suivi l'aventure depuis plus de trois ans ne sont pas prêts à attendre deux ans de plus pour voir les premiers livrables du projet Européen. Il y a là un implacable **processus de sélection de la part du marché sur STARTER**. Ce moteur évolutionniste vient agir en opposition au moteur téléologique lié à la « logique de projet » du *projet MEMORY*, puisqu'il vient retrancher du *processus MEMORY* son porteur d'origine, son directeur technique, un ingrédient central symbolisant depuis le départ la téléologie de ce processus.

« TONY vient de m'annoncer qu'il désirait se retirer du projet MEMORY. STARTER a des difficultés économiques et pour des tas de raisons il ne désire plus continuer dans le projet. [...] STARTER était impliqué dans WP0 (management), WP1 (market survey) , WP4 et WP5. »

Extrait d'un mél de Paulin (20061120M1.txt)

Et pourtant, malgré cela, et contrairement à ce que nous avons pu observer dans la séquence de Latence, le processus ne s'arrête pas. Il bifurque en quelques jours, se réorganise et reprend sa dynamique... Pour comprendre ce fait, expliquer que, désormais, il n'y a pas que la téléologie pour expliquer la continuité de ce processus, il nous faut regarder de plus près les moteurs dialectiques dans MEMORY.

Section 12.3 Moteurs dialectiques : les couplages

multiples des ingrédients

A partir de Juin 2004, Hector commence à contacter divers scientifiques pour leur proposer d'entrer avec lui, *SPARKS* et *le LABO*, dans un consortium. Ce consortium est en plein construction. Le projet n'a d'ailleurs pas encore de nom, et dans les méls que s'échangent les protagonistes on parle du « projet Mram » ou du « projet Européen ». Ce n'est qu'à partir d'une réunion de travail en Août 2004, qui se tient à l'aéroport de Marseille, et à laquelle assiste une dizaine de personnes, membres de six organisations différentes et venues de 3 pays, que l'on commence à parler du *projet MEMORY*. Que font ces protagonistes lors de ces réunions, et dans les méls qu'ils s'envoient régulièrement ? Ils négocient entre eux leur engagement futur dans MEMORY : que feront nous dans un tel projet, quel sera notre apport humain et financier, à court terme quel chapitre de la proposition faite à l'Europe pouvons nous rédiger, et demain, quelle sera notre participation à la valorisation des résultats du projet ? Cette séquence *Consortium* est donc une séquence où divers acteurs négocient entre eux une vision commune de leur activité collective. En Octobre 2005, lorsque la proposition de projet arrive sur les bureaux de la Direction Recherche de la CE à Bruxelles, cette vision commune s'appelle *MEMORY*, elle a un budget, un plan de travail, une structure de gouvernance (un comité de pilotage), des moyens planifiés, etc. Bref, les négociations ont donné naissance à une forme sociale (le consortium MEMORY), qui s'est découplée en partie de *SPARKS*, du *LABO*, de *STARTER*, qui peut agir aussi comme un protagoniste à part entière dans le processus *MEMORY*. Ce mécanisme de négociation et de tension donnant naissance à une nouvelle entité est justement ce que nous avons qualifié de **moteur dialectique**.

Par définition, un processus soumis à un ou des moteurs dialectiques est un processus dont on peut expliquer l'évolution comme étant le résultat de tensions, d'affrontements, de luttes, d'opposition entre diverses forces. Ces oppositions ne sont pas nécessairement des conflits. Dans l'analyse processuelle, et pour emprunter les termes de Grossetti (2004 p 134), les entités sociales sont toujours en tension entre encastrement (dépendance) et découplage (autonomisation).

Le véhicule qui porte le raisonnement en cours durant le processus MEMORY est un assemblage d'ingrédients. Ces ingrédients sont couplés entre eux : dans la séquence projet MEMORY, par exemple, des individus sont couplés entre eux, car ils travaillent sur les mêmes chantiers. Ils sont couplés aux installations techniques qu'ils utilisent, aux dispositifs de coordination qui leurs per-

mettent d'échanger, aux inscriptions qu'ils produisent, etc. Mais, chacun de ces ingrédients est couplé à d'autres entités sociales. Par exemple, un chercheur peut être affecté, au même moment, à d'autres projets. Un microscope électronique est couplé à toute une équipe, qui l'utilise pour d'autres missions, d'autres travaux. Donc, à tout moment, les ingrédients constituant le véhicule MEMORY sont en tension entre deux forces opposées : un couplage avec le processus MEMORY, et un couplage avec d'autres entités sociales. Cette tension pèse sur le cheminement du processus.

12.3.1 La dialectique génératrice de contraintes pour le processus

En Janvier 2007, réunion de crise chez SPARKS : on organise une conférence téléphonique pour faire le point sur le test des dépôts de SiO₂ qui ont pris du retard. Sont présents deux consultants de SPARKS, le chef du projet, *Paulin*, directeur de recherche au LABO, des représentants de TRON, dont Rémy (par téléphone) et un autre membre du consortium, qui attend la livraison des plaquettes depuis des mois.

Paulin : vous avez des difficultés pour fournir les plaquettes...

Hervé : J'ai pas de solution... La façon la plus simple, la EXPERT de FLOWER en Allemagne. Pas eu temps. Machine pas opérationnelle. Machine remontée en France en Avril. On aura pas de temps machine avant Mai.... Faut donc trouver solution d'ici là."

Extrait de notes prises lors d'une conférence téléphonique à SPARKS Innovation (20070117Notes)

Nous réalisons alors que la machine de dépôt, la Selinia, a été démantelée. Le laboratoire de tutelle de TRON, le CENTRAL TECHNO, propriétaire de cette installation, a jugé qu'elle était sous utilisée. Il a donc été décidé de la démonter afin d'allouer les locaux à un autre équipement. Celui-ci ne sera opérationnel qu'en mai 2007, et son planning sera consacré, dans les premières semaines, à d'autres recherches propres à TRON. La réunion est alors consacré à trouver une alternative : y a-t-il une autre machine de ce type en Europe ? Peut-on envisager une autre technique de dépôt ?

On peut voir dans cette anecdote **un effet négatif de la motricité dialectique sur le moteur téléologique** porté par le *projet MEMORY*. Ce deux moteurs agissent là en opposition. Comme nous l'expliquions ci-dessus, le consortium MEMORY a permis de découpler l'activité collective de R&D en créant un protagoniste social (le consortium MEMORY) jouissant d'une certaine autonomie

(il a ses financements, son comité de pilotage, etc.). Mais ce découplage n'est que partiel. La dialectique, la tension entre le protagoniste *consortium MEMORY* et les autres protagonistes (*TRON*, *STARTER*, etc.) perdure. *Le CENTRAL TECHNO*, le laboratoire de tutelle de *TRON* a bien entendu conservé son autonomie vis à vis de *MEMORY*, et prend des décisions en fonction de multiples autres influences. En démantelant la *Selinia*, *le CENTRAL TECHNO* exprime cette autonomie, et vient priver *MEMORY* d'un ingrédient clef de l'action, ce qui va en quelque sorte contraindre le moteur téléologique du projet, le mettre sous tension, empêcher qu'il exerce sa motricité de façon libre et linéaire. Le *projet MEMORY* commence alors à dévier de ce qui était planifié au départ.

12.3.2 *La dialectique en support du processus*

Mais l'existence de cette dialectique entre le véhicule *MEMORY* en tant qu'acteur et les organisations membres du consortium peut aussi se révéler positive. Pourquoi le projet *MEMORY* ne s'arrête pas avec le départ d'Hector ? Nous pouvons expliquer cette continuité grâce à l'effet combiné, à ce moment là, des moteurs dialectiques et d'un nouveau moteur téléologique. Rappelons déjà que, depuis la fin de la Séquence Consortium de ce processus, le *consortium MEMORY* est un protagoniste qui s'est découpé des organisations du consortium. Il a un comité de pilotage, des financements et des règles de gestion, et l'une de ces règles prévoit justement le cas du départ d'un membre du consortium. En ce sens, juridiquement, le sort du *Consortium MEMORY* est en partie découpé de celui de Hector et de *STARTER*. C'est un des effets positifs du moteur dialectique vu dans la première séquence : *MEMORY* s'est désormais autonomisé de son initiateur et prend des décisions en son nom propre.

« Paulin, fin Novembre 2006, a appelé Litang (NDLA : le Scientific Officer de la CE) pour lui annoncer le retrait possible de STARTER. Litang s'est dit inquiet. Paulin a tenté de le rassurer en lui disant qu'il n'y avait pas de problème grave, que les partenaires avaient mis en place entre eux un contingency plan. Paulin a demandé à avoir une lettre du LABO, au nom du Consortium, de prendre acte du retrait de STARTER avec une demande d'avenant au contrat »

Extrait entretien Jim

Mieux même, il y a désormais un certain nombre de protagonistes individuels (des chercheurs, en particulier des Post-Doc) dont le sort est désormais en grande partie couplé à ce projet et à sa réussite. Ils ont donc tout intérêt à ce qu'il continue, à ce que les subventions attendues soient bel et bien versées. Lisandro, par exemple, est un scientifique réputé et a introduit les études sur la spintro-nique en Allemagne et en Autriche. *MEMORY* est un projet qui a pour lui un réel enjeu scientifique,

car dans la communauté des physiciens il y a une controverse sur l'utilisation possible de l'effet tunnel dans les mémoires. La réussite, même partielle, de ce processus, serait pour lui l'occasion de marquer des points capitaux dans cette controverse. Dès Octobre, il libère donc du temps pour interagir avec *Paulin* du *LABO* et *Jim* de *SPARKS*, afin de les aider à réorganiser ce processus. Il accepte d'en prendre la direction technique, rédige lui même un rapport pour la CE, et contribue largement à ce que le *projet MEMORY* ait désormais une orientation moins industrielle (on ne produira pas une mémoire finie, mais juste un « *proof of concept* », permettant d'observer l'effet attendu sur une zone de silicium), à ce qu'une nouvelle finalité soit définie.

L'intervention de *Lisandro* dans la négociation qui mène à la construction de *MEMORY V2* est l'effet de la dialectique, du jeu et des tensions entre les membres de ce consortium. Paulin trouve là un allié de circonstance et est heureux de pouvoir laisser une partie de la direction de ce projet à un partenaire en qui il a confiance. Les autres partenaires acceptent rapidement cet état de fait, qui à court terme assure la pérennité du projet et le versement des subventions prévues. L'intérêt de *Lisandro* pour *MEMORY* est ancien, mais il devient particulièrement visible en ce mois d'Octobre 2006, moment de bifurcation dans ce processus. A partir d'Octobre, cette motricité est cumulative avec le moteur téléologique lié au projet *MEMORY V2*. L'une comme l'autre poussent à ce que le projet se réoriente et se poursuive dans une nouvelle direction, avec une nouvelle gouvernance.

Section 12.4 Un jeu à trois moteurs et la métaphore du voyage de Christophe Colomb

Dans les sections précédentes, nous avons montré que la dynamique du processus MEMORY pouvait être comprise grâce au jeu de divers moteurs. Ces moteurs agissent à des moments divers, et ne produisent pas les mêmes effets. De plus, il existe des effets combinés de moteurs qui rendent leur jeu complexe.

Y-t-il un cycle de vie du processus d'innovation ? Savoir s'il y a un mécanisme génératif de type « cycle de vie » dans un tel processus revient à se demander si l'enchaînement des séquences de MEMORY correspond ou pas à une norme, à une logique liée à une catégorie de processus. Pour le déterminer empiriquement, il nous faudrait réaliser des études processuelles sur d'autres objets comparables, comme par exemple d'autres projets collaboratifs européens, afin de voir si le séquençage de MEMORY correspond à un « pattern », un modèle stable pour ce type de processus. Nous n'avons malheureusement pas un tel matériau dans cette thèse, et restons donc, pour le moment à ce jeu à trois moteurs.

Avec le jeu à trois moteurs et le concept du véhicule, nous avons un ensemble de concepts qui nous permettent de mieux comprendre la continuité du raisonnement dans le processus MEMORY. Peut-on, à partir de ces concepts, monter en généralité et proposer une théorie du développement temporel des processus d'innovation, applicable à d'autres processus d'innovation ? Nous proposons ici de décontextualiser les concepts de moteurs et de véhicule, en raisonnant cette fois-ci par induction. Pour faire cette montée en généralité, nous proposons d'utiliser une métaphore : celle des voyages d'exploration

12.4.1 Origine de cette métaphore

Lorsque nous avons proposé pour la première fois le concept de véhicule lors de séminaires de recherches ou à l'occasion de discussions avec des scientifiques, nous avons pris conscience que le vocable de "véhicule" était systématiquement associé, en langue française, à une voiture. Or, une voiture est bien un assemblage d'ingrédients, mais un assemblage très solide, dont les constituants sont très fortement couplés. Bien entendu, il arrive qu'une voiture tombe en panne ou qu'elle perde un élément en cours de route. En revanche, il est rare que le conducteur investisse une grande partie

de son temps à construire sa voiture, puis à en maintenir l'intégrité en cours de route. L'image de la voiture est ici trop statique.

Nous avons alors pensé à l'image d'une caravane traversant le désert. Une caravane est traditionnellement constituée par divers commerçants, qui associent des moyens (chameaux, guides, vivres, etc.) dans un seul et même convoi. Une caravane est une forme de consortium (divers commerçants l'ont créée), elle possède de nombreux ingrédients, elle peut survivre à la disparition de certains de ces ingrédients (un chameau peut mourir en cours de route), elle peut bifurquer pour éviter l'attaque de brigands, etc. Mais, à la différence d'un processus comme MEMORY, une caravane sait où elle va et comment y aller. Elle parcourt des pistes pratiquées parfois depuis des siècles et peut compter sur des guides ayant effectué le trajet à de multiples reprises. Ce n'est pas le cas dans un processus d'innovation !

Nous avons donc choisi de comparer le véhicule de l'innovation à l'expédition d'un explorateur. Une expédition, en plus d'avoir un véhicule complexe et morcelé comme une caravane (il y a souvent plusieurs navires et des dizaines de marins dans une escadre), engage ce véhicule dans un but incertain, et selon une route jamais parcourue. L'expédition est soumise à des moteurs téléologiques forts (l'ambition, le rêve d'un explorateur), à des moteurs évolutionnistes (tous les explorateurs ne parviennent pas à convaincre un armateur ou un monarque de financer leurs aventures et seules certaines sont choisies) et à des moteurs dialectiques (il y a des tensions entre les capitaines dans une escadre).

Pour filer cette métaphore, nous utilisons l'expédition la plus célèbre d'entre toutes, celle de Christophe Colomb vers les Indes.

12.4.2 Le pouvoir téléologique d'un concept

a) L'importance de la disjonction

Dans le cas de MEMORY, comme dans le cas de Colomb, sur le plan cognitif, il y a une disjonction. Dans le cas de MEMORY, il s'agit de mémoires mortes/vives et dans le cas de Colomb, il s'agit de trouver une route pour les Indes passant par l'Ouest. Au XVI^{ème} siècle, joindre les Indes par l'Ouest est une proposition n'ayant pas de statut univoque. Certains jugent que c'est impossible, d'autres pensent que le voyage est réalisable. En fait, il y a controverse sur la circonférence de la terre, ce qui modifie les distances à parcourir théoriquement. Mais personne n'a pu monter une expédition et faire ce voyage, pour donner un statut au concept de la route par l'Ouest. Colomb pro-

pose donc de faire ce "test", donc de provoquer une conjonction, pour donner un statut à cette proposition (un statut qu'il espère positif, bien entendu).

Dans la réalité, et avec le recul historique, on sait que Colomb n'a pas donné de statut à la proposition de la route de l'Ouest. Il a découvert un autre continent. Mais ce qui importe ici, c'est que le projet de Colomb va se monter autour d'un concept, et non d'une certitude. L'important est l'attrait de ce concept. Qu'il soit faux au final n'a pas d'incidence sur la réalisation du projet.

Il y a donc, au départ d'un processus collectif d'innovation (ou d'exploration) un concept à la limite de l'état de l'art, suffisamment attractif pour éveiller l'attention. C'est le cas des eMram, qui sont considérées au début des années 2000 comme une option technologique crédible, comme c'est le cas d'une route vers les Indes plus courte et directe, qui permettrait de rendre plus rentable le commerce des épices. Ces concepts arrivent donc dans un climat relativement favorable. Encore faut-il, pour explorer les concepts, réunir des ressources de conception, construire un véhicule, qui va permettre d'aller plus loin dans cette exploration. Christophe Colomb ne peut pas partir seul, en barque, découvrir la route de Indes !

b) Au départ : un véhicule léger

Le véhicule permettant la disjonction de "la route de l'Ouest pour l'Inde" est constitué de peu d'ingrédients. Il y a Colomb bien entendu, qui s'appuie sur diverses sources réputées de son époque, et en particulier les estimations de Ptolémée dans *Géographie*, un livre qu'il cite souvent (Heers, 1981, p156). Il en conclut que la circonférence de la terre est de 30 000 km (elle est en fait de 40 000 km). Colomb est un marin (probablement génois) et a donc des compétences pour monter une expédition maritime et la piloter. Mais en plus d'être un marin, c'est un érudit, capable de lire les auteurs anciens, de calculer des routes. Il est donc à la croisée entre le monde des marins (un monde de marchands, de commerçants) et celui des érudits.

Il y a là des correspondances avec le véhicule au début du processus MEMORY : un entrepreneur, connaissant les réalités de l'industrie de l'électronique, en contact avec des scientifiques, décidant de donner une réalité à un concept, est un individu réunissant des compétence diverses, à la fois opérationnelles (comme le savoir naviguer de Colomb) et scientifiques. La disjonction, ce début du processus nécessitant d'être créatif, de faire le pont entre divers domaines de la connaissance, semble reposer sur un véhicule souple, léger, avec un faible couplage des ingrédients.

12.4.3 La nécessité d'être choisi

Un concept attrayant ne suffit pas. Durant les quelques années que nous avons passées à accompagner des innovateurs dans leurs projets, c'est une croyance que nous avons pourtant vu très souvent. Beaucoup d'inventeurs s'imaginent que leur idée, parce qu'elle est brillante, originale, utile, va tout emporter sur son passage, va susciter une adhésion rapide des partenaires, va s'imposer par elle-même. Nous avons pu souvent vérifier qu'il n'en était rien, ce que la SAR a bien montré, en montrant qu'une idée qui fonctionne, c'est une idée autour de laquelle se crée un réseau socio-technique, à force de recrutement et de traduction. Avec les concepts de véhicule et de moteurs, on peut encore mieux décrire cette étape importante dans un processus collectif d'innovation, celle durant laquelle un véhicule léger, porteur d'un concept, cherche à être "élu", à être remarqué, à obtenir soutien financier et politique.

a) Les premières expansions de concept

Pour voir son projet remarqué et pris en compte, il faut l'expanser, le détailler, l'enrichir des connaissances disponibles, afin de le replacer dans l'état de l'art, dans le cadre de ce qui est su (c'est l'opérateur $K \Rightarrow C$). Socialement, cela est nécessaire pour rendre crédible le concept aux yeux du monde. Le cas de Colomb est à ce titre particulièrement éclairant. Le concept de la route de l'ouest est ancien. Au cours de sa vie, grâce à ses lectures et ses expériences, ce concept va être expansé. Colomb a une idée de la distance à parcourir pour atteindre l'Asie : 4 440 km (Heers 1981 p160) et donc de l'escadre qui lui sera nécessaire pour parcourir cette distance, la quantité de vivres à apporter, etc. Il a dessiné déjà le début du chemin (qui comprend une escale aux Canaries, qui sont les limites des terres connues en Atlantique). Il a donc une idée assez précise de ce que serait sa route de l'Ouest, de la manière de l'emprunter. Elle se base sur des références et des écrits disponibles à son époque.

C'est l'opération à laquelle se livrent Hector et Nikita en 2003 et 2004, en particulier lors de la séquence *Fondations*. Pour préparer le projet à venir, et aussi pour convaincre financeurs, partenaires et institutions de la faisabilité de ce projet, ils enrichissent leurs concepts de connaissances disponibles sur les matériaux et le magnétisme.

Pourtant, Colomb se trompe. La distance réelle entre l'Espagne et le Japon est de plus de 19 000 km. En fait, à l'époque de Colomb, il y a une controverse sur la taille réelle de la terre, parce que l'on interprète de diverses manières les calculs réalisés durant l'Antiquité. Selon Heers (1981, p157), les mesures proposées par Aristote, par exemple, étaient pourtant proches de la réalité. Mais il

semble que Colomb choisisse de s'appuyer sur les écrits les plus optimistes, ceux qui lui permettent de bâtir un projet d'exploration réalisable.

On peut trouver la même tendance, de nos jours, dans les processus d'innovation, c'est à dire une tendance à préférer des données ou des connaissances favorables à son projet. Ce choix n'est pas nécessairement une manoeuvre délibérée. Il tient plus selon nous (hypothèse que nous ne vérifions pas ici empiriquement) à la façon même dont fonctionne l'innovation. Dans la mesure où, très souvent, les concepts proposés se situent aux limites de l'état de l'art, ils sont dans des zones où la controverse existe, où les connaissances sont instables. Dans le cas de MEMORY, par exemple, le fait que l'on puisse contrôler le spin des électrons dans le silicium, qui est un point essentiel du concept eM-RAM, est sujet à des débats scientifiques :

"des papiers expliquent pourquoi c'est pas possible. Lisandro a utilisé les expériences loupées pour faire ses propres recherches. Mais des gens continuent à utiliser ces arguments théoriques pour dire que ça ne va pas marcher. So you need a proof of concept."

Extrait des notes prises lors d'un entretien avec Lisandro

Mais dans cette controverse, les concepteurs de MEMORY ont choisi leur camp, et appuient donc leur concept sur les expériences et les articles qui rendent crédibles leurs propositions.

b) Trouver des supports

L'exploration de Christophe Colomb sera soutenue et en partie financée par la reine d'Espagne Isabel la Catholique, en 1492. Mais avant cela, Colomb a proposé son projet d'exploration à la plupart des grandes cours d'Europe. Cette recherche de support et de financement va occuper Colomb une dizaine d'années. Il est aidé dans cette tâche par son frère Bartoloméo (qui ira en France et en Angleterre) et par des mécènes croyant déjà à son projet. Colomb ne présente pas seulement les arguments scientifiques liés à la faisabilité de son projet. Il en présente aussi les retombées commerciales et spirituelles (les rois catholiques espagnols sont dans une logique d'expansion du christianisme liée à la reconquête de l'Espagne). Nous ne retraçons pas ici toutes les tentatives menées (au Portugal, en Espagne et même en France et en Angleterre). En revanche, le dossier de Colomb est soumis plusieurs fois à expertise en Espagne, les monarques demandant à des "spécialistes" de l'époque d'évaluer le projet du navigateur. En 1490, par exemple, les experts de la cour Espagnole rejettent le projet, en arguant que la terre doit être plus grande que ce que prétend Colomb (*Ibid* p192). Ce verdict ne sera pas définitif, puisqu'au final, le 30 Avril 1492, un mandate-

ment de la cours espagnole accorde à Colomb le support et le financement pour monter son exploration.

Lors de la séquence fondation, Hector lui aussi cherche un financement pour son projet. Il a déjà trouvé des appuis auprès de l'Anvar, et de fonds d'investissement, ce qui lui permet de mener ses premières démarches, mais ce n'est pas assez pour lancer le projet qui mènera aux prototypes. C'est ainsi que, durant la séquence *fondations*, on le voit chercher des financements dans diverses directions (on tente par exemple de faire une proposition dans le cadre Eurêka, on consulte les diverses appels d'offre du PCRD). Ce n'est qu'au moment où un appel d'offre IST/NMP est publié, début 2004, qu'une possibilité sérieuse de financement apparaît. Cette possibilité est confirmée par la suite, et la séquence *consortium* voit un groupe d'acteurs se constituer autour du projet. Il faut à présent montrer les retombées à venir des mémoires eMram, montrer qu'elles permettront à l'industrie européenne d'avoir un avantage compétitif sur ses concurrents. Comme dans le cas de Colomb, la CE confie l'évaluation du projet à des experts, qui vont donner un avis sur le concept MEMORY et la faisabilité du projet proposé.

Dans le cas de Colomb comme dans le cas de MEMORY, le processus est désormais soumis à un moteur évolutionniste. Dans les deux cas, le porteur du concept doit se distinguer dans une population de très nombreux autres concepts (à l'époque de Colomb, il y aussi de nombreux projets d'exploration qui cherchent des appuis). Pour se distinguer, il faut étendre le concept, le placer dans des controverses, en montrer les avantages futurs, les retombées, puis le soumettre à l'évaluation des experts, attendre qu'une "fenêtre" s'ouvre, saisir une opportunité. Il faut, pour que le processus continue, passer cette première étape. Cette période là du processus est marquée par la recherche d'un support, par la nécessité d'être choisi a priori, d'être crédible parmi d'autres projets. C'est un premier seuil à franchir, nécessaire pour la continuité du processus.

12.4.4 Le découplage du véhicule

a) Croissance du véhicule

Une fois le soutien de la Reine d'Espagne accordé, tout s'accélère pour Colomb. Il peut à présent constituer son escadre. Dans ses équipages, il place des gens de confiance, qui font partie de son cercle, on dirait aujourd'hui de son réseau, et en particulier des cousins et amis de sa compagne, Béatriz de Harana (Heers 1981 p184). D'ailleurs, un grand nombre de ces compagnons de voyage vont être embarqués dans les trois voyages successifs de Colomb. Pour ce qui est du choix des navires, Colomb se limite à une flottille de trois bateaux, et opte pour des caravelles, qui sont pour

l'époque des bateaux de taille modeste et maniables, sans comparaison avec les grands navires utilisés pour le commerce des épices. Il décide de partir du port de Palos : il y possède des relations et connaît personnellement les navigateurs et les marins de ce port. Colomb n'est donc plus le seul véhicule de ce processus. Le concept de "la route de l'ouest" est désormais porté par trois navires, des armateurs, des navigateurs, des dizaines d'hommes d'équipage, des médecins, scientifiques, leurs instruments, leurs vivres etc.

Dans la phase *consortium* de MEMORY, nous assistons au même mouvement. De nouveaux ingrédients viennent s'associer au véhicule, pour répondre à l'appel à projets de la CE. Et, comme dans le cas de Colomb, on utilise les réseaux inter individuels pour trouver de nouveaux partenaires. Rappelons par exemple que, si ONYX est contacté par Hector, c'est parce que ce laboratoire est connu personnellement de Mehdi. On utilise donc, là aussi, les réseaux d'individus pour approcher des partenaires, leurs demander de se joindre à l'aventure. Et cela est d'autant plus facile que, désormais, il existe un appel d'offre porteur pour MEMORY (c'est là l'effet positif du moteur évolutionniste)

b) découplage du véhicule

Le 3 Août 1492 l'escadre part de Palos. Elle fait escale aux Canaries, puis vogue vers l'inconnu à partir du 9 Septembre 1492. Bateaux, équipages, vivres, instruments, s'éloignent donc de la terre, du monde connu. Ils sont liés dans une même escadre - un même véhicule - dans l'objectif d'explorer ce concept de la route de l'ouest. L'escadre s'est découlée de l'Espagne et de la terre ferme.

L'image de cette escadre nous permet de bien saisir ce qui se passe dans MEMORY, au moment où le projet européen est financé, qu'un contrat de partenariat est signé entre les partenaires et que les travaux commencent. D'une part, le véhicule se découple, devient une entité sociale, dotée d'une gouvernance et de moyens, ce qui lui confère une indépendance relative vis à vis des organisations d'origine. Le véhicule a désormais un budget, un objectif, une temporalité qui lui est propre. La finalité de ce véhicule est commune et partagée, ce n'est plus seulement celle d'Hector et de Nikita, c'est celle de tout le consortium. D'autre part, chaque ingrédient du véhicule est désormais couplé aux autres ingrédients du véhicule. Ce couplage est relativement fort. Par exemple, il ne viendra pas à l'idée d'un marin, embarqué sur la Pinta, de se désolidariser de l'aventure : le retour à la nage lui est impossible ! Dans des proportions différentes, nombreux sont les participants à MEMORY dont le sort est en partie lié au processus. Un scientifique, un doctorant, un post doc, s'il quitte désormais MEMORY, va perdre un financement, voire un salaire, ce qui aura de fortes conséquences sur d'autres sphères de son activité (y compris sur des sphères personnelles). On comprend, avec cette

image, que la force d'un consortium financé, c'est d'assurer la stabilité des ressources de conception dans le temps, en créant une situation dans laquelle les ingrédients sont fortement couplés entre eux. Le véhicule a donc désormais une certaine forme d'inertie, il est lancé sur un effort de plusieurs années, et il ne va pas éclater à la première difficulté.

L'histoire de Colomb donne un bon exemple de cette inertie de l'exploration une fois lancée. L'expédition a trouvé de nouvelles terres depuis le 12 Octobre. Mais le jour de Noël 1492, la Santa Maria, l'un des trois bateaux de l'escadre, va s'échouer sur un banc de sable. Colomb et ses hommes doivent réorganiser l'expédition. Les vivres et les instruments importants sont transférés sur les autres bateaux ou à terre, et une partie de l'expédition s'installe dans un Fortin sur Saint Domingue. L'expédition continue sa route, bien entendu, et fait son voyage retour. Le véhicule s'est donc réorganisé, malgré la perte d'ingrédients essentiels à son fonctionnement. On remarque pourtant que de nombreux ingrédients ont été recyclés : on récupère des hommes, des vivres, des instruments. On va même jusqu'à utiliser le bois du navire échoué pour construire un fortin sur Saint Domingue. Cette réorganisation est possible grâce à deux moteurs qui à ce moment là poussent dans le même sens : le moteur dialectique, qui fait que les ingrédients sont tous couplés entre eux dans une même expédition, et que ce couplage est assez fort pour résister à de tels chocs (on ne peut s'empêcher ici de penser à l'expression *être dans une même galère*). Et le moteur téléologique : ce qui compte, c'est de démontrer le concept de la route de l'Ouest (c'est la finalité) et donc de revenir en Espagne coûte que coûte, avec des éléments tangibles pour valider la proposition.

On retrouve dans MEMORY une histoire comparable à celle là. Lorsque STARTER se retire du consortium avec Hector, où que la Selinia est démantelée, le véhicule MEMORY perd un ingrédient de base de son véhicule d'origine. Pourtant, à chaque fois, le véhicule se réorganise et continue sa route. D'une part parce que MEMORY est désormais un consortium, découplé en partie de ses origines, et dont beaucoup d'autres ingrédients dépendent (pour de nombreux d'acteurs, il y aurait beaucoup à perdre si le processus s'arrêtait) et d'autre part parce que ce véhicule est doté d'une finalité puissante et partagée qui résiste au départ d'Hector, qui permet sa réorganisation. On comprend que, dans une telle phase, lorsque le processus est porté par un véhicule plus large, découplé de son contexte d'origine, et permettant un couplage fort entre ingrédients, il garantit la continuité du processus de raisonnement en cours. En cas de choc, d'épreuve imposée par des événements extérieurs, le véhicule se réorganise et recycle en partie des ingrédients issus de phases antérieures

(c'est un couplage horizontal). C'est ainsi que le LABO conserve des plaquettes de silicium fabriquées au début du processus, dans une autre séquence. Des ingrédients créés en grande partie par STARTER (comme la proposition de projet, devenue depuis le DOW, dispositif de coordination essentiel) sont à présent diffusés et partagés dans le consortium. Le bateau STARTER s'est échoué, mais une partie de ce qu'il portait (la direction technique, le brevet, le DOW) ont été transférés vers le reste de l'escadre.

12.4.5 L'exploration: un véhicule et un jeu à trois

moteurs

En résumé, si l'on compare le processus de Colomb à celui de MEMORY, on voit se dessiner un processus d'exploration que l'on peut décrire avec un véhicule en constante évolution et un jeu à trois moteurs. On pourra en décrire le développement temporel de la façon suivante. :

- Au début du processus, un véhicule léger sert aux premières disjonctions. Le moteur principal est alors téléologique. Ce véhicule repose sur quelques individus, utilisant des ressources limitées (des inscriptions, des liens leur permettent de connaître l'état de l'art). Des liens sont établis entre des champs de connaissance traditionnellement disjoints ce qui permet de faire des propositions créatives. La continuité du processus de raisonnement n'est alors pas assurée : le plus souvent, il faut réunir des ingrédients très nombreux, et les associer au véhicule en cours, ce qui n'est pas aisé.
- Dans un deuxième temps, le concept doit être choisi, faire l'objet d'une sélection par des institutions. Le véhicule est alors soumis à un moteur évolutionniste. Pour être sélectionné par ce moteur, le véhicule est mobilisé pour expander le concept, le placer dans les controverses du moment. On en montre les avantages, les retombées. Le choix d'un concept peut-être long, ce qui crée des "suspens" dans le développement temporel, et qui correspond aux périodes de latence avant le choix définitif.
- Une fois que le processus est sélectionné, le véhicule va s'étendre et recruter de nouveaux ingrédients. Le raisonnement reprend, et intègre les connaissances portées par les ingrédients qui rejoignent le véhicule. L'expansion du véhicule mobilise en particulier les liens inter personnels du véhicule d'origine, qui sont utiles pour se rapprocher de partenaires connus. Le moteur téléologique fonctionne à plein dans cette séquence : la finalité est partagée et devient celle de tout un ensemble d'ingrédients. Dans les négociations entre partenaires (ingrédients individuels et organisationnels) on voit l'effet de moteurs dialectiques.

➤ Le véhicule se découple finalement de ce contexte d'origine. Il ne tient plus seulement sur la motivation de quelques uns. Il est désormais engagé dans une exploration dont on connaît la temporalité, il est doté de moyens fortement couplés entre eux (en particulier des dispositifs de coordination). Il a à présent acquis de l'inertie, c'est à dire une faculté à continuer sa route malgré les aléas, y compris la perte d'ingrédients importants. Cela est dû au fort couplage des ingrédients entre eux et au partage d'un moteur téléologique. Le raisonnement peut se dérouler : des connaissances sont créées et des conjonctions ont lieu. Et en cas de coup dur, il existe des ingrédients durables, diffusés dans le consortium, couplés au reste du véhicule, sur lesquels on peut compter pour réorganiser ce véhicule.

12.4.6 Conclusion : la thèse du véhicule

Grâce à cette étude de cas et en utilisant la métaphore de voyage d'exploration de Colomb, nous avons pu expliquer la continuité du raisonnement de conception sur les eMram, malgré les transformations de l'assemblage d'ingrédients mobilisés au cours du processus collectif d'innovation MEMORY.

Tout au long de cette exploration, on peut suivre le devenir d'un véhicule, constitué par les ingrédients de conception. Cet assemblage d'ingrédients évolue, sous l'effet de moteurs. En particulier, l'existence de moteurs téléologiques tirent le processus dans le sens d'une finalité. A mesure que le temps passe, et lorsque le véhicule s'étend et se découple, ce moteur téléologique est partagé et donne au véhicule une motricité importante. Pourtant, cela n'est pas suffisant pour comprendre tout le cheminement de MEMORY. Le premier écueil dans un tel processus, est de réussir l'épreuve (ou les épreuves) imposée par un moteur évolutionniste, qui filtre les concepts, fait le tri dans une population élargie de concepts. En revanche, un fois passé ce filtre, le véhicule jouit d'une plus grande crédibilité, et attire à lui de nouveaux ingrédients de conception. Une autre étape essentielle semble être celle du découplage du véhicule, le moment où celui-ci s'autonomise, reçoit des financements, se dote d'une structure de gouvernance. Le moment où "il quitte le port". Dès lors, le couplage entre les ingrédients devient plus fort. A tout moment, les ingrédients de ce véhicule sont en tension : ils sont couplés au véhicule et à d'autres entités sociales (un chercheur a aussi une famille, une organisation, une communauté, et un microscope est affecté à plusieurs projets, etc.). Les ingrédients peuvent donc se découpler du véhicule en cours de processus. Dans ce cas, du fait du fort couplage et de l'existence d'une téléologie partagée (on ne quitte pas si facilement le navire au milieu de

l'océan), le véhicule se réorganise, recyclant au passage des ingrédients des séquences précédentes, ce qui va assurer la continuité de l'activité de conception.

La continuité du processus peut donc s'expliquer par la persistance d'un véhicule qui se transforme sous l'effet combiné de moteurs. A plusieurs moments dans le processus, la persistance du véhicule est précaire (au moment de la sélection par le moteurs évolutionniste, au moment de la séquence de latence, ou lorsque le véhicule doit se réorganiser après des changements importants, lorsque des ingrédients importants disparaissent). Parfois, cette persistance implique des changements importants, des bifurcations. Dans ce cas, c'est le recyclage d'ingrédients anciens qui assurent la continuité du processus MEMORY.

Chapitre 13. Discussion des résultats

Dans ce chapitre, nous rapprochons les observations empiriques menées pour décrire le cas MEMORY avec les propositions théoriques utilisées dans notre raisonnement (section 1). On constate que ces propositions sont non seulement confirmées, mais que nous pouvons désormais aussi les enrichir, par induction à partir de nos observations sur le terrain.

On peut alors décrire avec plus de précisions la théorie du véhicule introduite dans cette thèse (section 2) : *Il existe un véhicule pour un processus collectif d'innovation, qui est un assemblage d'ingrédients mobilisés pour l'activité de conception au cours du processus. Ce véhicule change dans le temps sous l'effet de moteurs et il assure la continuité du raisonnement en permettant le couplage horizontal des ingrédients de conception.* Nous discutons ici de la valeur de cette théorie et décrivons dans quelles conditions elle peut s'appliquer à d'autres processus d'innovation.

Cette théorie permet aussi de proposer des contributions aux théories qui ont influencé notre travail de recherche (section 3). C'est en particulier le cas pour la Sociologie de l'Acteur Réseau, la théorie CK de la conception et l'Analyse Processuelle.

Section 13.1 Retour sur les propositions théoriques

Rappelons que, lors du chapitre 5, nous avons fait les propositions théoriques suivantes :

P1, les ingrédients	<i>Le raisonnement collectif s'appuie sur un assemblage d'ingrédients constitué par un collectif innovant et par les ingrédients mobilisés et subis par ce collectif.</i>
P2, le couplage horizontal	<i>Il y a continuité du processus collectif de raisonnement s'il y a un couplage horizontal entre les ingrédients mobilisés dans le cours du processus.</i>
P3, les moteurs	<i>Au cours du processus, les ingrédients mobilisés pour la conception (et leurs assemblages) se modifient sous l'effets d'un ou de plusieurs moteurs.</i>

Chacune de ces propositions théoriques a été utilisée lors de l'étude du cas MEMORY. Nous pouvons donc revenir sur chacune d'entre-elle, et voir ce que l'exploration empirique permet de dire sur leur statut.

13.1.1 Les ingrédients de conception

La proposition théorique P1 : ***Le raisonnement collectif s'appuie sur un assemblage d'ingrédients constitué par un collectif innovant et par les ingrédients mobilisés et subis par ce collectif*** a été opérationnalisée dans le cas MEMORY, grâce à un codage de nos données et à la théorie CK de la conception.

La théorie CK nous a permis de repérer dans le processus MEMORY l'avancée du processus sur un plan cognitif. On isole ainsi une série d'opérations de conception qui permettent d'aller du concept eMram de Nikita à la production de prototypes quelques années plus tard. Nous avons ensuite, pour chacune de ces opérations de conception, décrit par quel assemblage d'ingrédients tel ou tel opération de conception avait été réalisée sur un plan social. A plusieurs reprises, nous avons montré que le raisonnement MEMORY s'appuyait bel et bien sur l'activation d'un ensemble d'ingrédients, que l'on pourrait qualifier d'ingrédients de conception.

En outre, au cours de nos opérations de codage des données, nous avons proposé de regrouper ces ingrédients de conception en sept catégories :

- les individus,
- les liens
- les organisations
- les dispositifs de coordination
- les communautés
- les appareillages techniques
- les inscriptions

Ces catégories ne forment pas une taxonomie : nous n'avons pas tenté, par exemple, de montrer les caractéristiques distinctives entre ces catégories, de dire par exemple que les "organisations" sont plus stables que les "liens", ou que les "communautés" sont moins durables que les "inscriptions". De plus, les frontières entre ces catégories ne sont pas toujours parfaitement délimitées. Nous l'avons vu dans MEMORY, une inscription peut devenir un dispositif de coordination par exemple. En revanche, ces catégories permettent d'introduire une grande richesse dans notre analyse, de saisir une réalité complexe.

On note aussi que les "connaissances" ne sont pas une catégorie d'ingrédients dans notre approche. Pour nous, les connaissances sont mobilisées dans le cours de la conception de façon complexe. La seule façon de restituer cette complexité, c'est de rétablir le jeu d'ingrédients qui va permettre à une connaissance d'être mobilisée au cours de la conception.

La proposition théorique P1 est donc localement vérifiée dans le cas de MEMORY, et est en partie enrichie par une catégorisation des ingrédients de conception.

13.1.2 Le couplage horizontal

La proposition théorique P2 "*Il y a continuité du processus collectif de raisonnement s'il y a un couplage horizontal entre les ingrédients mobilisés dans le cours du processus*" a pu être testée lors de l'étude du cas MEMORY, en procédant au découpage temporel du processus MEMORY en séquences distinctes et en bifurcations. Les séquences sont pour nous des unités d'analyse, au sein desquelles on peut décrire des assemblages d'ingrédients, tandis que les bifurcations sont des moments d'intense réorganisation de ces assemblages, des moments où des décisions sont prises, ou des irréversibilités sont créées. Ainsi, en comparant l'assemblage d'ingrédients d'une séquence à

l'autre, on peut déterminer quels sont les ingrédients qui se rapportent au passé, qui ont déjà été mobilisés dans le cours du raisonnement.

On observe alors deux types de couplages horizontaux :

- des ingrédients qui demeurent dans plusieurs séquences, qui restent des éléments du véhicule dans le temps (Lisandro, ou la salle blanche du K. INSTITUT sont présents dans plusieurs séquence successives par exemple).
- des ingrédients qui sont les descendants directs d'autres ingrédients présents dans les séquences précédentes (le DOW, Description of Work, ingrédient essentiel de la séquence *projet MEMORY*, est une version mise à jour de l'annexe technique rédigée dans la séquence précédente).

Le raisonnement peut donc continuer parce que, tout au long du processus, et malgré la transformation du véhicule, **il peut s'appuyer sur des ingrédients liés au passé** (c'est ce que nous appelons le couplage horizontal). Ces ingrédients sont des individus, mais pas seulement : des objets, des documents, des dispositifs de coordination jouent aussi un grand rôle dans cette continuité.

Un exemple du rôle des ingrédients non humains (pour emprunter un terme de la SAR) est le cas des plaquettes produites dans la première séquence du projet MEMORY et détenues par le LABO.

"[...] on en est encore à étudier des échantillons de ce projet. On exploite encore les résultats, on est pas certains de ne pas voir l'effet sur des échantillons que l'on a.

"[...] On ne sait pas ce que l'on va trouver. On a des durées de trois ans, mais on peut prendre plus de temps pour comprendre, interpréter."

Extrait entretien Paulin

Ces objets (les plaquettes) sont utiles à la continuité du processus, d'une part parce qu'ils ont été produit dans le passé, et d'autre part parce qu'ils sont restés couplés au véhicule : les plaquette sont stockées dans une armoire, dans un bureau du LABO. Paulin connaît l'existence de ces plaquettes, il sait quelles sont les couches de matériaux déposées sur ces plaquettes. Il y a donc, dans le véhicule, la manifestation physique de concepts. Ces concepts sont pour l'instant mis de côté, mais ils pourront encore être mobilisés dans la suite du raisonnement. Ce qui ne sera pas le cas si ces plaquettes

sortent de ce véhicule d'une façon ou d'une autre : l'armoire est jetée, Paulin part en retraite, les plaquettes sont mélangées à d'autres échantillons, etc.

Là encore, la comparaison avec Colomb éclaire de façon originale ce point précis. Durant son voyage, Colomb récupère sur les îles visitées des échantillons de bois et de terre. Il n'a pas les connaissances, le temps, les ingrédients nécessaires dans son expédition pour analyser ces résultats, dire par exemple si ce sont bel et bien des épices, des essences venant des Indes, etc. Mais il conserve ces échantillons, pour les soumettre, plus tard, aux savants d'Espagne, ce qui permettra, selon lui, de prouver qu'il a bel et bien trouvé la route de l'Ouest. Encore faut-il que ces échantillons ne tombent pas à l'eau au milieu de l'atlantique, et que l'on oublie pas d'associer à l'échantillon de bois d'autres ingrédients : le dessin de la fleur que portait cet arbre, un morceau de la terre où il poussait, etc.

La proposition P2 est donc bien validée par notre étude de cas, et nous pouvons même l'enrichir en montrant les diverses formes prises par le couplage horizontal des ingrédients.

13.1.3 Les moteurs du processus

Enfin, pour rendre intelligible le développement temporel du processus, nous nous sommes appuyé sur la proposition P3 : ***Au cours du processus, les ingrédients mobilisés pour la conception (et leurs assemblages) se modifient sous l'effets d'un ou de plusieurs moteurs.***

Assez vite, nous avons réalisé que pour restituer la complexité de la motricité de ce processus, il nous fallait utiliser non pas un mais trois moteurs, et que ces moteurs "fonctionnaient" de façon simultanée tout au long du processus, provoquant des résultats de natures très diverses. Pour illustrer ce jeu à trois moteurs, nous avons eu recours à la métaphore de Colomb.

Selon Van de Ven et Pool (1995), les théories traitant du développement temporel de phénomènes sont souvent fondées sur plusieurs moteurs. La théorie du véhicule du processus d'innovation MEMORY est basée sur trois moteurs :

- Le véhicule a une finalité, autour de laquelle on monte un projet : c'est la mémoire morte vive de Nikita, la route de l'Ouest pour les Indes de Colomb. Cette finalité a un pouvoir téléologique sur la transformation des ingrédients.

➤ A tout moment, cependant, les ingrédients sont plus ou moins couplés avec le véhicule. Ils peuvent parfois s'en dissocier, ou de nouveaux ingrédients peuvent venir s'encastrent au véhicule. La Selinia est démantelée au cours du projet, de même que la Santa Maria coule au cours de l'expédition de Colomb. Il y a donc des tensions dialectiques qui expliquent le mouvement, le changement dans le véhicule.

➤ Enfin, le processus évolue dans un système plus large, dans lequel il est confronté à d'autres processus en cours, ce qui crée une pression évolutionniste sur le véhicule. MEMORY est en concurrence avec d'autres projets de mémoires, de même que Colomb n'est pas le seul explorateur à faire le tour des cours européennes. Cette pression peut être bénéfique (lorsque l'on est sélectionné) ou péjorative (lorsque le processus de sélection tarde ou qu'il impose ses contraintes).

C'est le jeu combiné de ces trois moteurs qui permet de comprendre l'évolution du véhicule dans le temps, que ce soit le véhicule qui porte le raisonnement MEMORY ou celui du voyage d'exploration de Colomb. Non seulement la proposition théorique P3 est validé, mais on peut aussi la raffiner en décrivant le jeu combiné de trois moteurs.

Section 13.2 La théorie du véhicule du processus collectif d'innovation

13.2.1 Le processus de théorisation.

La théorie proposée ici est un résultat d'un processus de raisonnement, celui que nous avons mené lors de notre propre recherche. La théorie du véhicule a pour but de rendre intelligible la continuité d'un raisonnement de conception lors d'un processus collectif d'innovation. Nous ne prétendons pas proposer une théorie générale sur l'innovation. Notre but est de fournir une théorie intermédiaire, capable de dépasser la complexité apparente de ce qui se passe au sein d'un processus d'innovation : c'est un effort de rationalisation. En ce sens, nous suivons la posture de Karl Weick (Weick, 1995) quand il rappelle que la théorie est un processus plus qu'un produit, que c'est un effort continu pour tenter de simplifier, de styliser le réel : "*What theory is not, theorizing is*".

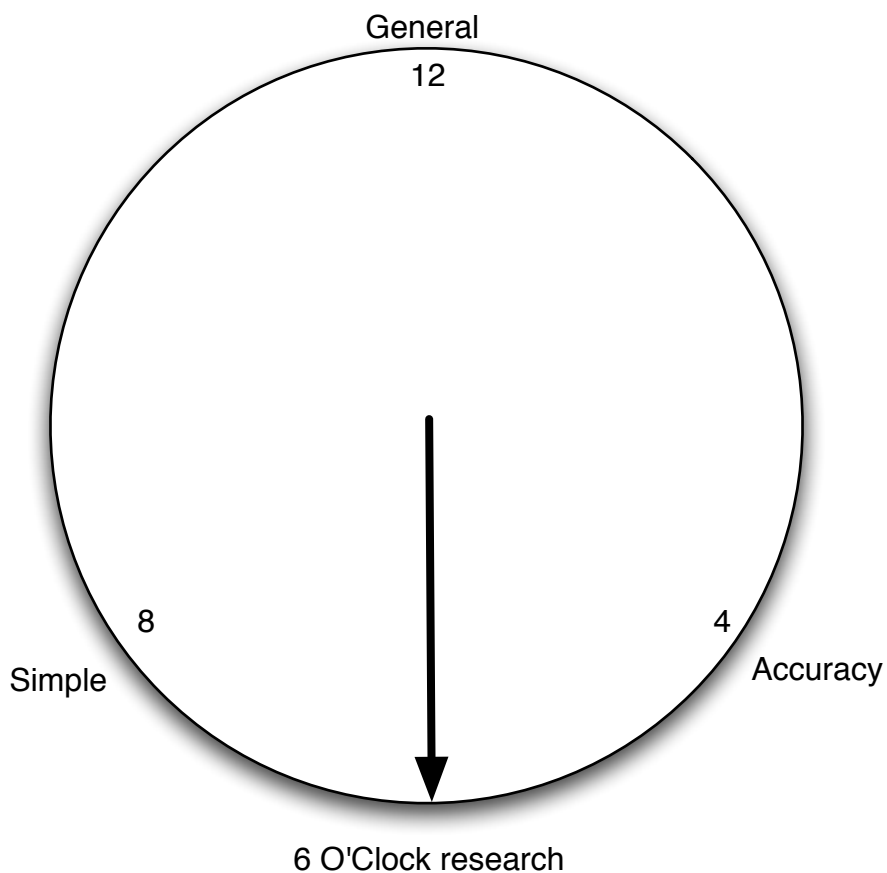
Notre processus de théorisation est décrit dans le chapitre 6 de cette thèse. Il a nécessité plusieurs cycles d'abduction / induction / déduction, ce qui est un mode d'investigation classique dans les recherches de terrain (David, 2000). La théorie du véhicule du processus d'innovation est obtenue par induction, à partir du cas MEMORY. Elle est une décontextualisation de celui-ci. C'est l'image de Christophe Colomb qui nous a aidé à faire cette induction, à monter en généralité, à sortir des spécificités de MEMORY pour proposer une théorie pouvant s'appliquer à d'autres processus collectifs d'innovation. Cette validité externe de la théorie, se faculté à décrire ou expliquer d'autres situations, d'autres processus d'innovation, devra par la suite être testée (ce que nous ne faisons pas ici). Cependant, nous allons décrire plus loin quelles sont les conditions d'application de cette théorie. Ce qui nous importe ici est donc principalement de rendre testable notre théorie, non de la tester. Nous suivons en cela les préconisations d'Albert David sur la généralisation à partir d'études de cas (David, 2005).

13.2.2 Valeur de cette théorie

Une "bonne" théorie est une théorie simple (elle repose sur un nombre limité de concepts et / ou de relations), fidèle (elle est proche de la complexité du réel) et générale (elle peut s'appliquer à un grand nombre de situations). Or, selon Thorngate, cité par Weick (Weick, 1979), les théories scientifiques en sciences sociales sont dans l'impossibilité de concilier ces trois critères. On peut au

mieux se rapprocher de deux critères... ce qui éloigne inmanquablement du troisième. Graphiquement, un recherche se positionne sur le cadran d'une montre sur laquelle les trois critères sont représentés dans des zones horaires différentes (voir ci-dessous). Dans un tel cadran, une recherche de type "10 heures", ou *ten O'clock research*, sera simple et générale, applicable à de grands nombres de situations. Le modèle du Garbage Can, déjà évoqué plus haut, est un exemple de ce genre de théorie, reposant sur peu de concepts, et applicable à de très nombreuses situations. Cependant, ce type de théorie repose en général sur une extrême simplification du réel, duquel de nombreuses dimensions sont laissées de côté. L'entreprise "garbage can" n'a pas de projet général, sa structure hiérarchique est sans importance, on ne se soucie pas de sa culture, de son domaine d'activité, de sa taille, etc.

Schéma 30: Le cadran de Thorngate



La théorie du véhicule du processus d'innovation est une théorie de type "6 O'Clock", c'est à dire qu'elle est relativement simple et fidèle. En revanche, elle s'applique à une classe limitée de phénomènes, à savoir les "processus collectifs d'innovation". Elle est fondée sur une analyse poussée d'un

réel qui est pris en compte grâce à sept catégories d'ingrédients. Il y a donc une fidélité importante aux données (accuracy). De plus, grâce aux concepts de moteurs et de véhicule, nous pouvons la présenter avec un nombre limité de concepts et de liens, ce qui lui assure un certain degré de stylisation (Simple).

13.2.3 La théorie du véhicule du processus collectif d'innovation

La théorie que nous proposons peut donc s'exprimer de la façon synthétique suivante :

Il existe un véhicule pour un processus collectif d'innovation, qui est un assemblage d'ingrédients mobilisés pour l'activité de conception au cours du processus. Ce véhicule change dans le temps sous l'effet de moteurs et il assure la continuité du raisonnement en permettant le couplage horizontal des ingrédients de conception.

Les principaux concepts et liens utilisés dans cette théorie sont les suivants :

Concept ou lien	Définition, commentaire
Les ingrédients	Éléments du contexte utilisés dans le cours de l'activité de conception. Les ingrédients peuvent appartenir à au moins une des catégories suivantes : individus, organisations, liens, communautés, financements, appareillages techniques, inscriptions, dispositifs de coordination.
Moteurs	Mécanismes génératifs du changement permettant d'explicitier l'évolution des ingrédients et de leurs assemblages au cours du processus. Il y a trois archétypes de moteurs (évolutionniste, téléologique, dialectique) et leurs effets se combinent dans le cours du processus.
Couplage horizontal	Lien temporel entre ingrédients au cours d'un même processus. Le couplage est dû, soit à la persistance d'ingrédients dans le temps, soit à la transformation et au recyclage d'ingrédients du passé.
Véhicule	Assemblage des ingrédients mobilisés et subis pour le raisonnement collectif dans le cours du processus collectif d'innovation.
Processus collectif d'innovation	Un processus d'innovation dont l'un des stades est la création d'un consortium d'organisations regroupées dans le cadre d'un projet commun.

Activité de conception	Activité collective de raisonnement visant à explorer des concepts nouveaux en explorant des connaissances nouvelles.
------------------------	---

13.2.4 Conditions d'application

Logiquement, la théorie du véhicule devrait s'appliquer à tout processus comparable à MEMORY : un processus d'innovation, dans le domaine de l'électronique, dont l'un des stades de développement est la création d'un consortium d'organisations, financé par la CE. Cependant, nous pensons que la théorie du véhicule pourra être testée à d'autres types de cas, comme nous l'avons vu dans la métaphore de Colomb.

Il semble ainsi que le **domaine** (celui de l'électronique) ne soit pas un critère fondamental d'applicabilité. Le cas Colomb se déroule dans le domaine de l'exploration géographique. Les points communs avec l'électronique sont les suivants :

- existence d'une industrie mature, de voies empruntées (il y a des industriels concevant et commercialisant régulièrement des mémoires, comme il existe des routes commerciales exploitées depuis des siècles au temps de Colomb)
- émergence d'initiatives individuelles, de propositions alternatives (il y a de nombreuses start-up en électronique, comme il y eu de nombreux explorateurs au XVème siècle).

Tout domaine présentant des caractéristiques comparables pourra faire l'objet d'un test pour la théorie du véhicule, comme par exemple le domaine de la production d'énergie (face à des géants comme EDF, on voit fleurir de nombreuses jeunes pousses dans le domaines des énergies renouvelables) ou encore des télécommunications ou des logiciels.

La nature et l'**origine du financement** ne sont pas non plus un critère essentiel d'applicabilité de la théorie. Dans le cas de Colomb, le financement est royal et repose sur des procédures *ad hoc*, dans le cas de MEMORY il est européen et repose sur des procédures canoniques. Or, il existe aujourd'hui de multiples cadres permettant de financer des projets collaboratifs. On pourra donc appliquer la théorie du véhicule à des processus passant par d'autres schémas de financement, comme par exemple :

- Euréka au niveau européen
- ANR, PREDIT, FIU, tous les schémas correspondant aux labellisations par les pôles de compétitivité au niveau français

Par extension, la théorie du véhicule pourra donc être testée sur

- *les processus d'innovation se déroulant dans des domaines matures des sciences appliquées et de l'industrie,*
- *dont l'une des étapes de développement passe par le montage d'un consortium d'organisations financé par diverses institutions.*

Section 13.3 Apports théoriques

La théorie du véhicule permet également de proposer des contributions aux principales théories articulées dans cette thèse, et en particulier à la SAR, à la théorie CK de la conception et à l'analyse processuelle.

13.3.1 Contributions à la sociologie de l'acteur réseau (SAR)

Les notions d'ingrédients, et d'assemblage d'ingrédients doivent beaucoup à la SAR, et en particulier à l'idée que les réseaux socio-techniques sont constitués d'actants humains et non humains. Pourtant, en utilisant les notions d'ingrédient et en proposant celle de véhicule, nous apportons des précisions permettant de rendre cette approche théorique plus opérationnelle.

a) Des actants aux ingrédients

Grâce à la notion d'actant, la SAR peut décrire un réseau d'entités liées entre elles et coordonnées de façon à produire un résultat, permettre une action. Il y a des actants humains et non humains. Un actant peut être une molécule, un livre, un homme, un loi, un pays. De notre côté, nous définissons des ingrédients, qui sont des éléments pertinents du contexte, combinés dans le cours du processus. Nos ingrédients, comme les actants, peuvent être de nature très diverses : liens, organisations, inscriptions, individus, etc.

La différence essentielle entre ces deux concepts est que les ingrédients ont une temporalité. Chaque ingrédient peut évoluer dans le cours du processus. Une installation technique peut s'user, un individu perdre sa motivation, les financements s'épuiser, des inscriptions évoluer, des dispositifs de coordination avoir plusieurs versions. Or, l'évolution des ingrédients est essentielle : c'est parce que les ingrédients évoluent qu'il y a processus. Ce qui change dans la SAR, ce ne sont pas les actants, c'est l'association des actants.

Cette approche remet en cause la notion de "boîte noire" importante dans la SAR, qui suppose que des assemblages d'actants sont parfois stabilisés, fortement liés entre eux, *qu'il n'y a plus besoin de revenir dessus*. Avec les ingrédients, il n'y a pas de "boîte noire". Il peut bien entendu y avoir des moments de relative stabilité dans l'assemblage des ingrédients, mais même dans ces moments (que nous nommons des séquences), les ingrédients évoluent, s'usent, ou se renforcent (dans MEMORY par exemple, dans la séquence projet MEMORY, les financements sont utilisés, des liens se ren-

forcent, des inscriptions sont créées, etc.). A cause de cette différence, la SAR porte un intérêt particulier aux incidents, aux moments où les boîtes noires s'ouvrent, où le réseau socio-technique doit être reconfiguré, des moments que nous nommons des bifurcations. Cependant, les moments de stabilité apparente sont aussi essentiels pour comprendre un processus en marche. Ils sont des moments d'activité intense, des moments où des changements graduels sont réalisés, et des moments durant lesquels les crises et les bifurcations se préparent. Durant la période de latence, par exemple, les ingrédients de MEMORY changent, des chercheurs changent de laboratoire, des connaissances sont créées. La notion d'ingrédient permet d'ajouter à la SAR la prise en compte du temps qui passe, y compris quand, en apparence, "il ne se passe rien".

b) Du réseau socio-technique au véhicule

La SAR accorde beaucoup d'importance à l'analyse des réseaux socio-techniques, ce qui lui permet de replacer les objets techniques dans un contexte large et varié. La notion de réseau socio-technique présente un écueil pratique, lorsque l'on veut l'utiliser pour analyser un phénomène complexe qui se déploie dans le temps. Les limites du réseau socio-technique sont difficiles à déterminer : rappelons l'exemple déjà cité de l'automobiliste démarrant sa voiture. Pour la SAR, cet automobiliste active un réseau qui comprend les plantations d'hévéa ayant fourni le caoutchouc de ses pneumatiques ! Même si cela est théoriquement vrai, la plantation d'hévéa ne sera pas toujours pertinente pour comprendre, par exemple, le trajet quotidien de cet automobiliste pour aller au travail. En revanche, si il est victime d'un accident dû à l'éclatement d'un de ses pneumatiques, la production de l'hévéa pourra avoir son importance. Se pose donc la question des limites de ce réseau, sur les éléments pertinents à prendre en compte en fonction du processus étudié.

Définir cette limite devient d'autant plus crucial si le phénomène analysé se déploie dans le temps, sur plusieurs années par exemple, comme dans le cas d'un processus d'innovation. En effet, dans ce cas, le réseau socio-technique s'étend dans l'espace et dans le temps, et finit par réunir une quantité d'éléments qui échappent à l'analyse.

Grâce à la notion de véhicule, nous pouvons découper dans le réseau socio-technique un assemblage d'ingrédients pertinents, pour un processus donné. Cet assemblage est fini et il évolue dans le temps. Bien entendu, toute la difficulté est de définir les critères permettant de faire le tri, d'isoler les ingrédients pertinents de ce contexte large qui s'étend sur des échelles horizontales et verticales d'analyse. Dans le cas présent, et pour étudier un processus d'innovation, nous avons choisi de suivre les ingrédients nécessaires au raisonnement collectif de conception, ce qui nous fournit un critère rationnel pour faire des choix et nous concentrer sur une portion analysable du contexte. On

isole ainsi les éléments pertinents, prégnants (les ingrédients) assemblés entre eux pour permettre au processus de se déployer.

c) Le recrutement vu comme une tension couplage /

découplage

Dans notre cadre conceptuel, il n'y a pas de boîte noire : à tout moment, les ingrédients assemblés sont en mouvement et changent dans le temps. Il n'y a donc pas d'état stable et figé, tout est en mouvement. Mais cela n'empêche pas que des ingrédients soient plus ou moins couplés entre eux. Dans la séquence consortium, Hector et ses partenaires recrutent des partenaires, tentent de les convaincre de participer au projet MEMORY. Mais ce recrutement n'est pour l'instant que partiel : on attend que la CE évalue le projet, et lui donne un avis favorable. Dans la séquence de latence, d'ailleurs, le véhicule est très faiblement couplé. Si un avis négatif arrive, chacun continuera ses missions habituelles et le processus MEMORY devra trouver d'autres voies pour se développer. En revanche, lorsqu'arrive la réponse positive, qu'un contrat de partenariat est signé, que des financements sont débloqués, les ingrédients se retrouvent fortement couplés (le véhicule a quitté le port, pour reprendre l'image de Colomb).

La notion de recrutement chère à la SAR peut ainsi être enrichie avec les notions de couplage / découplage. Le recrutement a divers niveaux d'intensité. Le lien entre les ingrédients est plus ou moins fort dans le temps. Dans les premières séquences du processus MEMORY, ce recrutement est partiel. Certes, il y a des partenaires intéressés par le concept des eMram. Mais ils ne sont pas engagés dans un processus commun. Ils ne sont pas fortement liés au véhicule, qu'ils peuvent quitter facilement et à tout moment. Par la suite, ce recrutement est d'une intensité beaucoup plus grande : les partenaires fournissent de nombreux ingrédients au véhicule, cette affectation de ressources fait l'objet de contrats, les contacts et les échanges se multiplient.

Dans un processus d'innovation, il faut comprendre le recrutement comme tentative de couplage des ingrédients, en sachant que le découplage est toujours possible. Il y a juste des moments où ce découplage est plus ou moins difficile (des moments où le recrutement est plus ou moins fort).

13.3.2 Contributions à la théorie CK de la conception

De l'avis même de Hatchuel et Weill (2003), la théorie CK soulève de nombreuses questions sur le versant social de la conception :

« What is the social acceptance of concepts and disjunctions in organizations ? How are they handled ? Does team work allow for long conceptual expansions ? What is the impact of knowledge codification on the ability to design ? »

L'étude du cas MEMORY, en mettant systématiquement en parallèle le développement cognitif et le développement social du processus, apporte des éléments de réponse à certaines de ces questions.

a) La croissance sociale de l'espace K

Au cours d'un processus de conception, des connaissances nouvelles sont réunies. Selon la théorie CK, l'expansion des connaissances suit une logique d'exploration qui est en partie guidée par des questions issues de C (par exemple, pour savoir si SiO₂ est un bon matériau, il faut mener des recherches spécifiques sur ce dernier, voir par exemple s'il résiste à des cuissons, s'il conserve ses propriétés sur des nano couches, etc.).

Dans notre cadre théorique, comment peut-on définir l'espace K ? Devant la nature complexe des connaissances, abordée dès le premier chapitre de cette thèse (les connaissances sont individuelles, collectives, explicites, tacites, agies), nous avons décidé de ne pas en faire une catégorie à part entière. En revanche, au cours du processus, des connaissances sont activées dans le cadre de l'activité de conception. Ces connaissances sont le résultat d'un jeu d'ingrédients disponibles dans le véhicule. Par exemple, si l'on dit que SiO₂ ne convient pas (ce qui est une connaissance produite par le véhicule), c'est que des individus ont réalisé un dépôt de ce matériau sur une plaque de silicium, que d'autres l'ont soumis à des cuissons, que ces plaques ont été envoyées dans un laboratoire de tests en Angleterre, où elles ont été soumises à de multiples expériences, ayant donné lieu à la rédaction de rapports. Ces rapports ont transité par méls, ont été interprétés par d'autres chercheurs. Au final, il a été décidé que les résultats n'étaient pas - pour le moment - satisfaisants. Toute cette suite d'opérations a mobilisé des ingrédients multiples et variés présents dans le processus, associés de façon singulière pour cette occasion (dans l'exemple ci-dessus, on voit un assemblage d'individus, d'installations techniques, d'inscriptions, de dispositifs de coordination, de financements et d'organisations à l'oeuvre).

L'espace K dans le versant cognitif, correspond donc à une activation du véhicule dans le versant social du processus. L'expansion de K prend donc un sens particulier pour nous : elle correspond à une modification du véhicule, et le plus souvent à sa croissance, son extension sociale. La séquence Consortium est à ce titre particulièrement représentative. L'espace K, celui qui permet au raisonnement de conception de se déployer, vient s'enrichir de connaissances particulières sur le traitement

de composants silicium. Lors de cette séquence, ces connaissances permettent aux concepteurs de décrire de nouvelles partitions. D'où viennent ces connaissances ? Elles sont directement liées à l'arrivée dans le consortium de partenaires tels que le K. INSTITUT et TRON, deux institutions disposant de salles blanches, qui connaissent, au travers de leurs équipes, parfaitement les procédés de production de plaques de silicium, qui savent ce qui est possible et ce qui ne l'est pas. Avec l'arrivée de ces partenaires dans le raisonnement, de nombreux nouveaux ingrédients viennent se coupler au véhicule MEMORY. **Il y a eu croissance de l'assemblage d'ingrédients, croissance de ce véhicule, ce qui correspond aussi à une modification des capacités cognitives du véhicule, et donc, à une croissance de K.**

Dans des séquences comme la séquence *Projet MEMORY*, où il n'y a pas de nouveau recrutement, nous voyons un consortium lancé dans des activités de conception. Il y a une activation constante du véhicule : on organise des réunions, on produit des rapports, des plaquettes de silicium, on écrit des articles, etc. Il y a donc une création massive de nouveaux ingrédients, en particulier sur les dispositifs de coordination, les inscriptions, les appareillages techniques. Les liens aussi évoluent, se multiplient au fur et à mesure que des individus se croisent, discutent, apprennent à se connaître et à se faire confiance. L'expansion de K dans cette séquence repose sur ce véhicule activé, créant des artefacts, des liens, des échanges, des rapports.

Dans tous les cas de figure, l'expansion de K correspond donc à une modification du véhicule et en particulier à la création ou au couplage de nouveaux ingrédients.

b) Définition du statut des propositions : le rôle du véhicule

Une proposition est dans K si elle a un statut pour les concepteurs. Elle est dans C si elle n'a pas de statut dans K. A mesure que le processus évolue, les concepteurs, ce que nous avons appelé le collectif innovant, à tendance à croître et à évoluer. Dans ce cas, définir le statut d'une proposition nécessite un ensemble de transactions, que nous pouvons suivre dans l'étude de cas MEMORY. Cette question (définir collectivement le statut d'une proposition) est essentielle : dans un tel projet, nous sommes aux limites de l'état de l'art, et les propositions sont soit soumises à controverse, soit connues d'un nombre limité d'individus (l'auteur de cette thèse, par exemple, est incapable de statuer sur le statut d'une proposition relative au spin, ou à SiO₂ : tout est donc "concept" pour nous dans ce domaine). Il existe donc, dans un tel processus, des mécanismes collectifs d'évaluation des propositions, qui permettent d'en définir le statut dans K.

• *Le moment de la disjonction*

Au début du processus, il y a le concept de Nikita sur des mémoires eMram, embarquant le magnétisme dans le silicium. Nous disons que eMram est un concept parce que cette proposition n'a pas de statut dans K pour les concepteurs. Dans l'approche que nous proposons ici, l'espace K correspond aux connaissances pouvant être mobilisées par le véhicule. Ce véhicule, comporte les concepteurs et de multiples autres ingrédients. Au départ du processus, le véhicule est particulièrement "léger". Nikita appelle Hector, un ancien étudiant qui travaille dans l'industrie. Il n'y a pas d'inscription (le concept est *purement mental*, pour reprendre ses propres mots). Il n'y a pas d'installations nécessaires pour cette disjonction. Hector et Nikita font partie de diverses communautés (industrielles ou scientifiques). C'est depuis ce véhicule que le proposition eMram est évaluée. Elle ne correspond pas, pour Nikita et Hector, placés dans leur assemblage social à un objet existant (elle n'est pas vraie). Elle pourrait être réalisable (elle n'est pas fausse, pas impossible compte tenu de ce qu'ils savent). C'est donc un élément de C.

- ***Au moment de l'expansion de C***

Par la suite, le véhicule va s'étendre : de nouveaux objets et de nouveaux individus sont engagés dans l'activité de conception. Ils apportent des propositions nouvelles, des propositions qui peuvent ou pas être intégrées au concept. Ainsi, des scientifiques spécialistes des matériaux peuvent proposer l'intégration de molécules qu'ils ont déjà étudiées, dont ils connaissent les caractéristiques favorables pour le magnétisme. Mais cela ne suffit pas à en faire des connaissances au sens CK. La proposition d'une nouvelle molécule doit être vraie (ou fausse) pour l'ensemble du véhicule. Or, ce dernier est porteur de contraintes. Le K. INSTITUT par exemple, lors de la séquence consortium, fait valoir des contraintes liées aux caractéristiques de sa salle blanche : tous les matériaux ne peuvent pas être acceptés. Certains peuvent endommager les outils présents en salle blanche. De plus, les prototypes ne pourront être faits que sur des plaquettes de 8 pouces (ce qui correspond au format que le K. INSTITUT sait produire). Les propositions qui ne respectent pas ce cahier des charges ne peuvent tout simplement pas être retenues : elles n'entrent pas, physiquement, dans les salles blanches, pas plus qu'elles n'entrent, cognitivement, dans l'expansion du concept eMram. Pour en arriver là, de nombreux ingrédients du véhicule sont activés : un document intitulé "work flow" est mis au point. Il transite par mail entre les différents partenaires. Dans chaque organisation, les experts sont mobilisés, des réunions sont organisées, etc.

Le mécanisme qui permet de statuer sur le statut d'une proposition repose donc sur le véhicule. Le statut d'une proposition n'est pas absolu : il dépend essentiellement des ressources et des contraintes

imposées par le véhicule. Dire d'une proposition qu'elle est vraie, c'est déterminer qu'elle est en accord avec le véhicule. La théorie affirme que C est K dépendant, c'est à dire que l'expansion des concepts repose sur les connaissances disponibles. On voit ici que **K dépend du véhicule**. Le processus de raisonnement n'est pas un "processus mental", sans matière. Il repose essentiellement sur un assemblage d'ingrédients mobilisés (et subis), fournis par un véhicule.

Enfin, il faut préciser que, puisque le véhicule évolue dans le temps, le statut des propositions peut lui aussi évoluer dans le temps. Par exemple, à la fin de la séquence MEMORY V2, on décide de mettre de côté un assemblage de matériaux (AL Oxyde / Co, proposé par le LABO), parce que dans le véhicule, il est impossible de la mettre en oeuvre sur des wafer de 8 pouces (200 mm). La proposition a donc un statut dans K, le K mobilisable dans ce véhicule : elle est fautive. Elle n'est pas une proposition possible dans C. Mais cette mise de côté n'est que temporaire :

"Dear Lisandro,

[...]. You mention that our deposition technique is not suitable for WP4. Of course at the present time we are not able to perform this deposition on 200 mm wafer. In this sense you are true to say that it is not suitable. However, I am investigating the possibility to perform, with the help of STRANO company, deposition of tunnel oxide and metal onto 200 mm wafer. I'll know if it is possible in January or February. If yes, I think it would be interesting to make tests. [...]"

Mél de Paulin à Lisandro (20061222M1)

Comme le précise Paulin, l'option AL Oxyde / Co sera bientôt possible, grâce à l'arrivée de nouveaux ingrédients dans le véhicule. La proposition Al Oxyde / Co passe donc de l'état impossible (ce qui est une proposition ayant un statut dans K) à "faisable dans un avenir proche", ce qui n'est pas un statut dans K et laisse donc l'option en l'état de concept à tester.

On peut donc ajouter que **K est dépendant du véhicule, et que cette dépendance est aussi temporelle, le véhicule changeant dans le temps** (dans l'exemple ci-dessus, bientôt, un nouvel appareillage rendra possible l'expansion Al Oxyde / Co).

c) La complexité de l'espace E

Dans sa thèse, Kazakci (2007) rappelle que la conception est une activité située. Il propose donc d'ajouter à la théorie CK un espace E, celui de l'environnement des concepteurs. Théoriquement,

l'espace E fait référence aux travaux sur la cognition située. L'espace E est l'environnement de travail des concepteurs, les bureaux, les outils, les instruments de mesure qui entourent les concepteurs.

Notre recherche explore la même idée de base que celle de Kazakci, à savoir qu'il est nécessaire de replacer la conception dans son environnement social. Cependant, le cas qui a servi à développer notre thèse est un cas extrême : l'environnement à prendre en compte est complexe. Sur un axe vertical, tout d'abord, puisque les concepteurs sont répartis dans plusieurs pays, plusieurs organisations (il n'y a pas de colocalisation). Et sur un axe horizontal, puisque ces environnements diffèrent entre 2003 et 2006. De plus, avec les diverses catégories d'ingrédients pris en compte, nous dépassons le cadre du simple environnement situé : les financements ou les organisations ne sont pas des ingrédients utilisés par les chercheurs en cognition située. Cela ne remet pas en cause fondamentalement les travaux de Kazakci : un processus d'innovation qui se déploie dans un service de R&D, chez un industriel, s'appuie bel et bien sur un véhicule relativement stable dans le temps. Il est donc possible, sur des séquences données, de se contenter de lire le processus dans un Environnement de conception. Cela sera probablement moins pertinent si la durée d'analyse s'allonge, si l'on remonte aux origines du concept : le processus peut alors sortir du service de R&D en question, et l'on constatera que l'idée de départ, la disjonction, a pu naître ailleurs, dans un service marketing, chez un client, sur la paillasse d'un laboratoire, c'est à dire dans des environnements différents.

Pour un tel cas, le concept du véhicule nous semble plus pertinent, car il permet de rendre compte de la complexité du versant social du processus.

13.3.3 Contributions à l'analyse processuelle

Notre recherche s'appuie sur les travaux récents du Lest portant sur l'analyse processuelle (Mendez & Al, 2010), travaux auxquels nous avons participé durant notre thèse. L'étude du cas MEMORY nous a donc permis de tester empiriquement les principaux concepts de l'analyse processuelle (les notions d'ingrédients, de séquences, de bifurcations et de moteurs) sur le cas complexe d'un processus collectif d'innovation. Notre recherche permet donc de préciser certains points liés à l'étude de processus sociaux collectifs (l'analyse processuelle peut aussi s'appliquer à l'étude de biographies, cas que nous ne traitons pas ici).

Lorsque l'on veut suivre un processus biographique, l'identité du processus est donnée par le protagoniste lui-même : on décrit l'insertion de Paul, la reconversion de Jim, le parcours professionnel de Shaïna. Pour ce qui est des processus collectifs, il existe souvent un agent ou un groupe d'agents qui vivent ce processus : la transformation d'une organisation, le processus de définition de la stratégie d'un groupe, le processus de croissance d'une PME sont des processus dont l'identité est donnée par celui ou ceux qui vivent ce processus. Ce sont des processus "possédés", ayant un sujet.

Cependant, selon Scott Poole (2005), un processus peut être possédé OU NON par des agents. Il existe des "*unowned process*". En utilisant ce terme, Poole fait directement référence aux travaux de Nicolas Rescher, un philosophe américain contemporain. Selon Rescher (1996), un processus possédé est :

"those that represent the activity of agents : the chirping of birds, the flowering of a bush, the rotting of a fallen tree".

Des exemples de processus non possédés en revanche peuvent se trouver dans des expressions comme "*the cooling of temperature, the change in climate, the flashing of lightning, the fluctuation of magnetic field*". Les processus non possédés posent problème pour l'analyste et en particulier en sciences sociales : si ils ne sont pas vécus par un ou des agents en particulier, comment en déterminer les limites ? Comment définir l'identité de tel ou tel processus ? Quels "agents" vivent le processus ? Il est difficile de répondre à cette question si le processus n'a pas de sujet.

Le cas d'un processus collectif d'innovation tel que MEMORY est un cas exemplaire de ce que Poole nomme un processus non possédé. Dans le temps, il est vécu par des agents différents, multiples, dont l'arrangement évolue sans cesse. Si à ses débuts le processus semble porté par Hector,

STARTER et Nikita, ce n'est bientôt plus le cas. Dans le temps, de multiples agents (nous parlons quant à nous d'ingrédients) vivent ce processus. Pour cette raison, nous ne suivons pas le devenir d'un agent, mais celui d'un assemblage d'ingrédients. Ainsi nous pouvons décrire un assemblage d'ingrédient évoluant dans le temps, un assemblage couplé au passé du processus. Nous nommons cet assemblage un véhicule. **Or, c'est ce véhicule qui est le sujet du processus MEMORY** : c'est bien ce véhicule qui est à la source de l'activité collective de raisonnement, c'est lui qui "vit" le processus MEMORY. Le processus est donc bien à tout moment "possédé" vécu par des "agents", même si ce véhicule évolue dans le temps. Le processus MEMORY conserve son identité, reste bel et bien le même processus, parce que le véhicule, bien que changeant, conserve des traces de son passé (des ingrédients perdurent, d'autres sont des descendants d'ingrédients du passé).

La distinction proposée par Poole peut donc être nuancée : ***un processus social, aussi complexe soit-il, possède un sujet, même si ce sujet est complexe et se transforme dans le temps.*** La question qui se posera sera surtout d'ordre méthodologique : comment définir les contours de ce véhicule, comme isoler, dans un contexte riche, l'assemblage d'ingrédients sujet du processus ?

Chapitre 14. Conclusions

Nous proposons dans ce chapitre de tirer des conclusions sur le travail de recherche proposé dans cette thèse.

Dans un premier temps, nous montrons en quoi nous répondons de façon précise à la question de recherche traitée, et montrons ce que la théorie du véhicule apporte à la compréhension de la continuité d'un raisonnement collectif de conception.

De plus, la théorie du véhicule, en permettant de mieux comprendre la dynamique temporelle des processus collectifs d'innovation, permet de faire des recommandations à la fois pour les praticiens de l'innovation et pour les institutions qui mettent en place des politiques de soutien à l'innovation. Nous détaillons donc ici ce que la théorie du véhicule peut nous apporter sur un plan pratique.

Section 14.1 Enseignements théoriques

14.1.1 Synthèse des apports théoriques

Nous regroupons dans le tableau ci-dessous les principales contributions théoriques que notre thèse permet de faire.

Théories	Concepts	Apports
SAR	Des actants aux ingrédients	Les actants ne sont pas immuables et évoluent dans le temps, au cours d'un processus, même en dehors des moments de crise : on les nomme des ingrédients.
	Du réseau socio-technique au véhicule	Pour analyser un processus donné on peut isoler dans le réseau socio-technique un assemblage pertinent d'ingrédients que l'on nomme un véhicule.
	Le recrutement en tension	Les ingrédients sont en permanence en tension entre leur autonomie (découplage) et leur dépendance (couplage) mutuelle : le recrutement est le résultat dynamique de cette tension.
CK	La vie sociale de K	L'expansion de K est liée à la création ou au couplage de nouveaux ingrédients avec le véhicule.
	Le statut des propositions	Le statut des propositions dépend des capacités sociales et cognitives du véhicule. Ce statut peut évoluer avec l'évolution du véhicule.
	La conception située et l'espace E	La conception est située dans un <i>environnement</i> multiple et changeant que l'on peut décrire avec le concept du véhicule.
Analyse processuelle	L'identité d'un processus collectif	Un processus collectif d'innovation est un processus possédé par un véhicule, qui lui confère son identité dans le temps (sa continuité)

14.1.2 Notre vision du processus d'innovation

En plus de ces apports aux théories existantes, la théorie du véhicule introduit une vision singulière du processus d'innovation. Fondcièrement, notre processus d'innovation est un processus exploratoire, comme le montre la métaphore de Colomb. Or, nous pouvons à présent mieux préciser ce qui fait la particularité d'un processus d'exploration :

- un processus d'exploration est **porté par un véhicule changeant dans le temps** : cela signifie que, au cours du temps, le processus est parfois porté par des moyens considérables (une salle blanche, associée à des laboratoires, à un industriel, à des dizaines de chercheurs, des millions d'euros, des kilos de documents, etc.), comme il peut, à d'autre moments, être porté par un assemblage léger (un chercheur, un entrepreneur, un brevet).

- pour assurer la continuité du processus, le véhicule, dans ses différents états, qu'il soit vaste ou léger, est **couplé à des ingrédients de son passé**. Même si l'armada quitte le port et s'éloigne de la terre connue, elle reste attachée au continent par des dizaines de couplages temporels. Ainsi, lorsque le projet MEMORY quitte le port, parce qu'il a reçu un financement, il embarque avec lui des éléments du passé sur lesquels s'appuie le raisonnement de conception : brevets, scientifiques, premiers échantillons, rapports produits dans le passé sont aussi du voyage. D'ailleurs, dans la suite de l'exploration, les concepteurs font en sorte d'accumuler ces ingrédients, de solidifier des assemblages d'ingrédients qui vont assurer la pérennité du processus. Colomb garde dans ses soutes des racines, des rochers, des flèches, il tient un journal, comme Paulin ou Nikita produisent et consolident des résultats d'analyse, éditent des livrables, stockent des plaquettes de silicium.

- un voyage d'exploration **a besoin d'un but**. Certes, une exploration est toujours un saut dans l'inconnu. Colomb ne sait pas ce qu'il y a au delà des Canaries. Mais l'absence de carte, de certitude sur l'avenir, n'empêche pas l'existence d'un but ! Colomb sait qu'il veut aller vers les Indes, Nikita veut fabriquer une mémoire morte vive. L'incertitude ne porte pas sur la finalité, mais sur le chemin qui y mène. Sans cette finalité, l'exploration ne peut pas avancer. Cela est vrai aussi d'un point de vue cognitif : le raisonnement, pour se déployer, doit partir d'un concept, d'une disjonction, aussi simple soit-elle (la route de l'Ouest, la mémoire morte-vive). Le concept de base est la finalité première du raisonnement, cette finalité pouvant se préciser, s'affiner à mesure que le raisonnement se déploie. Cette attraction de l'avenir, de la finalité sur le processus d'exploration est ce que nous nommons le moteur téléologique.

- un voyage d'exploration se déroule dans un environnement concurrentiel, où les ressources sont limitées, un environnement dans lequel d'autres explorations luttent pour réunir des ingrédients. Il existe donc une compétition entre projets d'exploration. On doit séduire des institutions, passer par des épreuves de sélection, s'adapter aux requêtes des puissants. C'est ce que nous nommons **le moteur évolutionniste** du processus. Ce moteur est contraignant, mais il est, à d'autres moments, un formidable accélérateur. Quand la CE décide que le sujet des mémoires eMram est éligible, en quelques semaines, des ingrédients nouveaux rejoignent le véhicule portant MEMORY...

- enfin, tout au long du processus d'exploration, le véhicule et tous ses ingrédients restent en tension. A tout moment, un ou plusieurs ingrédients peuvent "quitter le navire" : un bateau s'échoue comme une machine de dépôt est démantelée, un médecin de bord tombe à l'eau comme un scientifique quitte un partenaire pour aller travailler dans un autre laboratoire. On peut manquer d'eau comme de financement, ce qui va obliger à prolonger une escale. Toutes ces tensions entre couplage et découplage, ces recrutements partiels, créent une **pression dialectique** sur le processus en cours.

Le processus d'innovation que nous décrivons dans cette thèse, est la résultante de ces forces : un véhicule se transformant sous l'effet combiné de divers moteurs, cherchant à se coupler avec son passé pour prolonger son effort de raisonnement.

14.1.3 Notre réponse à la question de recherche

Nous avons créé cette théorie du véhicule afin de répondre à la question de la continuité du raisonnement dans un processus collectif d'innovation. L'image de l'exploration, le concept du véhicule portant cette exploration, la notion de couplage temporel des ingrédients, nous permettent de bien comprendre ce qui assure la continuité du raisonnement.

D'une part, **le raisonnement continue parce qu'il prend en compte des éléments du passé**. Pour raisonner, on ne peut pas tout réinventer en permanence. On doit pouvoir s'appuyer sur des acquis du passé, sur des propositions ayant un statut, sur des connaissances. Dans le véhicule, grâce à un couplage temporel, il y a en permanence ce lien au passé, cette prise en compte de ce qui a déjà été découvert, de ce qui est su. Tout ce passé se manifeste par des assemblages d'ingrédients, disponibles dans le véhicule.

D'autre part, pour durer, **le raisonnement doit s'appuyer sur des ressources de conception** : sur des scientifiques, sur des connaissances disponibles dans des communautés scientifiques, sur des installations techniques, etc. Il faut aussi que ces ressources soient disponibles pour le raisonnement, qu'elles soient en partie dédiées à celui-ci. C'est justement la fonction du véhicule, qui permet le couplage vertical des ingrédients, leur assemblage, sous une forme utile à l'activité de conception (d'où l'importance d'ingrédients comme les liens, les financements ou les dispositifs de coordination dans le véhicule).

Enfin, pour durer, le raisonnement a besoin d'un but, d'une **finalité**. Cette finalité va être partagée dans le véhicule. Elle pourra être affinée au gré du raisonnement, renégociée parfois, lorsque les buts premiers s'éloignent (dans MEMORY, le but du prototype de mémoire est remplacé par celui d'un *proof of concept* dans MEMORY V2).

Section 14.2 Enseignements Managériaux

14.2.1 La marche d'un PCI

Puisque nous faisons un retour vers la pratique, nous commençons ici par un retour sur la question managériale à l'origine de cette thèse : *qu'est-ce qui fait marcher un projet collaboratif d'innovation ?*

Pour commencer, nous savons désormais que le PCI n'est rien d'autre que la forme prise, à un certain moment, par le véhicule portant le processus d'innovation. Le PCI est un assemblage particulier d'ingrédients : il regroupe diverses *organisations*, permet de *lier* de multiples *individus*, de mobiliser divers *appareillages techniques*. Le PCI est en parti *financé* par une institution (l'Europe, l'Etat, la Région, l'Anvar, etc.). Il permet de puiser des connaissances dans diverses *communautés* de chercheurs et / ou de praticiens. Il utilise et produit des *inscriptions* et s'est doté de certains *dispositifs de coordination* spécifiques (un contrat de partenariat, un Gantt, etc.).

Si ce PCI marche - c'est à dire si le raisonnement collectif qu'il porte se perpétue dans le temps - c'est que, d'une part, ce PCI est couplé à des ingrédients de son passé (le PCI a une généalogie, il recycle en partie des ingrédients datant d'avant le projet, comme des individus, des brevets, des articles, etc.) et c'est aussi parce que, d'autre part, le PCI crée et consolide de nouveaux assemblages d'ingrédients sur lesquels on pourra compter dans le futur : on produit des prototypes, des livrables, on renforce des liens entre chercheurs, etc. Enfin, le PCI marche, parce qu'il permet de partager un but commun, une finalité, et d'organiser l'action collective pour atteindre ce but.

Le défi, pour le PCI, est de résister aux chocs, aux transformations qui ne manqueront pas de jaloner son cours. De sa faculté à se réorganiser, à assurer le couplage des ingrédients, malgré les bifurcations, dépendra sa continuité. Si au premier choc venu, les ingrédients se découplent, si le véhicule éclate (le chercheur retourne dans son laboratoire pour travailler sur autre chose, les échantillons sont perdus ou jetés, les inscriptions oubliées sur un disque dur, au fond d'un bureau, les liens se distendent ou deviennent conflictuels), alors le raisonnement s'arrête, le processus - ce processus singulier de raisonnement - s'arrête. En revanche, s'il parvient à conserver des ingrédients, à consolider un autre assemblage autour de ces ingrédients couplés au passé, alors le raisonnement peut continuer.

14.2.2 Enseignements pour les institutions support de l'innovation

Il existe de très nombreuses institutions qui tentent de mettre en place des politiques de support à l'innovation. Or, le PCI semble être un outil de choix pour ces institutions. Que ce soit au niveau régional, national ou européen, il existe un grand nombre de dispositifs qui permettent à des acteurs, regroupés en consortium, de bénéficier de financements. On peut donc dire que les institutions responsables des politiques de support à l'innovation poussent à la formation de PCI. Le stade "PCI" semble être un point de passage obligé pour de nombreux processus d'innovation. La théorie du véhicule peut donc apporter des enseignements utiles à ces institutions.

a) L'inertie d'un PCI

Le PCI est une forme bien particulière de véhicule :

- C'est un véhicule qui comporte plusieurs organisations (comme l'armada de Colomb comporte plusieurs navires) et dans lequel il y a nécessairement un éclatement du collectif. Un véhicule de type PCI est un véhicule dans lequel la question des liens entre organisations, entre individus, entre communautés se pose nécessairement et est source de richesse certes, mais aussi de difficultés.
- C'est un véhicule à qui l'on impose le plus souvent une gestion en mode projets, donc la création de certains ingrédients de type dispositifs de coordination, tels que des WBS, des Gantt, etc.
- C'est un véhicule qui va recevoir des financements importants, qui va permettre d'engager des appareillages techniques nombreux et chers, un véhicule qui va devoir rendre des comptes en produisant une masse importante d'inscriptions.

Bref, le PCI est un type de véhicule lourd, large, dans lequel les ingrédients sont fortement couplés (on ne saute pas facilement en marche, quand l'escadre a quitté le port). Un tel véhicule a une **grande inertie**. Cette inertie a des avantages et des inconvénient qu'il est nécessaire de comprendre.

L'inertie du véhicule PCI a des avantages : elle garantit la continuité d'un effort sur plusieurs années. Un consortium uni par un contrat de partenariat et financé sur trois ans ne se disloque pas si facilement. Il peut résister aux chocs. Dans le cas du processus MEMORY, le PCI résiste à la faillite de Starter et au démantèlement de la Sélinia, et Colomb peut continuer sans la Santa Maria.

Mais l'inertie d'un PCI a des inconvénients : un tel véhicule n'est pas très maniable. Toute prise de décision nécessite la réunion d'un comité de pilotage. Un changement de cap impose de renégocier les contrats, l'affectation des ressources. De plus, il existe dans un PCI un Gantt, c'est à dire une détermination *a priori* de la route à emprunter. Or, il y a des moments dans un processus où une certaine souplesse est nécessaire, pour prendre en compte par exemple des résultats intermédiaires différents de ceux escomptés, pour intégrer des connaissances nouvelles, apparues en cours de route, ou bien pour explorer une voie annexe mais prometteuse.

Recommandation 1 : Les dispositifs de soutien à l'innovation doivent permettre aussi à des véhicules légers de se monter. Cela correspondrait au financement de projets exploratoires, très en amont, bâtis sur des concepts peu expansés et portés par un nombre limité d'ingrédients (un laboratoire, un industriel par exemple).

Recommandation 2 : Les PCI doivent posséder un certain degré de maniabilité, être capables de s'adapter à des situations nouvelles, de changer de route en cours de processus. Par exemple, les règles classiques de gestion de projet, comme la production des livrables selon des calendriers établis *a priori*, doivent être assouplies, ce qui doit aussi être pris en compte dans les procédures de suivi et d'évaluation mises en place par les institutions.

Précisons qu'il existe déjà des politiques allant dans le sens de ces recommandations. Par exemple, nous l'avons vu dans le cas de MEMORY, la CE accepte qu'un PCI puisse se modifier en cours de processus, et les règles administratives de suivi sont assouplies et remplacées par un suivi plus personnalisé. Cependant, tout changement de cap nécessite des négociations lourdes, la réécriture des contrats, etc. De même, au niveau de la CE comme au niveau français, il existe des financements spécifiques (bien que rares) pour des projets exploratoires. Notre recherche suggère que ces dispositifs devraient être renforcés, pour que des véhicules légers d'exploration puissent aussi être financés.

b) la sélection des projets

Dans notre vision du processus d'innovation, les institutions en charge de mettre en oeuvre des politiques de support à l'innovation ont une place particulière : ce sont elles qui émettent des appels à projets, publient des programmes de recherche, évaluent, sélectionnent et financent les projets. Elles sont donc essentielles dans ce que nous avons appelé le *moteur évolutionniste* du processus.

Le cas MEMORY nous permet de mieux saisir tout le poids de ce moteur, la façon dont il est activé, au cours du processus d'innovation. D'un part, parce que la sélection est basée sur un programme de travail, parce qu'elle fixe *a priori* des règles d'éligibilité, elle influence très en amont le choix des partenaires, le design du projet. Pour obtenir un financement de la CE, le projet doit avoir un certain format, une certaine temporalité, un certain budget. Il y a des fenêtres qui peuvent se refermer. D'autre part, la procédure même de sélection impose des contraintes fortes : la rédaction d'une proposition implique un travail important de coordination et de négociation entre les futurs partenaires, sans aucune assurance de financement. C'est un investissement important que tout le monde n'est pas prêt à faire. Enfin, cette procédure de sélection impose des durées qui peuvent être pénalisantes pour les processus. Dans le cas de MEMORY par exemple, le temps d'évaluation crée une période de latence, durant laquelle des ingrédients se modifient (voir par exemple le cas de Lisandro qui change d'employeur durant cette période).

Recommandation 3 : Un système de propositions de projets "au fil de l'eau" est préférable à l'ouverture de fenêtres temporaires, basées sur des appels à projets. Cela permettrait de mieux suivre la réalité des processus d'innovation, de leur proposer un financement seulement lorsqu'ils sont prêts (la fenêtre des appels à projets arrive toujours trop tôt ou trop tard, comme dans le cas de MEMORY), et de proposer une procédure d'évaluation rapide et souple.

Recommandation 4 : Il doit y avoir des possibilités de monter des projets hors des sentiers tracés dans les programmes de travail. Les innovations radicales se trouvant souvent aux frontières de l'état de l'art où à la croisées de divers champs : elles ne trouvent pas toujours leur place dans les programmes balisés des appels à projets.

Concrètement, ces deux recommandations trouvent écho dans certaines pratiques et dans certains programmes d'aide. Il existe par exemple des appels blancs au niveau de l'ANR (ce qui correspond à la recommandation 4). Le programme d'aide européen EURÊKA, quant à lui, est basé sur une procédure de sélection au fil de l'eau, les propositions de projet pouvant être faites tout au long de l'année. Notre thèse suggère que ces types de dispositifs (appels blancs, sélection au fil de l'eau) devraient être privilégiés.

14.2.3 Enseignements Pour les praticiens de l'innovation

Aujourd'hui, de nombreux chercheurs, ingénieurs, chefs de projet, consultants, se trouvent engagés au cours de leurs carrières dans des projets collectifs d'innovation, et sont confrontés au montage et à la gestion de PCI. La théorie du véhicule nous offre une image particulière de ce qui attend ces innovateurs : ils s'engagent dans un voyage d'exploration, soumis à des forces multiples, au cours duquel ils devront créer, piloter et maintenir un véhicule. Que peut-on, à la lumière de cette théorie, conseiller aux praticiens de l'innovation ?

Au départ d'un processus d'innovation, au moment du premier concept, de la disjonction, il y a souvent un véhicule léger : un entrepreneur, un chercheur, un individu créatif, établit un lien entre divers champs et a l'idée d'un objet ou d'un service nouveau. D'ailleurs, on nomme souvent ces individus des "porteurs de projets innovants", comme si à eux seuls ils possédaient tous les ingrédients nécessaires pour véhiculer le processus. Très rapidement, pourtant, ce porteur va devoir s'associer à d'autres individus, organisations, établir des liens vers des communautés, etc. Il doit constituer un véhicule plus large autour de lui et de son projet, afin de rassembler les ingrédients de conception nécessaire à la continuité de son processus. Et ce faisant, il doit partager son concept avec d'autres individus, d'autres organisations... Et abandonner au passage le sentiment de paternité que les inventeurs ont parfois vis à vis de leurs concepts. Cet abandon, d'ailleurs, n'est pas que symbolique. Il s'accompagne aussi, dans les faits, de l'abandon d'une part de la propriété industrielle. Pour intéresser les partenaires, il faut savoir partager les résultats - hypothétiques - du futur. C'est un fait que des praticiens chevronnés comme Nikita ont parfaitement intégré :

"[...] Il y a deux types d'inventeurs. Ceux qui veulent garder et exploiter pour eux-mêmes et ceux qui cherchent aussi à faire avancer les autres en partageant la part du gâteau futur. Les premiers ne réussissent jamais..."

Extrait entretien Nikita

Le "porteur" du projet finit donc par partager cette charge avec d'autres ingrédients, dans le cours du processus. Souvent, le porteur historique reste un élément essentiel dans le véhicule... Mais comme nous le montre le cas MEMORY, le porteur historique peut parfois devenir accessoire (MEMORY continue après le départ d'Hector). D'ailleurs, on pourrait faire la conjecture que si, à

quelques milles des caraïbes, Colomb était tombé à l'eau, son expédition aurait tout de même continué son chemin jusqu'aux Amériques.

Recommandation 5 : les *porteurs de projet* doivent constituer un véhicule élargi pour porter leurs projets dans le temps : il doivent alors accepter de perdre en partie la maîtrise de la conduite du processus, qui appartient désormais à un véhicule plus vaste.

Recommandation 6 : les *porteurs de projet* peuvent constituer un véhicule suffisamment couplé et riche en ingrédients de conception pour survivre à leur propre sortie de processus. Dans certains cas, c'est d'ailleurs le rôle même des inventeurs que de lancer le processus autour d'un nouveau concept avant de s'en désintéresser.

Cependant, les véhicules ne sont pas immuables : ils sont soumis à des moteurs de changement nombreux, et peuvent parfois éclater sous l'effet de ces contraintes. De plus, quoi qu'il arrive, les PCI ont une fin programmée. Au bout de un, trois ou cinq ans, le projet se termine (c'est la fin du financement), et le véhicule réuni sous la forme d'un PCI se défait. La question de la continuité du processus à l'issue du projet se pose donc nécessairement.

Pour continuer, le véhicule devra être réorganisé de façon à recycler des ingrédients du passé, et en particulier des ingrédients issus du PCI. C'est ce que fait Colomb en récupérant des matériaux sur la Santa Maria, ou ce qui se passe dans MEMORY au départ de STARTER. On récupère donc des ingrédients durables (des inscriptions, des appareillages techniques, etc.) pour les coupler à un autre assemblage.

Recommandation 7 : Au cours du processus, les innovateurs doivent veiller à créer des assemblages durables d'ingrédients, qui pourront être réutilisés dans le cours du processus, dans le cadre d'autres véhicules. Ces assemblages durables peuvent être :

- des appareillages techniques associés à des inscriptions (un prototype non documenté, par exemple, n'est pas d'une grande utilité).
- des liens entre individus, qui résistent aux changements divers, aux fins de projet (le lien Nikita - Hector, ou le lien Paulin - Lisandro dans MEMORY sont des liens qui perdurent dans plusieurs séquences)

14.2.4 Un peu de science fiction

Nous sommes en 2015, le projet MEMORY est achevé depuis longtemps, chacun est reparti vers de nouveaux projets de recherche, ou de nouveaux projets professionnels. Les plus anciens sont à présent en retraite. Les installations devenues obsolètes ont été en partie modifiées. Les liens entre individus se sont distendus. Dans un laboratoire à Marseille, un jeune scientifique prend possession de son nouveau bureau. Dans un placard, il retrouve des plaquettes de silicium 8 pouces. Elles sont dans un étui en plastique sur lequel est inscrit "eMram". Un technicien de la salle blanche, à qui il montre ces plaquettes, lui explique qu'il s'agit probablement d'échantillons produits il y a quelques années dans le cadre d'un projet européen qui portait justement sur ce sujet, mais que l'on a jamais eu le temps d'analyser. Or, ce jeune scientifique a fait une thèse sur le magnétisme dans les nano-couches. Il est donc intéressé par le sujet, et fait une recherche auprès des services administratifs pour avoir des informations sur ce projet. Il retrouve ainsi la trace du brevet, dont l'inventeur est Nikita. En faisant son enquête auprès de collègues, il retrouve rapidement la piste de ce dernier, qui a dirigé le laboratoire il y a peu. Celui-ci a gardé sur un disque dur les livrables du projet MEMORY ! Par recoupement, notre jeune scientifique peut donc savoir quels sont les dépôts réalisés sur ces plaquettes (et selon quelles techniques). Or, il a un budget de recherche pour faire des analyses de magnétisme sur une toute nouvelle installation en Italie. Il envoie donc les échantillons chez son partenaire, afin d'analyser, quelques années plus tard, des concepts oubliés de MEMORY.

Dans l'exemple ci-dessus, nous voyons un raisonnement de conception redémarrer. Ce raisonnement est basé sur des ingrédients nouveaux : un chercheur, ses contacts, sa thèse sur le magnétisme, son budget, son partenaire en Italie. Mais ce raisonnement ne part pas de zéro. Il s'appuie en partie sur des travaux réalisés lors de MEMORY, quelques années plus tôt. Comment cette transmission est-elle possible socialement ? En s'appuyant sur des ingrédients du passé, ou des ingrédients d'aujourd'hui fortement couplés au passé : les échantillons oubliés dans un bureau, les services administratifs du Labo, une copie du brevet, des livrables sur un disque dur, Nikita, les liens que ses collègues ont gardés avec Nikita, etc. Et c'est ce jeune chercheur, son projet de recherche (son moteur téléologique) qui construit ce véhicule, le lance dans un nouveau raisonnement. Mais entre ces deux véhicules, il y a une rupture de plusieurs années dans le raisonnement. Elle correspond à une période durant laquelle des ingrédients essentiels ne sont plus associés et activés : la plaquette ou-

bliée dans un placard n'est l'ingrédient d'aucun processus, pas plus que les livrables stockés sur un disque dur.

Ce que nous montre cet exemple fictif, c'est aussi le rôle essentiel tenu par les institutions de recherche, comme les laboratoires publics par exemple : elles conservent des ingrédients des processus d'innovation anciens. Elles sont un répertoire d'ingrédients humains et non humains, qui permet de lancer des ponts entre des processus distants dans le temps. Ces institutions assurent le nécessaire couplage temporel entre les processus d'innovation évitant aux chercheurs, aux ingénieurs, aux innovateurs de devoir tout réinventer à chaque projet. Certes, les PCI ont un pouvoir téléologique, ils permettent de réunir sur des séquences courtes des moyens importants. Mais les PCI sont éphémères. Ils ont besoin d'autres institutions, plus durables, qui puissent assurer la pérennité des ingrédients de conception.

L'innovation est souvent présentée comme une activité tournée vers l'avenir, dans laquelle l'imagination, la créativité, la destruction des modèles anciens ont une place essentielle. Ce que nous montre le véhicule, c'est que l'innovation est également impossible sans couplage temporel, sans des ponts tendus vers le passé, sans des souvenirs, sans le recyclage et la transformation de ce qui était hier :

"L'imagination c'est de la mémoire fermentée. Quand on perd la mémoire on perd sa faculté d'imaginer."

Antonio Lobo Antunes, extrait d'un interview paru dans Lire 1999



Bibliographie

- Abbott, A. (1990), 'Primer on sequence methods', *Organization Science*, 1 (4), 373-92.
- Abernathy, W.J. and K.B. Clark (1988), 'Comment établir une carte stratégique des innovations ?', *Culture Technique*, 18 Mars 56-71.
- Aggeri, F. and B. Segrestin (2007), 'Innovation and project development: An impossible equation? Lessons from an innovative automobile project development', *R&D Management*, 37 (1), 37-47.
- Akrich, M., M. Callon, and B. Latour (1988a), 'A quoi tient le succès des innovations? 1 : L'art de l'intéressement', *Gérer et comprendre*, 11 4-17.
- — — (1988b), 'A quoi tient le succès des innovations ? 2 : Le choix des porte-paroles', *Gérer et comprendre*, 12 14-29.
- Allard-Poesi, F. (2003), 'Coder les données', in Giordano, Y. (ed.), *Conduire un projet de recherche* (245-90).
- Allen, T-J. (1984), *Managing the flow of technology*, (Cambridge, MIT Press).
- Bachelard, G. (1983), *La formation de l'esprit scientifique*, (Vrin).
- Bechara, J.P. and A.H Van de Ven (2007), 'Pilosophy of Science Underlying Engaged Scholarship', in Van de Ven, A.H. (ed.), *Engaged Scholarship* (Oxford University Press),
- Belussi, F. and F. Arcangeli (1998), 'A typology of networks: Flexible and evolutionary firms', *Research Policy*, 27 415-28.
- Benson, J. Kennerth (1977), 'Organizations : A dialectical view', *Administrative Science Quarterly*, 22 (1), 1 21.
- Berger-Douce, S. and F. Durieux 'Le raisonnement par analogie et par métaphore en sciences de gestion', in Mourgues, N. (ed.), *Questions de méthodes en Sciences de Gestion* (Editions EMS),
- Berry, M. (1995), 'Research and the practice of management : A french view', *Organization Science*, 6 (1), 104-16.
- — — (2000), 'Diriger des thèses de « terrain »', *Annales des Mines*, Décembre
- Boer, H. and W.E. During (2001), 'Innovation, what innovtion ? a comparison between product, process and organizational inovation', *International Journal of Technology Management*, 22 (1/2/3), 83-106.

-
- Boisot, M. and A. Canals (2004), 'Data, information and knowledge: Have we got it right?', *Journal of Evolutionary Economics*, 14 (1), 43-67.
- Boudès, T. and D. Christian (2000), 'Du reporting au raconting dans la conduite des projets', *Annales des Mines*, Mars 53-65.
- Branstetter, L.G. and M. Sakakibara (2000), 'When do research consortia work well and why? Evidence from Japanese panel data.', *Meeting of the American Economic Association*,
- Brochier, D. et Bidart, C. (Publication à venir en 2010), 'Les bifurcations' in Mendez A. (éd), *Analyse des processus sociaux et organisationnels : théorie et méthode*
- Brown, J. S. and P. Duguid (1998), 'Organizing knowledge', *California Management Review*, 40 (3),
- Brown, J.S and P. Duguid (1991), 'Organizational learning and communities of practice : Towards a unified view of working, learning and innovation.', *The Institute of Management Sciences*,
- Browning, L.D., J.M. Beyer, and J.C. Shetler (1995), 'Building cooperation in a competitive industry: Sematech and the semiconductor industry', *The Academy of Management Journal*, 38 (1), 113-51.
- Bruni, A. (2006), 'Access as trajectory: Entering the field in organizational ethnography', *M@n@gement*, 9 (3), 129-44.
- Burt, Ronald. S. (1992), *Structural holes*, Harvard University Press
- — — (2004), 'Structural holes and good ideas', *American Journal of Sociology*, 110 (2), 349-99.
- Caillé, A. (1993), *Pensée des ordres, pensée du contexte et pensées du politique*, (La Découverte).
- Callon, M. (1981), 'Pour une sociologie des controverses technologiques', *Fundamenta Scientiae*, 2 381-99.
- — — (1999), 'Le réseau comme forme émergente et comme modalité de coordination', in Callon, M. and Alii (eds.), *Réseau et Coordination* (Economica),
- — — (2003), 'Laboratoires, réseaux et collectifs de recherche', in Mustar, P and H. Penan (eds.), *Encyclopédie de l'Innovation* (Economica), 693-720.
- — — (2006), 'Sociologie de l'acteur réseau', *Sociologie de la traduction. Textes fondateurs* (Les Presses Mines Paris), 267-76.
- Chanal, V., H. Lesca, and A-C. Martinet (1997), 'Recherche ingénierique et connaissances procédurales en sciences de gestion : Réflexions épistémologiques et méthodologiques', *Papier de recherche de l'I.A.E. de Lyon*, 12
- Charreire, S. (2003), *L'étude empirique longitudinale*, (e-theque).
- Charreire, S. and F. Durieux (2003), 'Explorer et tester : deux voies pour la recherche', in Thietart,

- R-A. (ed.), *Méthodes de Recherche en Management* (DUNOD),
- Cheng, Y-T. and A.H Van de Ven (1996), 'Learning the innovation journey: Order out of chaos ?', *Organization Science*, 7 (6), 593-614.
- Cherni, M and M Frechet (2006), 'Choisir son partenaire pour innover: Critères et processus', *XV^{ème} Conférence de l'AIMS*,
- Chollet, B. (2005), 'Le rôle du réseau personnel de l'ingénieur en R&D : le cas du secteur des micro et nanotechnologies', Thèse, (Université Pierre Mendès-France).
- Cohen, M. D., J G. March, and J P. Olsen (1972), 'A garbage can model of organizational choice', *Administrative Science Quarterly*, 17 (1), 1-25.
- Coninck (de), F. and F. Godard (1990), 'L'approche biographique à l'épreuve de l'interprétation. Les formes temporelles de la causalité', *Revue Française de Sociologie*, 31 23-54.
- Cook, S.D.N. and J. S. Brown (1999), 'Bridging epistemologies : The generative dance between organizational knowledge and organizational knowing', *Organization Science*, 10 (4), 381 - 400.
- Cooper, R.G. (1976), 'Introducing successful new industrial products', *European Journal of Marketing*, 10 (6), 300-28.
- — — (1990), 'Stage-gate systems : A new tool for managing new products', *Business Horizons*, 44-53.
- Coriat, B. and O. Weinstein (1995), *Les Nouvelles Théories de l'entreprise*, ed.Poche, Le Livre de, (INEDIT Economie).
- Cowan, R, P.A. David, and D. Foray (2000), 'The explicit economics of knowledge codification and tacitness', *Industrial and Corporate Change*, 9 211-53.
- Créplet, F., O. Dupouët, and E. Vaast (2003), 'Episteme or practice? Differentiated communitarian structures in a biology laboratory', *Communities and technologies* (Kluwer, B.V.),
- David, A. (2000), 'La recherche-intervention, cadre général pour la recherche en management ?', in David, A., A Hatchuel, and R. Laufer (eds.), *Les nouvelles fondations des sciences de gestion* (Vuibert),
- — — (2002), 'Logique, Epistémologie et Méthodologie en sciences de gestion : trois hypothèses revisitées', in David, A, A Hatchuel, and R Laufer (eds.), *Les Nouvelles Fondations des Sciences de Gestion* (FNEGE),
- — — (2005), 'Des rapports entre généralisation et actionnabilité : Le statut des connaissances dans les études de cas', *Revue des Sciences de Gestion*, 39 139-66.
- — — (2000), 'Epistémologie et Méthodologie en sciences de gestion : trois hypothèses revisitées', *Les Nouvelles Fondations des Sciences de Gestion* (FNEGE),

-
- Desreumaux, A (2001), 'Investissement et nouvelles formes d'organisation : l'étude de la décision d'investissement comme mode d'approche des logiques de fonctionnement en réseau', in CHARREAUX, G. (ed.), *Images de l'Investissement* (VUIBERT),
- Detienne, C. (2004), 'La métaphore dans le discours scientifique : De la bouche pleine au muscle articulatoire', <http://www.info-metaphore.com>,
- Dillenbourg, P. (1999), 'What do you mean by collaborative learning ?', in Dillenbourg, P. (ed.), *Collaborative Learning : Cognitive and Computational Approaches* (Amsterdam: Elsevier Science/Pergamon.), 1-19.
- Dosi, G., D. Teece, and S. Winter (1990), ' Les frontières des entreprises : Vers une théorie de la cohérence de la grande entreprise', *Revue d'Economie Industrielle*, 51 238-54.
- Doz, Y.L., P.M. Olk, and P.S. Ring (2000), 'Formation processes of r&d consortia: Which path to take? Where does it lead?', *Strategic Management Journal*, 21 239-66.
- Doz, YL and O. Baburoglu (2000), 'Competition to Collaboration: The Emergence and Evolution of R&D Cooperatives', in D.O., Faulkner and M. De Rond (eds.), *Cooperative Strategy: Economic, Business and Organisational Issues* (Oxford University Press), 176-88.
- Eco, Umberto (1983), 'Horns, Hooves, Insteps: Some Hypotheses on three types of abduction', in Eco, U. and T. Sebeok (eds.), *The sign of three: Dupin, Holmes Peirce* (Indiana University Press.), 198-220.
- Fert, A. (2005), 'La spintronique : Des spins dans nos ordinateurs', *Conférence à l'Université des tous les savoirs*,
- Frechet, Marc (2004), *Prévenir les conflits dans les partenariats d'innovation*, (FNEGE, VUIBERT).
- Freeman, C. (1991), 'Networks of innovators: A synthesis.', *Research Policy*, 20 499-514.
- Garel, G. (2003), 'Pour une histoire de la gestion de projet', *Gérer et comprendre*, 74 77-89.
- Garel, G., V. Giard, and C. Midler (2003), *Faire de la recherche en management de projet*, (FNEGE, VUIBERT).
- Garfinkel, H. (1984), *Studies in Ethnomethodology*, (Oxford: Polity Press).
- Geraudel, M., C. Baret, and C. Mothe (2006), 'Réseaux sociaux et ressources de l'innovation : Proposition de modèle contingent', *Colloque de l'AIMS*,
- Glaser, BG and A. Strauss (1967), *Discovery of Grounded Theory. Strategies for Qualitative Research*, (Sociology Press).
- Grandori, A. (1997), 'An organizational assessment of interfirm coordination modes', *Organization Studies*, 18 (6), 897-925.
- Granovetter, M. (1983), 'The strength of weak ties : A network theory revisited', *Sociological*

Theory, 1 201-33.

- — — (1985), 'Economic action and social structures : The problem of embeddedness', *American Journal of Sociology*, 91 (3), 481-510.
- Grenier, C. and E. Josserand (2003), 'Recherches sur le contenu et recherches sur le processus', in THIETART, R-A. (ed.), *Méthodes de Recherche en Management* (DUNOD), 104-36.
- Grossetti, Michel and M-P. Bès (2001), 'Encastremets et découplages dans les relations science – industrie', *Revue Française de Sociologie*, 42 (2), 327-55.
- Grossetti, Michel (2006), 'Trois échelles d'action et d'analyse. L'abstraction comme opérateur d'échelle', *L'année Sociologique*, 56 (2), 285-307.
- — — (2004), *Sociologie de l'imprévisible*, (PUF).
- Gulati, R. and M. Gargiulo (1999), 'Where do interorganizational networks come from', *American Journal of Sociology*, 104 (5), 1439-95.
- Haas, P. (1994), 'Introduction: Epistemic communities and international policy coordination', *International Organization*, 46 (1), 1- 35.
- Hagedoorn, J., A. N. Link, and N. Vonortas (2000), 'Research partnerships', *Research Policy*, 29 (4-5), 567-86.
- Hansen, M.T. (1999), 'The rôle of weak ties in sharing knowledge across organization subunits', *Administrative Science Quarterly*, 44 82-111.
- Hatchuel, Armand (2000), 'Quel horizon pour les sciences de gestion ? Vers une théorie de l'action Collective', in David, A., A. Hatchuel, and R. Laufer (eds.), *Les nouvelles fondations des sciences de gestion* (Vuibert FNEGE),
- Heers, J (1981), *Christophe Colomb*, (Hachette).
- Huault, I. (1998), 'Embeddedness et théorie de l'entreprise, autour des travaux de mark granovetter', *Gérer & Comprendre, Annales des Mines*, 73-86.
- Huberman, A.M. and M.B. Miles (1991), *Analyse des données qualitatives. Recueil de nouvelles méthodes*, (Bruxelles: De Boeck Université).
- Kazakci, A.O. (2007), 'La théorie CKE comme fondement théorique pour les assistants de conception', Thèse, (Université Paris IX Dauphine).
- Kazakci, A.O. and Tsoukias, A. (2005), 'Extending the C-K design theory: A theoretical background for personal design assistants.', *Journal of Engineering Design*, 16 (4), 399-411
- Koenig, G 'Production de la connaissance et constitution des pratiques organisationnelles', *Revue de Gestion des Ressources Humaines*, 9 4-17.
- Lalle, B. (2004), 'Production de la connaissance et de l'action en sciences de gestion. Le statut expérimenté de "chercheur-acteur"!', *Revue Française de Gestion*, 1 (148), 45-65.

-
- Langley, A. (1999), 'Strategies for theorizing from process data', *The Academy of Management Review*, 24 (4), 691-710.
- Latour, B. (2003), 'Une théorie sociologique générale est-elle pensable ?', *La Revue du M.A.U.S.S.*, 34 154-72.
- Latour, B. (1985), 'Les "vues" de l'esprit. Une introduction à l'anthropologie des sciences et des techniques', *Culture Technique*, 14 4-30.
- — — (2003), 'L'impossible métier de l'innovation technique', in MUSTAR, P and H. PENAN (eds.), *Encyclopédie de l'Innovation (Economica)*, 9-26.
- Lave, Jean and Etienne Wenger (1991), *Situated learning : legitimate peripheral participation*, (Learning in doing; Cambridge [England] ; New York: Cambridge University Press) 138 p.
- Le Masson, P., B. Weil, and A. Hatchuel (2006), *Les Processus d'Innovation*, (LAVOISIER).
- Lenfle, S. and C. Midler (2003), 'Management de projet et Innovation', in MUSTAR, P and H. PENAN (eds.), *Encyclopédie de l'Innovation (Economica)*, 49-70.
- Macpherson, I., et al. (2004), 'Constructing a territory for professional practice research: Some introductory considerations', *Action Research*, 2 (1), 89-106.
- March, James G. (1991), 'Exploration and exploitation in organizational learning', *Organization Science*, 2 (1), 71-87.
- Mendez, A., Tchobanian, R. and Longo, M.E. (Publication à venir en 2010), 'Les séquences du processus' in Mendez A. (éd), *Analyse des processus sociaux et organisationnels : théorie et méthode*
- Mercier, D. et Oiry, E. (Publication à venir en 2010), 'Le contexte et ses ingrédients' in Mendez A. (éd), *Analyse des processus sociaux et organisationnels : théorie et méthode*
- Midler, C. (1996), 'Modèles gestionnaires et régulations économiques de la conception', in DE TERSSAC, G. and E. FRIEDBERG (eds.), *Coopération et Conception (Octares)*, 63-85.
- Mothe, C. (1997), *Comment réussir une alliance de R&D*, (L'Harmattan).
- Nonaka, I. and H. Takeuchi (1995), *The Knowledge-Creating Company: How Japanese Companies Create the Dynamics of Innovation*, (Oxford University Press).
- Nonaka, I. and N Kono (1998), 'The concept of ba', *California Management Review*, 40 (3),
- Nooteboom, B. (2000), 'Learning by interaction: Absorptive capacity, cognitive distance and governance', *Journal of Management and Governance*, 4 69-92.
- Obstfeld, D. (2005), 'Social networks, the tertius iungens orientation, and involvement in innovation', *Administration Science Quarterly*, 50 100-30.
- Orlikowski, W. (2002), 'Knowing in practice: Enacting a collective capability in distributed

- organizing', *Organization Science*, 13 (3), 249-73.
- Pascal, Amandine (2006), 'Conception d'une solution TIC pour favoriser l'émergence de projets innovants : une approche usage - L'expérience KMP', Thèse, (Université Nice Sophia Antiplois).
- Paturel, R. and H. Savall (1999), 'Recherche en management stratégique ou management stratégique de la recherche en stratégie ?', *Colloque de l'AIMS*,
- Perret, V. and M. Séville (2003), 'Fondements épistémologiques de la recherche', in Thietart, R-A. (ed.), *Recherche en Management* (Dunod), 13-33.
- Pettigrew, A.M. (1990), 'Longitudinal field research on change : Theory and practice.', *Organization Science*, 1 (3), 267-92.
- Polanyi, M. (1958), *Personal Knowledge*, (University of Chicago Press).
- Rosenberg, N and R Kline (1986), *The positive sum strategy*, ed.Rosenberg, (Washington DC: National Academy Press).
- Schon, D. (1983), *The reflective practitioner*, (New York: Basic Books).
- Segrestin, B. (2006), *Innovation et coopération interentreprises comment gérer les partenariats d'exploration ?*, (CNRS Economie).
- Snow, C.C., R.E. Miles, and H.J. Coleman (1992), 'Managing 21st century network organization', *Organizational Dynamics*, 5 (20),
- Suchman, L.A. (1987), *Plans and situated actions : the problem of human-machine communication*, (Cambridge University Press).
- Szulanski, G. (1996), 'Exploring internal stickiness: Impediments to the transfer of best practice within the firm', *Strategic Management Journal*, 17, Special issue 27-43.
- Takeuchi, H. and I. Nonaka (1986), 'The new new product development game', *Harvard Business Review*, January-February 137-46.
- Uzzi, B. (1997), 'Social structure and competition in inter-firm networks : The paradox of embeddedness', *Administrative Science Quarterly*, 42 (1), 35-67.
- Van de Ven, A.H (1986), 'Central problems in the management of innovation', *Management Science*, 32 (5), 590-607.
- Van de Ven, A.H and Marshall Scott Poole (1990), 'Methods for studying innovation developments in the minnesota innovation research program', *Organization Science*, 1 (3),
- Van de Ven, A.H and P.S. Ring (1994), 'Developmental processes of cooperative interorganizational relationships', *Academy of Management Review*, 19 (1), 80-118.
- Van de Ven, Andrew, et al. (1999), *The Innovation Journey*, (Oxford University Press, USA).
- Van de Ven, Andrew H. and Scott Poole (1995), 'Explaining development and change in

organizations', *The Academy of Management Review*, 20 (3), 510-40.

Weick, Karl E. (1979), *Social Psychology of Organizing*, (2nd edition; Addison-Wesley Pub. Co.).

— — — (1995), 'What theory is not, theorizing is', *Administrative Science Quarterly*, 40 385-90.

— — — (1998), 'Improvisation as a mindset for organizational analysis', *Organization Science*, 9 (5), 543-55.

Weil, B. and A. Hatcuel (2003), 'A new approach of innovative design : An introduction to c-k theory', *International Conference on Engineering Design*,

Wenger, E. (1998), *Communities of Practice : Learning, Meaning and Identity*, (Cambridge University Press).

Wenger, E., Macdermot, R. and Snyder, W. (2002) *Cultivating Communities of Practice : A Guide to Managing Knowledge*, Harvard Business School Press

Yin, R.K. (1981), 'The case study crisis : Some answers', *Administrative Science Quarterly*, 26 (1), 58-65.

Yin, Robert K. (2002), *Case Study Research. Design and Methods*, (Applied social research method series, 5; California: Sage Publications).

Zarka, Y.C. (1987), 'La décision métaphysique de hobbes: Conditions de la politique', *Vrin*