



CAPITALISATION DES CONNAISSANCES ET TRANSFORMATION D'UNE ROUTINE ORGANISATIONNELLE : LE CAS SACHEM

Nathalie Lazaric, Pierre-André Mangolte, Marie-Laure Massué

► To cite this version:

Nathalie Lazaric, Pierre-André Mangolte, Marie-Laure Massué. CAPITALISATION DES CONNAISSANCES ET TRANSFORMATION D'UNE ROUTINE ORGANISATIONNELLE : LE CAS SACHEM. Revue d'économie industrielle, Éd. techniques et économiques ; De Boeck Université, 2002, 4ème Trimestre 2002 - 0(101), pp.65-86. <hal-00132227>

HAL Id: hal-00132227

<https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00132227>

Submitted on 20 Feb 2007

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.

CAPITALISATION DES CONNAISSANCES ET TRANSFORMATION DE LA ROUTINE ORGANISATIONNELLE : LE CAS SACHEM

Nathalie LAZARIC^{*}, Pierre-André MANGOLTE^{**}, Marie-Laure MASSUE^{***}

(Document de travail - Juin 2002)

RESUME :

Cet article porte sur une expérience de capitalisation des connaissances, avec production d'un système à base de connaissances. Il s'agit du projet SACHEM qui porte sur le savoir-faire détenu par les personnes qui pilotent de manière experte la marche des hauts-fourneaux. L'unification et l'explicitation du savoir-faire, conservé jusqu'ici dans une certaine partie de la main d'œuvre, et la mise au point du système donnent un accès direct aux connaissances, ce qui améliore la performance des hauts-fourneaux et du secteur fonte. L'article détaille l'état des connaissances avant et après SACHEM, la manière dont elles sont produites, conservées et mises en œuvre, ainsi que l'explicitation d'un savoir-faire générique dans le cadre de ce projet. La capitalisation dépasse la simple mémorisation des savoirs existants; elle redéfinit les connaissances, la manière dont celles-ci évoluent, et la manière dont on les mobilise dans la production. En organisant la conservation, le partage, la circulation et l'utilisation des connaissances, la capitalisation permet de construire une nouvelle capacité productive donnant naissance à une nouvelle routine organisationnelle.

ABSTRACT :

This article explains an experience of knowledge's memorisation and the production of knowledge based system. Indeed SACHEM project deals with human holders and experts who are driving the working of the blast furnace. Before SACHEM know-how was only preserved in some part of the manpower. The implementation of the expert system creates a new glance of traditional know-how through its selection and explicitation improving casting performance and the working of the blast furnace. This article tries to show the state of the knowledge before and after SACHEM, the new way preserving and memorising knowledge as well the building of generic knowledge. It is important to underline that knowledge preservation is more than a simple memorisation of know how because this entails a new way of observing, updating and activating knowledge. This new way of preserving knowledge -of sharing, using and diffusing it-, allows the building of a new productive capability and a new organizational routine inside the firm.

^{*} LATAPSES CNRS, 250 rue A. Einstein, 06560 Valbonne Antipolis, France.

^{**} CEPN-IIDE CNRS, 99 av. J.-B. Clément, 03430 Villetaneuse, France.

^{***} REIMS MANAGEMENT SCHOOL, 59, rue Pierre Taittinger, 51100 Reims, France.

Introduction

Au cours des années 80-90, la crise traversée par l'industrie sidérurgique a donné naissance à un vaste mouvement de concentration, regroupant l'ensemble de la sidérurgie française dans le groupe USINOR. La forte pression concurrentielle a parallèlement rendu obligatoire la réduction des capacités de production et la réalisation d'importants gains de productivité, en particulier dans la filière fonte. Le coût de la fonte représente en effet 56 % du coût moyen des aciers, et les volumes produits sont importants et récurrents.

Les fermetures de sites, les fortes réductions d'effectifs (98 000 emplois disparaissent entre 77 et 90) et les mouvements de mutations internes organisés dans l'industrie, bouleversent alors les métiers et les systèmes traditionnels de conservation des connaissances. Les licenciements « secs » sont en règle générale évités, mais l'utilisation des pré-retraites à partir de 50 ans (CGPS et CPS) fait brutalement disparaître la connaissance cristallisée dans les plus anciens, sans que ceux-ci aient toujours eu le temps de former leurs successeurs. Toute réembauche est de plus interdite. La pyramide des âges du groupe USINOR se transforme alors de manière inquiétante; en l'état actuel de l'effectif, 50 % des salariés atteindront l'âge de la retraite en 2010, ce qui laisse présager la possibilité d'une disparition rapide et de grande ampleur d'un ensemble de compétences clés inscrites dans une partie de la main d'œuvre (Godelier, 1994).

USINOR engage alors une stratégie de capitalisation et de rationalisation des savoirs existants, avec utilisation de l'intelligence artificielle à cette fin. Un schéma directeur détermine 120 applications possibles de l'intelligence artificielle dans les métiers de l'acier. Une sélection ultérieure en retient dix-sept, avec un projet particulièrement important dédié à la conduite des hauts fourneaux. Il s'agit du projet SACHEM, qui a reçu un financement européen et mobilisé l'équivalent de 40 personnes pendant cinq ans – ce qui en fait à ce jour le plus grand projet d'I. A. industrielle en Europe.

Trois objectifs principaux sont visés par le projet SACHEM : (1) Assurer la conservation des métiers de base et pallier ainsi les risques de pertes de compétence induites par les restructurations; (2) Réaliser des gains de productivité en optimisant la marche des hauts fourneaux : la capitalisation des connaissances devant déboucher sur la production d'un système à base de connaissances (système-expert) fournissant un accès direct aux connaissances, ce qui devrait permettre un pilotage plus efficient du process. (3) Rassembler enfin autour d'un projet commun des experts hauts-fournistes de cultures différentes, issus de

sites divers et d'entreprises auparavant concurrentes. En faisant travailler ensemble ces experts, on souhaite obtenir une certaine harmonisation et unification des connaissances et des pratiques, ce qui ne peut que favoriser la coordination des actions dans l'organisation.

On peut alors souscrire à la remarque de Fouet (1997, p. 27) : la capitalisation des connaissances dans une organisation ne peut être réduite à une simple mémorisation de connaissances déjà existantes, et encore moins analysée comme un stockage d'informations à taux constant. Il s'agit plutôt de créer une ressource stable située dans l'organisation, et d'influer ainsi sur la distribution, le partage, le transfert et la mobilisation des connaissances dans l'activité productive, afin d'améliorer la performance routinière de l'organisation.

D'un point de vue théorique, un lien est donc établi entre un certain capital de connaissances, existant dans l'organisation et/ou constitué par la capitalisation, et la performance de la firme. Cette liaison est largement admise par les économistes. Toute une littérature s'attache en effet aujourd'hui à analyser et construire une "économie de la connaissance" (Freeman et Foray, 1992; Nelson, 1993; Cowan et Foray, 1997; Foray, 2000; etc.). Les débats portent sur la caractérisation de la connaissance de la firme (partagée, dispersée, articulée, codifiée, ou tacite par exemple) ou les rapports existants entre cette connaissance spécifique et l'évolution générale des connaissances dans l'économie toute entière. Mais la liaison établie entre un certain "stock de connaissance" et un certain niveau de performance organisationnelle est plus rarement discutée. Cette liaison est pourtant d'une certaine manière toujours problématique.

Le projet SACHEM (Système d'Aide à la Conduite des Hauts-fourneaux en Marche) porte justement sur un savoir-faire humain et sur l'exercice de ce savoir-faire. L'un des objectifs du projet est en effet la production d'un système à base de connaissances à partir de l'expérience détenue par les opérateurs qui surveillent et pilotent en temps réel la marche des hauts-fourneaux². Il s'agit donc d'explicitier - et d'unifier - un ensemble de savoirs qui n'existent jusqu'ici que cachés et largement dispersés dans une partie de la main d'œuvre. L'analyse détaillée du travail accompli permet de mettre en lumière la diversité des formes de connaissance produites au cours de l'explicitation et lors de la fabrication de la base de connaissance du système. On retrouve ainsi des résultats déjà largement acquis dans l'analyse des systèmes-experts (Dreyfus, 1972; Collins, 1988; Hatchuel et Weil, 1992). Mais le projet

² Les opérateurs sont les personnes qui pilotent le haut-fourneau, ainsi que toutes les personnes qui sont amenées à analyser la marche de cet outil (conduite, contrôle, maintenance, etc.). Les experts mobilisés dans le projet SACHEM sont tous des opérateurs.

SACHEM soulève d'autres problèmes, car l'enjeu est la transformation d'une routine organisationnelle (Nelson et Winter, 1982), la transformation du lien entre des connaissances présentes dans le secteur fonte et la performance du haut-fourneau. On est donc conduit à analyser l'état des connaissances avant et après SACHEM, et la manière dont ces connaissances - avant et avec SACHEM - sont mobilisées et mises en œuvre. C'est dans cette perspective que nous rendrons compte de cette expérience.

Dans une première partie, après avoir posé le cadre analytique, nous analyserons le savoir-faire "conduite du haut-fourneau" et son importance dans la détermination de la performance des usines à fonte. La deuxième partie décrira l'explicitation du mode générique de conduite du haut-fourneau à partir de l'expertise des hauts-fournistes, ainsi que la production du système à base de connaissances. On analysera la nouvelle conduite du haut-fourneau, SACHEM étant devenu opérationnel. La dernière partie reviendra sur la thème de la capitalisation et de la routine organisationnelle, en analysant la transformation du mode d'évolution du savoir-faire collectif "conduite du haut-fourneau".

I. ROUTINE ET SAVOIR-FAIRE COLLECTIF DANS LA CONDUITE DU HAUT-FOURNEAU

Routine organisationnelle et capitalisation des connaissances

Revenons sur ce problème théorique, le lien établi entre un certain capital de connaissances, situé dans l'organisation (le secteur fonte ici), et la performance organisationnelle. Dans l'approche néo-classique orthodoxe, on rend compte de ce lien en postulant une procédure de "choix" (le calcul maximisateur) qui opère sur un ensemble d'alternatives technologiques, conçu comme une description des états de la connaissance de la firme. Cette manière de poser le problème établit une séparation tranchée entre d'un côté l'ensemble des choix possibles, et de l'autre le choix lui-même. On disjoint par exemple la maîtrise d'un ensemble de techniques particulières, et le fait de décider quelle technique utiliser. On peut cependant considérer que les procédures du choix (maximisation ou toute autre procédure), loin d'être données, font aussi partie des capacités de la firme. Car choisir ce qu'il convient de faire et faire réellement, relève bien du même savoir ou savoir-faire en acte, et doivent donc - en toute logique - relever du même schéma d'analyse. C'est l'approche des firmes en termes de routines organisationnelles, une approche initiée par Nelson et Winter (1982).

Le lien établi entre certaines connaissances et la performance est alors conservé, mais la performance ne peut plus être déduite de manière aussi mécanique d'un ensemble de connaissances séparé de l'activité productive elle-même. Car la routine en acte de l'organisation prise comme un tout dépend, le contexte étant donné : (a) des connaissances rassemblées et "mémorisées" dans l'organisation, sous forme d'équipements, procédures, savoirs et savoir-faire portés par des êtres humains, mais aussi (b) des choix que les membres (humains) de l'organisation vont (ou ne vont pas) effectuer dans la mise en œuvre de ces savoirs et savoir-faire. Ces choix sont bien d'une certaine manière déjà inscrits dans les savoir-faire des individus ou les procédures de l'organisation, mais ils ne se réduisent pas à cela. Ils reposent aussi (c) sur une certaine "trêve du conflit intra-organisationnel" (Nelson et Winter, 1982, p. 110), ce qui signifie que la performance de l'organisation dépend aussi des motivations individuelles et de l'état des relations sociales existantes.

Le niveau de la performance d'un secteur fonte est ainsi largement déterminé à l'avance par les savoirs et savoir-faire réunis dans ce secteur et détenus par les différents membres de l'organisation. Le collectif de travail suit les procédures établies, utilise les outils et équipements existants, met en œuvre des savoirs acquis ou des capacités construites au cours du temps, etc. Il reste cependant que rien ne peut totalement assurer que les êtres humains porteurs du savoir-faire mobiliseront toujours de la même façon, avec la même "bonne volonté", leurs propres savoirs et savoir-faire. Il ne suffit pas en effet qu'ils aient la connaissance des actions à entreprendre et disposent des moyens leur permettant de les entreprendre, il faut aussi qu'ils le veuillent. Car les procédures de contrôle des activités et les systèmes d'incitation existant dans l'organisation ne peuvent jamais garantir une totale programmation du comportement des êtres humains; ceux-ci sont toujours maîtres dans une mesure plus ou moins large de leur "niveau d'effort" (Leibenstein, 1987). La performance d'une organisation repose donc sur un minimum de volonté coopérative, et reste dépendante du contexte social et relationnel de l'organisation.

Une telle approche, en termes de routine organisationnelle, ouvre alors la voie à une analyse du lien entre la connaissance cristallisée dans l'usine à fonte, et les performances de celle-ci (évaluables à travers un certain nombre d'indicateurs (débit et qualité de la fonte, consommations de matières et d'énergie, régularité du processus, etc.). L'important n'est pas seulement la manière dont les connaissances sont produites et mémorisées, sous une forme ou sous une autre, mais surtout la manière dont la connaissance est mobilisée, gérée, déployée et perdue effectivement dans l'activité organisationnelle. Le projet de capitalisation des

connaissances entrepris à USINOR (SACHEM) s'inscrit bien dans cette perspective, puisqu'il s'agit d'un travail portant non seulement sur l'expertise existante (le savoir et savoir-faire détenu par les différents opérateurs en charge de la conduite du haut-fourneau), mais aussi sur l'expression de ce savoir, sur sa mobilisation effective en situation productive. En explicitant, unifiant et rationalisant les connaissances, on peut espérer améliorer sensiblement le niveau de la performance organisationnelle; et ceci d'autant plus, qu'on transformera aussi les modes de partage, de circulation et de mobilisation des connaissances.

Le projet SACHEM ne prévoit pas un remplacement des opérateurs par le système à base de connaissances. On veut simplement sécuriser le process de production, en fournissant aux opérateurs des anticipations fiables sur la marche du haut-fourneau. On veut aussi confronter ceux-ci en permanence à cette connaissance experte qui sera intégrée dans la base de connaissance du système, une connaissance qu'ils ne pourront et ne devront pas ignorer dans leur travail. Comme le souligne le directeur du projet SACHEM, "La capitalisation n'est pas un réflexe naturel, consulter l'ancien n'est pas automatique. L'utilisation de ce capital de connaissances doit être fortement prescrite, voire contrainte par l'organisation. La capitalisation doit avoir un caractère opérationnel fort".

Connaissance du haut-fourneau et savoir-faire des opérateurs

C'est le haut-fourneau qui, par la qualité de la fonte fournie, conditionne la suite des opérations de production et transformation des aciers. "Le haut-fourneau est le point nodal de toute activité portant sur la transformation du métal" (Foray, 1987, p. 191). La course au gigantisme qui a caractérisé l'évolution des équipements au cours des années 50-60 est pratiquement achevée, et la production concentrée dans quelques usines à fonte comprenant un nombre limité de hauts-fourneaux de grande taille³. L'extension des capacités n'étant plus à l'ordre du jour, des progrès éventuels en terme de performance ne peuvent plus guère être obtenus qu'en améliorant la marche des équipements existants.

"Sur le plan métallurgique, le haut-fourneau est un réacteur chimique à contre-courant gaz-solides, dans lequel sont réalisés la réduction des oxydes de fer, la fusion du fer et de la

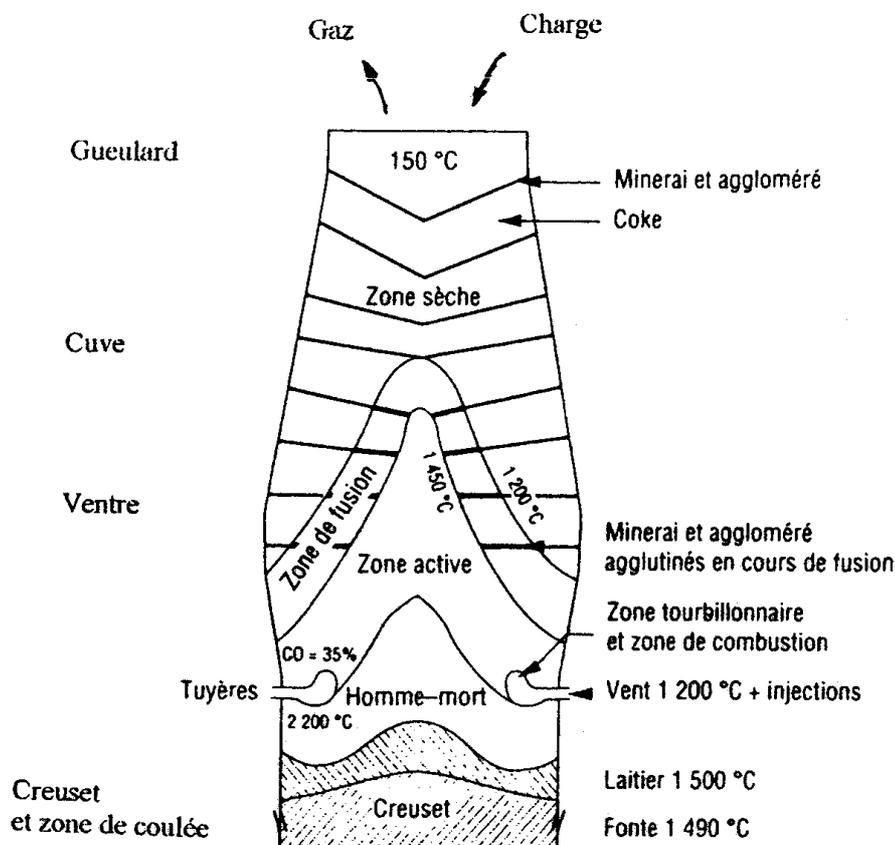
³ Les outils restent néanmoins différents, il en est de même des pratiques d'utilisation. Les objectifs en termes de production relative de fonte et laitiers diffèrent. Il en est de même pour les charges. Certains hauts-fourneaux fonctionnent avec un enfournement minéral constitué presque exclusivement de minerai en roche ou de boulettes; alors que la stratégie suivie dans le groupe USINOR est la maximisation de l'enfournement d'agglomérés (80 à 95 % de la charge), une pratique qui améliore le fonctionnement des hauts-fourneaux et autorise l'utilisation de minerais de provenances et de qualités diverses (lesquels sont disponibles sur le marché mondial).

gangue et la séparation entre le métal (fonte) et les scories (laitier)" (Steiler et Schneider, 1994, p. 1194).

Au sein du haut fourneau, les matières enfournées se transforment progressivement à travers différents phénomènes de nature thermique, physique, chimique, mécanique, etc., en fonte liquide. Mais on ne sait finalement que peu de choses sur tous ces phénomènes. Seuls quelques phénomènes physico-chimiques sont modélisés de manière opérationnelle. Le haut fourneau reste une sorte de "boîte noire"⁴. On sait ce qu'on y introduit (la "charge", c'est-à-dire essentiellement le coke et les minerais, mais aussi du charbon pulvérisé, de l'air chaud, des gaz, etc.). On constate ce qui est produit (fonte et laitiers). Mais on ne sait que très partiellement ce qui se passe à l'intérieur. Des milliers de capteurs sont cependant installés sur les parois de la cuve, au niveau du gueulard, des tuyères, ou dans les rigoles d'écoulement du laitier et de la fonte. On collecte ainsi en temps réel, à la périphérie du processus, tout un ensemble de données (températures, pression, débit, niveaux des matières, etc.), mais on ne peut réellement mesurer ce qui se passe au sein de la charge. Toute cette information apportée par les instruments nécessite de surcroît une interprétation qui repose toujours largement sur une connaissance empirique et le jugement humain. C'est le domaine du métier, de l'expertise humaine construite en situation.

⁴ Au début des années 70, les sidérurgistes japonais ont réalisé des "trempes" de hauts-fourneaux, c'est-à-dire un arrêt brutal de la marche. Ils ont pu ainsi les autopsier afin de mieux connaître la localisation des différentes zones de travail. Il en est résulté "une image complètement nouvelle de l'état interne de l'appareil, mettant en évidence l'importance de la dimension radiale et le rôle fondamental de la zone de fusion, dont la forme, la position, et l'épaisseur exercent une influence considérable sur la distribution du gaz..., et donc l'efficacité de la réduction" (Steiler et Schneider, 1994, p. 1204). Ces trempes ont complètement bouleversé les connaissances et croyances antérieures des différents centres de recherche de l'industrie sidérurgique mondiale sur le fonctionnement interne du haut-fourneau.

Figure 1 : Le haut fourneau, à la lumière des trempes japonaises



La régularité de la marche du haut-fourneau conditionne la qualité de la fonte produite. Elle permet un écoulement régulier et une vidange complète des liquides, et assure la pérennité d'un outil de production coûteux, dont la durée de vie est en principe d'environ 15 ans. Une marche dégradée, avec une descente des charges irrégulière, modifie la répartition des matières au sein du haut-fourneau, ce qui perturbe le processus de transformation du minerai de fer et du charbon en fonte. La consommation d'énergie augmente alors; et les variations de température entraîne une usure anormale du briquetage et du blindage de la cuve. Divers incidents peuvent de surcroît survenir. Le plus fréquent est « l'accrochage », c'est-à-dire l'arrêt de la descente de la charge - dans l'ensemble de la cuve ou d'un côté seulement (c'est alors une « marche de travers »). Les charges accrochées aux parois forment une espèce de voûte qui contrarie la montée des gaz vers le gueulard, et arrête la combustion en amont; avec comme manifestations externes la montée de la pression du vent soufflé et une chute du débit du gaz au niveau du gueulard. Si rien n'est fait, l'accrochage peut conduire à

une chute de la charge dans le haut-fourneau, avec possibilité de remontées de fonte et de laitier à travers les tuyères, des explosions, des émissions brutales de gaz, etc.⁵.

Pour obtenir une marche normale et régulière, deux choses sont particulièrement importantes : (1) la constante en qualité des charges enfournées, qui dépend largement de leur préparation (agglomération, granulométrie, composition chimique (castine), etc.) et de leur bonne répartition au niveau du gueulard, et (2) le contrôle des températures à l'intérieur de la cuve. "Pour qu'un fourneau fonctionne bien, diront les anciens, il doit avoir les pieds chauds (le creuset), le ventre libre (la cuve) et la tête froide (le gueulard)" (Thierry, 1940). Les variations thermiques conditionnent en effet la qualité de la fonte, son coût et la pérennité de l'outil de production; "la maîtrise des sollicitations thermiques est un gage de longévité", comme nous l'a déclaré un représentant des utilisateurs de SACHEM (Massué, 1998⁶).

Le haut-fourneau fonctionne en continu, et l'élaboration du métal, de la charge des minerais à la sortie de la fonte au plancher de coulée, dure environ huit heures. Le processus est surveillé par les opérateurs qui règlent en temps réel la marche du haut-fourneau. Comme le process est continu et fonctionne en trois-huit, différentes équipes se succèdent aux postes de surveillance. Chaque opérateur reçoit des informations sur l'état du processus de production de la fonte à partir de l'instrumentation existante, et doit si nécessaire prendre des décisions et entreprendre des actions adaptées à la situation, le but étant de maintenir la marche réelle du haut-fourneau aussi près que possible de la marche dite "normale", une allure définie à l'avance. Mais comme les temps de réponse aux actions entreprises par les opérateurs sont très variables, de deux à huit heures, l'opérateur en poste doit intégrer dans son analyse de la situation en cours, les actions entreprises par les opérateurs précédents sans forcément savoir quand les effets de ces actions se produiront. Les informations nécessaires sont transmises d'une équipe à l'autre par des carnets de poste, lesquels sont dressés pour conserver la mémoire des actions entreprises.

Les opérateurs doivent donc posséder une vision globale du process et être doté d'une grande capacité d'anticipation. Il faut savoir ce qu'il convient de faire à tout moment, compte

⁵ Voir Thierry (1940), un des rares manuels consacrés au haut-fourneau et à sa conduite, pour la description détaillée de certains incidents de marche et les moyens utilisés (à l'époque) pour y remédier. Voir aussi Fuchs (1995), qui décrit différents accidents (explosions, incendies) survenus à Dunkerque au cours des années 50-60.

⁶ La majeure partie de l'information sur le déroulement du projet SACHEM a été collecté au cours d'une série d'interviews réalisées par l'une d'entre nous (Marie-Laure Massué) au cours des années 1997-1998 essentiellement. Les dirigeants du projet, des experts, des cognitiens et des opérateurs utilisateurs de SACHEM

tenu de toutes les informations disponibles. Dans le pilotage d'un haut-fourneau, c'est la capacité à réagir vite et bien, tant en situation « critique » qu'en marche normale, qui permet de fournir de la fonte de même qualité, sans surcoût, en ayant assuré la régularité des opérations. Il y a là une véritable expertise, liée au métier, acquise pour l'essentiel par expérience et sur le tas.

On pourrait penser alors qu'il y a toujours une forte composante personnelle dans cette compétence, et que cette composante personnelle repose sur de la connaissance tacite difficilement explicitable, comme pour les savoir-faire individuels les plus liés au corps et à la perception. On sait par exemple que jusqu'à la première guerre mondiale, le contrôle des températures lors des opérations de laminage se faisait par observation directe de la couleur et de l'aspect du métal, ce qui supposait une longue accoutumance et un savoir-faire très long à acquérir (Verry, 1955). Pour reconnaître la composition chimique des aciers, on peut de manière analogue observer le grain du métal sur des échantillons. Une telle compétence demande cinq ans d'expérience sur le tas (Balconi, 1999).

De telles connaissances "hautement tacites", non articulables⁷, incorporées dans des perceptions particulières, existent dans les secteurs fonte. Les hauts-fournistes travaillant au plancher de coulée "sentent toujours la fonte" et peuvent - prétendent-ils, à tort ou à raison - juger ainsi de la qualité "bonne" ou "mauvaise" de la coulée ; mais cette connaissance n'est pas réellement utilisée de manière opérationnelle; et les capacités gestuelles ou perceptives ne jouent plus qu'un rôle marginal dans les opérations de réglage de la marche du haut-fourneau. Les opérateurs ne sont pas en contact direct avec les matières transformées. Ils travaillent sur écran, recevant ainsi l'essentiel des informations à partir desquelles ils doivent réagir, raisonner et prendre leurs décisions. Les compétences gestuelles ou perceptives nécessaires sont tout à fait ordinaires et ne définissent aucunement l'expertise.

Une des hypothèses fondant le projet SACHEM est à l'inverse l'idée qu'il existe de fait un mode de conduite générique du haut-fourneau, lequel peut dans une certaine mesure être explicite. Cette hypothèse repose sur le constat que chaque haut-fourneau, malgré ses spécificités, génère approximativement les mêmes sorties avec les mêmes entrées (en termes de connaissances et de matières). Il existe donc un processus générique de production de la

ont ainsi été interrogés à plusieurs reprises. Toutes les citations données dans l'article sont extraites de ces entretiens.

⁷ Pour cette distinction entre connaissance tacite articulable et connaissance tacite non articulable, voir Winter (1987) et Mangolte (1989).

fonte, et on peut donc penser qu'un mode de conduite générique du processus existe aussi. Cette conduite générique est au cœur du métier du haut-fourniste et mérite, dès lors, un investissement spécifique visant son explicitation et sa conservation dans une forme détachée des différentes personnes humaines qui en sont jusqu'alors les seuls dépositaires.

Avant SACHEM, ce métier était acquis et transmis presque exclusivement par un mode traditionnel d'apprentissage, qu'on désigne dans l'industrie par le terme "compagnonnage". La formation du haut-fourniste commençait, à la sortie d'un BTS ou d'un Bac Technique, par le plancher de coulée (où sortent la fonte en fusion et le laitier). La recrue expérimentait ensuite tous les postes en amont et aval du haut-fourneau, avant même que les principes de fonctionnement de celui-ci lui soit expliqué. Un opérateur compétent se reconnaissait alors à sa façon de poser les problèmes et à la durée de son expérience professionnelle (un minimum de dix ans). La conservation des savoirs les plus spécifiques nécessaires à la conduite efficace d'un haut-fourneau était donc essentiellement assurée par la formation d'une partie de la main d'œuvre à cette tâche.

Le système du compagnonnage, qui, malgré ses origines lointaines, n'exclut aucunement l'utilisation des technologies les plus récentes, est un apprentissage en situation sous la direction des anciens. Ceux-ci en effet, étant plus expérimentés, sont (presque par définition) plus compétents. La transmission et l'acquisition du savoir dans les relations interpersonnelles n'impliquent pas alors obligatoirement une explicitation complète des connaissances. La parole, le geste, la démonstration en situation suffisent la plupart du temps. La création de mémoires externes articulées utilisant par exemple l'écriture, comme c'est le cas pour un enseignement (et apprentissage) à distance est encore moins nécessaire. La conservation du savoir est assurée d'une génération à l'autre par le maintien de la "communauté de pratique" (Brown et Duguit, 1996); et c'est dans cette communauté, alors même que le savoir-faire n'existe nulle part dans une forme explicite et unifiée, et n'apparaît que dans le cadre des relations interpersonnelles, que les savoirs qui font le "métier" du haut-fourniste évoluent et tendent à s'unifier, un phénomène qui renforce l'hypothèse de "généricité".

On peut alors, pour caractériser l'évolution dans le temps du métier, évoquer l'invention collective (Allen, 1983). Allen distingue quatre modes d'invention stables et institués : les institutions de la recherche publique (universités, etc.), la R&D des firmes (impliquant investissement spécifique), l'invention individuelle et "l'invention collective". Cette invention collective est, dit Allen, un schéma général de comportement où les "firmes inventent

collectivement", avec trois caractéristiques : l'échange libre d'informations et de connaissances, l'absence d'investissements spécifiques et la non-appropriabilité des connaissances - ces deux derniers traits différenciant invention collective et R&D. Dans le cas du savoir-faire, les découvertes sont réalisées en cours de la fabrication, par les opérateurs eux-mêmes. On a bien pour l'essentiel un "produit-joint des opérations routinières de production" (Allen, 1983, p. 2), qui n'est aucunement lié à des investissements spécifiques. L'échange des connaissances et des informations est de surcroît libre dans la profession, et la diffusion de la nouvelle connaissance suit alors le rythme de la formation des nouveaux par les anciens, ou passe par des circuits plus ou moins informels et relationnels qui relient entre eux les sidérurgistes. La connaissance se transforme, s'enrichit et s'oublie alors localement, au gré des expériences et des contacts personnels.

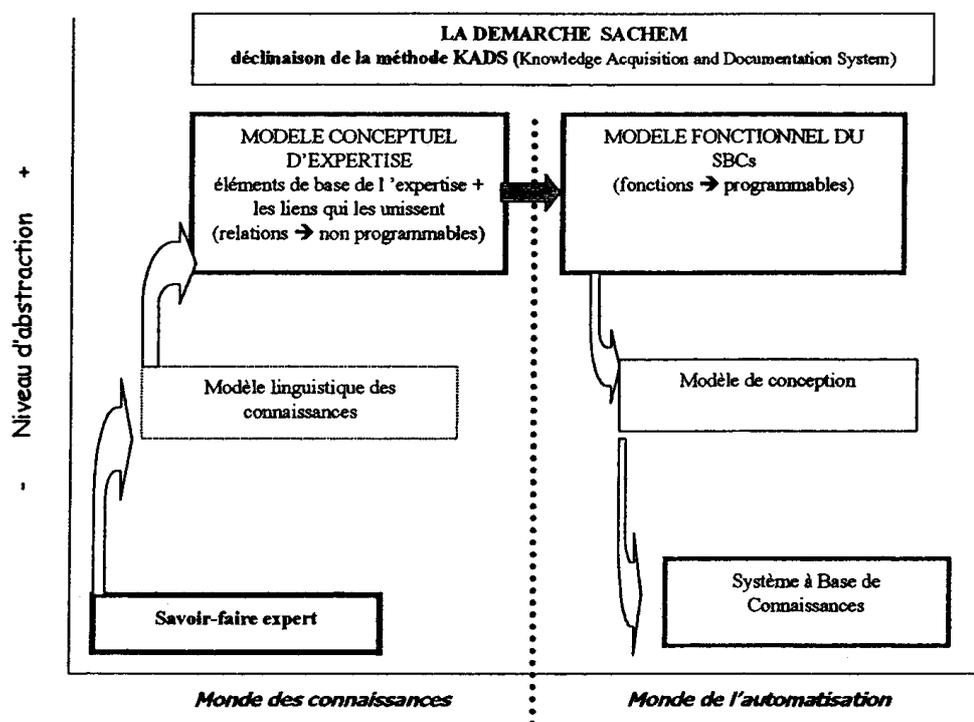
II. LE PROJET SACHEM, UN TRAVAIL SUR LA MEMOIRE COLLECTIVE

L'explicitation du mode de conduite générique et la constitution du système à base de connaissances

Dès 1989, un groupe d'experts venant de différents sites du groupe USINOR est réuni pour définir un vocabulaire applicable à la conduite des hauts fourneaux. Un guide de conduite du haut fourneau pour praticien (XpertDoc) est ainsi formalisé sous forme d'arbres de causalité, d'abord sur support papier, puis sur support informatique en hypertexte. Ce travail a permis la construction d'un référentiel de vocabulaire commun (familièrement désigné par l'expression "la bible"); et produit parallèlement une vision et une compréhension commune du métier. Car cette activité dépasse le simple rassemblement, avec confrontation sélective, des connaissances; produire ce savoir commun signifie aussi abandon pour chaque acteur d'un certain nombre de repères, de convictions, de croyances, lesquelles sont le plus souvent liées aux pratiques et histoires des différentes entreprises. L'élaboration d'une vision commune du métier et sa formulation dans un document de référence n'étaient donc pas des buts si faciles à atteindre. La méfiance, qui est courante entre salariés appartenant à des sites en rivalité, doit alors s'effacer ou disparaître; ce qu'une simple fusion juridique d'entreprises ne peut garantir automatiquement. Rappelons que le groupe USINOR est le résultat de nombreuses fusions; et que les secteurs fonte de Fos et Dunkerque appartenaient à des sociétés rivales, représentant deux traditions différentes. Pour produire cette "bible" (XpertDoc), les experts se sont réunis une fois par mois durant deux ans, chaque réunion durant deux jours : un objectif bien plus modeste que le projet SACHEM, mais une première

forme de capitalisation, avec comme produit final un guide de conduite du haut fourneau ; autrement dit, une mémoire externe et commune d'une partie de leur propre expertise.

Figure 2 : La démarche du projet SACHEM



Ces experts ont été ensuite mobilisés avec l'apport de six cognitivistes sur le projet SACHEM⁸. Un travail de rassemblement, d'explicitation et de sélection détaillée des connaissances commence alors. Les connaissances expertes vont être recueillies, formalisées, et modélisées suivant une méthode adaptée de la méthodologie KADS, une méthode qui permet de modéliser des connaissances d'expert dans le but de réaliser des systèmes d'aide à la décision⁹. Cette méthode comprend plusieurs phases. La première est la création d'un modèle d'interprétation des connaissances expertes par adaptation d'un modèle prédéfini tiré d'une bibliothèque. Mais il n'existait aucun modèle d'interprétation des connaissances en matière de conduite de process. Il fallut donc créer ce modèle, baptisé AEG (Analyse de l'Expertise

⁸ Tous n'ont cependant pas participé au projet SACHEM; les critères de sélection - en plus de la compétence - ayant été la représentativité en terme de sites, la capacité à communiquer sur ses propres connaissances, et la motivation vis-à-vis du projet (volontariat).

⁹ KADS (Knowledge Acquisition and Domain Structuring) est le nom d'un important projet européen développé dans le cadre des programmes Esprit à partir de 1985, et le nom de son résultat : une méthode applicable à toute expertise technique ou scientifique permettant le développement de systèmes à bases de connaissances (cf. Shabolt, 1998).

Générale). A partir d'un certain nombre d'études de cas jugées représentatives des phénomènes haut-fourneau, on a pu comprendre la manière dont les experts analysent les phénomènes et ainsi délimiter le champ de l'expertise nécessaire à la conduite d'un haut fourneau. Cette expertise ainsi dévoilée et validée par le collège des 13 experts de la SOLLAC a été « décortiquée » par les cognitivistes afin d'identifier les concepts clés et leurs articulations. Cette phase du travail a duré 10 mois et permis de fixer le périmètre de l'expertise. Dans ce cadre, le recueil détaillé et exhaustif des connaissances des 13 experts a pu commencer ; c'est la phase de l'Analyse de l'Expertise Détaillée (AED). Elle a permis d'identifier 150 phénomènes physico-chimiques possibles du processus haut fourneau et de les organiser en base de connaissances correspondant à des thématiques métallurgiques (creuset, gaz, charge, parois, tuyères, etc.). Ce sont ces thématiques métallurgiques qui dans SACHEM apparaissent sur l'écran de l'opérateur et l'informent ou l'alertent sur certains phénomènes. Et c'est à partir de cette base de connaissances et des informations fournies par les capteurs, que le système qualifie une hausse de température comme anormale et propose des recommandations d'actions à l'opérateur selon le niveau de gravité identifié.

Tout ce travail d'explicitation est soumis à trois contraintes de validation :

(1) Les connaissances retenues doivent être considérées comme "génériques"; ce qui signifie, dans ce projet, qu'on peut les dissocier de leur contexte de création et d'usage initial, afin de les transférer dans un autre cadre. La connaissance experte générique est donc obligatoirement multi-sites et multi-experts. Elle doit être élaborée et validée par un expert, puis reconnue et validée par d'autres experts, et même expérimentée sur d'autres sites que le site d'origine. En effet, comme le dit le Directeur de SACHEM, "Un expert est celui qui va raisonner juste dans un cas de figure nouveau et sur un site qu'il ne connaît pas. Son mode de raisonnement, ses connaissances et sa pratique lui permettent une adaptation immédiate". C'est ce type de "généricité" que le projet SACHEM vise. La connaissance "spécifique" est celle qui reste liée à certaines personnes, ou à une zone fonte particulière; ou celle qui, étant nouvelle, n'est pas encore intégrée à l'ensemble des connaissances reconnues valables par le groupe des experts. Les connaissances dites génériques seront, une fois intégrées dans la base de connaissance du système, utilisables sans problème sur n'importe quel site ; les adaptations nécessaires aux spécificités locales étant alors introduites sous forme de paramètres (ex : nombre de tuyères du haut fourneau considéré).

(2) Ces connaissances doivent aussi être tenues pour "vraies" par le collège des experts. Les différentes connaissances ou croyances individuelles ou collectives mises à jour dans

l'explicitation sont discutées et éventuellement remises en cause. Cette activité critique peut même conduire au rejet de certaines croyances considérées comme vraies par certains experts. L'expert cognitif nous a relaté un fait illustrant cela. Il existe un phénomène appelé fluidisation¹⁰. Dans l'esprit de tous, un autre phénomène lui était lié : une chute du niveau de la charge. Deux croyances existaient à ce sujet :

Croyance 1 : Il n'y a pas de phénomènes de fluidisation à Fos-sur-Mer.

Croyance 2 : Quand une fluidisation est détectée et qu'une chute de niveau de charge est à son tour détectée, on considère qu'il n'y a pas eu de fluidisation car c'est la chute qui a entraîné une montée des températures faussement interprétée comme une fluidisation.

Or grâce aux informations fournies en temps réel par SACHEM, on s'est aperçu :

(a) Qu'il y a des phénomènes de fluidisation à Fos-sur-Mer.

(b) Quand il y a fluidisation et chute du niveau des charges, la fluidisation précède d'une heure la chute du niveau de charge.

Le système a donc permis de découvrir ou re-découvrir des phénomènes. Invalidant les croyances de certains hauts-fourneaux, voire de tous, et produisant de nouvelles croyances (ou connaissances) sur le fonctionnement du haut-fourneau, l'expertise se modifie alors. Il y a apprentissage.

(3) Les connaissances doivent enfin être considérées comme "utiles". Le passage du monde des connaissances des experts humains à celui de l'automatisation correspond pour citer un des experts cognitifs "au passage d'une expertise vraie à une expertise utile". En effet, il ne suffit pas que la connaissance soit vraie, ait fait ses preuves et permette d'atteindre le résultat souhaité. C'est nécessaire, mais non suffisant. Pour faire l'objet d'une inscription dans une base de connaissances, la connaissance doit être jugée pertinente et utilisable dans le cadre de l'activité des opérateurs. Elle doit de plus, être implémentable dans la machine.

On le voit, à travers tous ces impératifs de validation, il ne s'agit pas d'explicitation tout ce qui constitue l'expertise humaine et permet son existence. On veut simplement mettre à jour le corpus de connaissances qui correspond à l'expertise générique utile. Au cours de ce travail, on va produire des connaissances nouvelles, et les savoirs et savoir-faire des experts seront eux-mêmes transformés. L'explicitation n'est ni une extraction (sans changement) de l'expertise, ni un rassemblement avec tri de savoirs déjà existants mais auparavant dispersés.

¹⁰ C'est (selon Corbion, 1989) "la haute voltige des matières dans le gueulard lors de passages préférentiels de gaz [à travers les matières]". La constitution d'un tel passage préférentiel est une "cheminée", qui peut conduire au "renardage", par allusion aux nombreuses galeries que le renard creuse pour faire son terrier, et, à la "fluidisation" qui se traduit par une dégradation du rendement de la cuve.

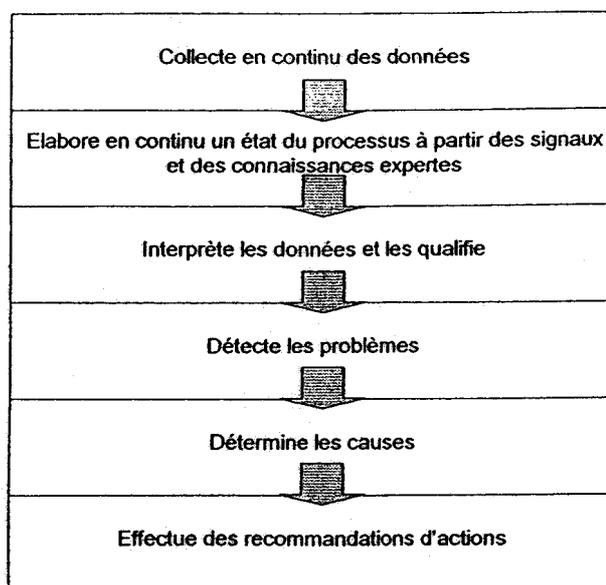
Il s'agit plutôt d'une production de plusieurs formes de connaissance, différentes les unes des autres, chacune de ces formes étant soumise à ses propres contraintes. "On n'accède jamais aux savoir-faire réels mais à une interprétation langagière, graphique ou gestuelle, c'est-à-dire à une manifestation externe", ainsi l'énonce un des cogniticiens du projet SACHEM.

La dernière phase du travail d'explicitation et de fabrication du système-expert est particulièrement illustrative de cet aspect des choses. Il s'agit de la validation finale du corpus des connaissances recueillies, avant leur implémentation dans la "base de connaissance" de SACHEM. C'est la phase la plus délicate et la plus cruciale, car une fois validé, le corpus des connaissances passe dans le "monde de l'automatisation" et corriger une erreur en phase d'exploitation est mille fois plus coûteux qu'en phase de recueil des connaissances. Cette validation donne lieu à des échanges entre experts jusqu'à l'obtention d'un accord total. Elle porte de plus non sur la connaissance directe des experts - celle qu'ils portent en eux -, mais sur un corpus de connaissances retravaillé par les cogniticiens. L'expression des connaissances a alors changé, le niveau d'abstraction s'est accru dans la modélisation et la reconstitution des liens logiques. Il a donc fallu pour permettre la validation du corpus proposé par les cogniticiens, créer un modèle linguistique de ce corpus, utilisant le langage naturel et le vocabulaire de référence des experts. Ceux-ci peuvent ainsi reconnaître les connaissances une fois modélisées - leurs propres connaissances donc. L'expertise contenue (et conservée) dans la base de connaissance du système n'est donc pas une simple traduction de la connaissance des experts vivants, mais une reformulation produite par les cogniticiens et validée par les experts. A chaque passage de l'expertise vivante à une mémoire externe, à chaque passage d'une mémoire externe à une autre mémoire externe, la connaissance est ainsi redéfinie, transformée et modifiée, sans que ces différents produits soient totalement équivalents ou substitutifs.

La nouvelle conduite du haut-fourneau

Une fois installé sur le haut-fourneau et devenu opérationnel, SACHEM collecte en temps réel un ensemble de données (températures, pression, débit, niveaux des matières...), en dresse un état, et détecte les anomalies par comparaison avec des données optimales de référence. Il peut vérifier que les informations collectées sont significatives. Il peut aussi les qualifier, et même activer des modèles mathématiques permettant de prévoir l'évolution des phénomènes. L'opérateur est ensuite alerté selon différents niveaux de gravité.

Figure 3 : Le fonctionnement de SACHEM



Avant SACHEM, l'opérateur devait analyser lui-même les informations à partir de la consultation de plusieurs écrans. Désormais, la conduite du haut-fourneau réclame toujours autant d'informations, mais le système fournit à l'opérateur une vision globale, synthétique et organisée de la situation. Le système permet donc d'accéder à une compréhension en temps réel de la marche du haut-fourneau. SACHEM interprète un signal dès qu'il apparaît, en permanence et de manière exhaustive et sa capacité de traitement de l'information le rend particulièrement fiable en matière de détection. L'opérateur peut ainsi compenser des dérives au moment même où elles se produisent. Sans l'assistance du système, l'opérateur n'aurait pas eu la possibilité de comprendre aussi vite le phénomène et son historique. Il n'aurait pas pu intervenir de manière aussi efficace, et n'aurait pu parfois que constater après coup, trop tardivement, l'existence d'un phénomène ou d'une dégradation de la marche.

Comme le souligne un des représentants des utilisateurs du système, les techniques de l'I.A. utilisées ici ont permis d'allier "le meilleur des capacités de l'homme avec le meilleur des fonctionnalités de la machine". Walter Rosenblith (cité par Dreyfus, 1972, p. 388) résume ainsi l'intérêt d'une telle collaboration : "Le couple homme et ordinateur est capable d'accomplir de grandes choses que ni l'un ni l'autre ne sont capables d'accomplir seuls". L'un des facteurs clefs du succès du projet SACHEM découle justement d'une volonté de modéliser certains raisonnements humains dans le cadre de problématiques bien délimitées sans tenter

de générer une intelligence artificielle de même valeur (ou équivalente) aux experts humains, et en même temps d'une volonté d'utiliser pleinement les potentialités de la machine.

Ainsi chaque minute, SACHEM enregistre environ 1000 valeurs réelles en provenance de l'instrumentation installée sur le haut-fourneau, et en produit 2500 de plus par application de modèles. A partir de là, les 500 variables nécessaires et suffisantes à la prise de décision de conduite sont calculées. Ce nombre élevé est proprement "inhumain", au sens où cette quantité d'informations et son traitement dépasse la capacité de calcul de n'importe quel être humain. Parallèlement, SACHEM stocke l'information sur les phénomènes, et établit de manière régulière des historiques et des comparaisons. Le système décharge alors les opérateurs d'un travail long et fastidieux, et réalise ce qu'aucun être humain ne réalisait avant et ne pourrait d'ailleurs réaliser aussi vite et aussi bien. Le système peut donc faire mieux que les experts dans certains domaines, sans cependant faire tout ce qu'ils sont capables de faire. Cette relation donne à SACHEM sa dimension organisationnelle dans une situation productive où, ni les opérateurs, ni le système ne peuvent se substituer totalement l'un à l'autre.

L'opérateur est guidé par SACHEM dans la découverte en temps réel des données sur le processus, de telle manière qu'au départ seules les données les plus essentielles pour le problème à traiter apparaissent, les autres données restant cependant disponibles. L'opérateur peut demander une justification des phénomènes détectés, ou l'établissement d'un historique, ou un résumé de la prise de poste, avec tous les événements enregistrés par l'équipe précédente. Et cette consultation fait apparaître toutes les informations nécessaires à la compréhension du problème. Comme le formule un des représentants des utilisateurs : "SACHEM prend l'opérateur par la main, il justifie de manière structurée comme le ferait le meilleur groupe d'experts hauts-fournistes. On amène aux opérateurs une connaissance structurée d'une manière nouvelle, on re-présente l'histoire d'une manière complète".

Le non-couplage du système au process ne décharge pas l'opérateur de la responsabilité de l'analyse des situations et des décisions. SACHEM se charge de la détection et l'opérateur doit réfléchir, comprendre, décider et agir à partir de ce que le système "mouline" pour lui. Si le système prescrit d'une certaine manière un chemin de découverte et de compréhension des phénomènes (et propose des recommandations d'action), l'opérateur peut suivre ou ne pas suivre ce chemin; et c'est bien à lui que revient le choix des actions à entreprendre. Il doit cependant justifier des écarts éventuels entre ce que le système annonce (et recommande) et ses propres décisions. Cette justification se matérialise dans le cahier de poste où l'opérateur

explique les actions entreprises et donne ses justifications. Ce document permet de faire le point tous les matins en réunion en analysant les sorties SACHEM et ce qui s'est passé la veille. La performance du système est ainsi évaluée quotidiennement; et cette procédure oblige les opérateurs à se positionner par rapport au référentiel que constitue SACHEM au nom de leur propre expertise.

L'implantation du système s'accompagne alors d'une redéfinition du travail et des connaissances des opérateurs, non seulement parce qu'ils doivent apprendre à utiliser SACHEM, à lui "parler", à "l'interroger" de manière efficace et à interpréter correctement les informations que celui-ci fournit, mais aussi parce qu'ils doivent maintenant expliciter et justifier leurs propres décisions. Avec SACHEM, il n'est désormais plus possible de faire semblant de ne pas voir un incident considéré comme mineur, car dorénavant cela laisse des traces. Le système peut alors favoriser l'évaluation des compétences, et contraint d'une certaine manière à être compétent, dans un rapport quotidien avec la base de connaissance de SACHEM, et donc indirectement avec un certain état du savoir-faire générique "conduite du haut-fourneau" implanté dans le système.

C'est sans doute l'aspect le plus important de cette expérience de capitalisation des connaissances. La vision unifiée de la conduite experte du haut-fourneau, construite dès la phase d'explicitation des connaissances, par une approche multi-sites et la recherche systématique du consensus entre les experts, est cristallisée dans la base de connaissance du système. Les opérateurs sont confrontés quotidiennement dans leur travail à ce système; et ainsi indirectement, à une définition unifiée du mode générique de conduite du haut-fourneau. La capitalisation conduit alors à une harmonisation et une unification des pratiques (et des discours sur les pratiques), ce qui rend plus facile l'établissement de la coordination entre les différents hauts-fourneaux et contribue à renforcer la continuité et la régularité du déroulement des opérations de production de fonte.

III. CAPITALISATION ET TRANSFORMATION DU MODE D'EVOLUTION DU SAVOIR-FAIRE

Expertise vivante et fonctionnement du système à base de connaissances

Au début de 1997, SACHEM devient opérationnel, étant installé sur les deux hauts-fourneaux, structurellement identiques, de Fos-sur-Mer. Leur marche devient alors plus régulière et plus sûre. Les incidents sont détectés bien plus vite et la correction est aussi plus rapide, ce qui diminue leur gravité et permet un meilleur contrôle des températures. Il s'ensuit

une amélioration de la qualité de la fonte, une diminution des temps d'arrêt pour les opérations de maintenance (équivalent à 2,5 jours de production de plus par an) et un allongement de la durée de vie des hauts-fourneaux (évalué à 1 an/14 années)¹¹. SACHEM sera ensuite installé à Dunkerque (sur le HF4 en 1997, sur le HF 2 en 1999) et en Lorraine (fin 98 - début 99). Le système a au total été installé sur six hauts-fourneaux différents les uns des autres (par la taille, la structure et l'instrumentation), ce qui témoigne en faveur de l'hypothèse de l'existence d'un mode générique de conduite du haut-fourneau.

La fiabilité de SACHEM est telle que dans 95 % des cas entrant dans la marche habituelle du haut-fourneau, les opérateurs peuvent suivre sans problème les recommandations d'action fournies par le système. Mais SACHEM ne peut traiter correctement de toutes les situations. Tout ce qui n'entre pas dans le cadre de la marche habituelle du haut-fourneau, telle qu'elle est définie dans sa base de connaissances, lui échappe; et il ne peut faire évoluer de lui-même cette base de connaissances. Pour cela, il faut toujours de l'expertise humaine, une expertise qui doit être produite et constamment entretenue par les opérateurs dans leur activité productive. Si la fréquence et la gravité des incidents ont diminué, ceux-ci n'ont pas totalement disparu. Sur 150 phénomènes détectés par jour (24 h) par le système, il n'y en a 70 qui déclenchent la procédure d'alerte, et 5 en moyenne qui sont classés au sommet de l'échelle de gravité. Ceux-ci sont systématiquement et collectivement analysés lors de la réunion journalière où on examine ce qui s'est passé la veille. La critique est donc plus que permise; elle est sollicitée organisationnellement. Par ailleurs, chaque année, une journée est consacrée à l'examen des sorties de SACHEM. Les écarts sont analysés par les opérateurs et les experts, ce qui permet de diagnostiquer certaines carences du système et d'enrichir sa base de connaissances. On améliore ainsi progressivement les trois environnements développés (conduite, étude et exploitation) en faisant évoluer les logiciels.

En déchargeant les opérateurs d'un travail de compilation fastidieux - un travail que plus aucun être humain ne fait dans la salle de contrôle - SACHEM leur permet de s'atteler à des tâches d'un plus haut niveau, construire en particulier leur propre expertise. L'utilisation de SACHEM s'affranchit du "comment"; ce qui veut dire qu'il faut entrer dans la compréhension du "pourquoi". Certains opérateurs ont dû alors suivre une formation au métier, pour

¹¹ Selon une évaluation faite à partir du cas Fos-sur-Mer, les économies financières sont de l'ordre de 9 à 12F, c'est-à-dire 1,5 à 2 euros par tonne de fonte produite (Le Goc et Thirion, 1999), pour une production de 11,5 millions de tonnes sous SACHEM (année 2000).

comprendre les notions "théoriques" sous-jacentes à l'action et aux choix à opérer. L'opérateur doit comprendre pourquoi il fait ce qu'il fait, et plus seulement comment il le fait. Il doit pouvoir fonder et justifier son action dans les termes du métier. SACHEM est alors une aide à l'apprentissage, qui transforme aussi la manière dont les hauts-fournistes acquièrent et font évoluer leurs connaissances. Cette exigence de l'explicitation, qui ne permet pas de se contenter de l'à peu près, est de plus en plus inscrite dans le métier. On doit maintenant (pouvoir) justifier - et donc pouvoir mettre à jour - ces propres raisonnements. Cette exigence est d'ailleurs dès l'origine au cœur du processus de capitalisation. De la production de la "Bible" (XpertDoc) à la fabrication de la base de connaissances du système, les multiples échanges entre experts (et cognitiens) et les différentes étapes de validation des connaissances ont toujours impliqué explicitation et justification.

La définition du savoir-faire (et de l'expertise) a donc changé et les opérateurs doivent souvent remettre en cause, et même éventuellement modifier leur propre façon de faire, d'analyser, de comprendre les phénomènes, et de choisir telle ou telle solution pour tel ou tel problème. Mais SACHEM ne peut réellement remplacer l'expertise vivante; et c'est une des raisons - majeure - qui explique le fait qu'il n'a jamais été prévu de coupler directement le système et le haut-fourneau, en cantonnant les opérateurs dans un simple rôle de surveillance. On a voulu éviter ainsi un risque de perte de compétence, par transformation des opérateurs en "opérateurs presse-bouton", ce qui aurait conduit à une déqualification certaine de ceux-ci. Ceci n'écarte pas totalement un autre risque, celui pour un opérateur de se reposer aveuglément sur SACHEM en considérant que ses recommandations, reposant sur des connaissances validées par les meilleurs experts du moment, sont obligatoirement fiables. Ce risque, les opérateurs en sont parfaitement conscients. "Il ne faudra pas prendre les choses à la lettre. Nous avons notre expérience comme garde-fou. Mais les jeunes prendront des risques s'ils l'écoutent à 100 %".

Le nouveau mode d'évolution du savoir-faire, entre invention collective et R&D

Le système a été conçu pour aider les opérateurs dans leur travail quotidien. Il produit des recommandations d'action; mais celles-ci ne sont ni des solutions toutes faites, ni de simples prescriptions. Le plus important est la justification affichée en cas de besoin par le système. SACHEM donne alors accès au cheminement logique qui, à partir des données initiales classées, compilées, qualifiées, etc., aboutit à la recommandation; un cheminement qui correspond en principe au raisonnement explicite que tiendrait un expert justifiant ses décisions. SACHEM représente alors un outil d'apprentissage qui double le mode traditionnel

et accroît la vitesse d'acquisition d'un certain nombre de connaissances nécessaires à l'exercice du savoir-faire. Le compagnonnage n'a pas disparu. Mais le nouvel état de la technique, dont SACHEM fait partie, ouvre un nouveau mode d'apprentissage.

Le temps nécessaire à la formation des conducteurs de haut-fourneau a pu ainsi être réduit. Trois ans suffisent désormais pour devenir opérationnel, et cinq (contre dix auparavant) pour former un bon conducteur de haut-fourneau (ceci sans qu'on puisse noter de variation notable du niveau de compétence). La diminution du temps de formation permet de rajeunir les effectifs, ce qui converge parfaitement avec la volonté affichée du groupe USINOR.

L'apprentissage rendu possible par SACHEM transforme au niveau de la firme et de l'industrie les modes de conservation, d'évolution, de circulation et de partage des connaissances. Avant l'arrivée de SACHEM dans les secteurs fonte d'USINOR, les connaissances nécessaires à la bonne conduite d'un haut-fourneau étaient presque uniquement conservées dans le savoir-faire des hauts-fournistes. La connaissance était ainsi inséparable d'un certain nombre d'êtres humains, liée à leurs corps-et-esprits; et ceci, même si l'expression du savoir-faire ne peut apparaître qu'en situation productive, dans le contexte du secteur fonte. SACHEM change un peu cette situation. Une mémorisation externe de la connaissance qui donne naissance au savoir-faire existe désormais; c'est la base de connaissances du système-expert, une mémoire consultable en permanence en situation productive. La communauté des hauts-fournistes reste cependant le lieu privilégié où se renouvelle la connaissance; et c'est à partir de ce renouvellement qu'on peut faire évoluer et mettre à jour la base de connaissances du système. Mais tous les opérateurs sont conduits à utiliser SACHEM, une situation renforcée par le fait que le groupe USINOR et ses trois usines à fonte (Dunkerque, Fos et Patural) emploient (en France) la grande majorité de la profession. Les hauts-fournistes redéfinissent alors leurs propres connaissances en fonction de SACHEM. Comme nous l'avons déjà noté, la circulation et le partage des connaissances dans la communauté en sont facilités.

L'invention collective qui caractérise jusqu'ici l'évolution du savoir-faire "conduite du haut-fourneau" n'est pas remise en cause. C'est toujours dans le cadre de la production et comme sous produit de l'activité des opérateurs que les nouvelles connaissances émergent éventuellement; et la circulation de ces connaissances se fait (nécessairement) sur le mode du libre échange, entre des hommes qui appartiennent au même métier et aux mêmes établissements. Mais le travail spécifique de capitalisation noué autour de SACHEM se situe

plutôt dans le cadre de la R&D. Il y a bien eu ici des investissements spécifiques, qui ont donné naissance à un produit particulier : SACHEM¹².

La connaissance est devenue du capital, au sens d'un actif qui rapporte ou peut rapporter des revenus à son propriétaire; un capital qui appartient au groupe USINOR, et fait désormais partie de son offre. Le processus de capitalisation des connaissances en produisant une série de mémoires externes a explicité et rassemblé ce qui était auparavant caché et dispersé. Mais dupliquer, à des fins d'appropriation dans le cadre d'une rivalité concurrentielle, XpertDoc ou le modèle linguistique de SACHEM ne servirait pas à grand chose, car ce qui est ainsi enregistré ne suffit pas à reconstituer l'ensemble du système et son fonctionnement. Paradoxalement, les nouvelles ressources cognitives de la firme semblent ainsi mieux protégées que dans la situation antérieure, une situation où il suffisait de débaucher les personnes de l'entreprise détentrice du savoir-faire; une chose toujours facile à faire.

CONCLUSION

On peut tirer quelques enseignements généraux de cette expérience particulière.

Tout d'abord sur la capitalisation. Ici, comme souvent dans l'univers organisationnel, capitaliser des connaissances n'est pas simplement les mémoriser dans une forme durable afin qu'elles ne disparaissent pas. Il s'agit d'une transformation bien plus complexe, car la connaissance est une des sources de la routine organisationnelle, et sa conservation ne peut être séparée de ses conditions d'existence et de mise en œuvre. C'est particulièrement le cas quand on veut capitaliser un savoir-faire qui n'existe que porté par un certain nombre d'êtres humains. L'écriture et les autres notations symboliques qui permettent la mémorisation des connaissances sont alors impuissantes à transcrire efficacement le savoir qui donne naissance à la performance. La capitalisation vise alors directement la formation de nouvelles capacités productives, assurant ainsi la conservation du savoir et de son expression effective dans une routine organisationnelle.

L'analyse détaillée de SACHEM, et particulièrement du travail d'explicitation et construction du système à base de connaissance, montre aussi la complexité du lien entre les connaissances conservées dans l'organisation et la performance. On est loin d'avoir un rapport

¹² Un brevet à portée internationale a été déposé pour "protéger" SACHEM; et la méthodologie particulière qui a été élaborée à partir de la méthode KADS, étant applicable à d'autres industries de process, a déjà généré ses propres recettes.

purement mécanique entre un certain "stock" conservé dans la firme ou acheté sur le marché (les connaissances étant conceptualisées comme des "biens" ou "commodity"), et la performance. La notion même de connaissance pose problème, elle appelle une description et une analyse fine de ses formes, comme de ses modes de conservation et expression. Dans cette expérience (SACHEM), il a fallu rassembler et expliciter un savoir qui auparavant était dispersé et en quelque sorte caché dans une communauté, celle des hauts-fournistes. Les connaissances ont été rationalisées, transformées et articulées de manière à produire une connaissance générique, détachée des contextes d'origine (sites ou experts particuliers). Toutes les connaissances ainsi dévoilées n'ont donc pas été retenues, le mode générique devant être utilisable dans n'importe quel secteur fonte et sur tout type de haut-fourneau. La transformation des connaissances au cours de ce travail (dit "de capitalisation") est l'œuvre des experts et des cogniticiens, et soumise à des contraintes organisationnelles précises; et ce processus n'est pas une simple extraction ou traduction (avec codification) du savoir existant; le savoir est constamment redéfini; de nouvelles connaissances sont alors produites.

Un dernier point semble important : le contexte social ou relationnel qui donne naissance ou permet la conservation et transmission des savoirs dans différentes industries. On note ici l'importance de l'invention collective, des échanges dans la communauté des hauts-fournistes, de l'apprentissage en situation et par compagnonnage. Soulignons aussi l'importance des discussions entre experts, de l'élaboration d'un vocabulaire commun de référence avec XpertDoc, jusqu'à l'obtention du consensus pour la définition de la base de connaissance de SACHEM. Toutes sortes de dispositifs sociaux interviennent alors dans la diffusion, la transformation et l'unification des connaissances. Le contexte relationnel contribue ainsi à définir les performances productives de l'organisation, à un moment donné comme dans la durée.

Bibliographie :

- Allen R. C. [1983], "Collective Invention", *Journal of Economic Behavior and Organization*, 4, p. 1-24.
- Balconi M [1999], "Codification of technological knowledge, firm boundaries, and « cognitive » barriers to entry", project DYNACOM, TSER Program.
- Brown J. S. et Duguid P. [1996], "Organizational learning and communities-of-practice", in Cohen M., et Sproull L. (eds), *Organizational learning*, Sage, London.
- Collins H. M. [1988], *Experts artificiels, machines intelligentes et savoir social*, trad.fr, Editions du Seuil, Paris, 1992.
- Corbion J. [1989], *Le savoir-fer, glossaire du haut fourneau*, Sérémange-Erzange.

- Cowan R., Foray D. [1997], "The economics of codification and the diffusion of knowledge", *Industrial and Corporate Change*, vol. 6, n° 3, p. 595-622.
- Divry C. et Lazaric N. [1998], "Mémoire organisationnelle et codification des connaissances", *Revue Internationale de Systémique*, vol. 12, p. 3-11.
- Dreyfus H. L. [1972], *Intelligence artificielle, mythes et limites*, Flammarion, Paris, 1989.
- Fleck J. [1988], "Expertise : Knowledge power and treadability", in Williams R. Faulkner et Fleck J. (éds), *Exploring expertise*, Macmillan Press Ltd, London, p. 143-172.
- Foray D. [1987], *Innovations technologiques et dynamique industrielle : l'exemple de la fonderie*, Presses Universitaires de France, Lyon.
- Foray D. [2000], *L'économie de la connaissance*, Editions la Découverte, Paris.
- Freeman C. et Foray D. (eds) [1992], *Technology and the wealth of nations*, Pinter.
- Fouet J.-M. (coord.) [1997], *Connaissances et savoir-faire en entreprise, intégration et capitalisation*, Editions Hermes, Paris.
- Fuchs G. [1995], *Dunkerque, l'odyssée d'un sidérurgiste*, Foyer Culturel de l'Houtland, Steenvoorde.
- Godelier E. [1994], "Le vieillissement et l'âge dans un cas particulier : l'exemple d'USINOR", *Revue Française des Affaires Sociales*, n° 1, janvier-mars.
- Hatchuel A. et Weil B. [1992], *L'expert et le système*, Economica, Paris.
- Lazaric N. et Mangolte P.-A. [1999], "Routines in theory and in practice : a criticism of the cognitive perspective", *Revista de Economia Contemporânea*, n°5, Janeiro-Junho, Rio de Janeiro.
- Le Goc M. et Thirion G.-C., "Using both numerical and symbolic models to create economic value : The SACHEM system example", *Proceedings of the 27th Mc Master Symposium on Iron and Steelmaking*, Hamilton, Ontario, Canada, May 25-27, 1999.
- Leibenstein H. [1987], *Inside the firm : the inefficiencies of hierarchy*, Cambridge, Harvard University Press.
- Mangolte P.-A. [1997], "La dynamique des connaissances tacites et articulées : une approche socio-cognitive", *Economie Appliquée*, Tome L, n° 2, p. 105-134.
- Mangolte P.-A. [1998], *Le concept de routine organisationnelle, entre cognition et institution*, thèse, Université Paris XIII.
- Massué M.-L. [1998], *L'implantation d'un système à base de connaissances dans la firme. Quelles contributions à l'apprentissage organisationnel ? Le cas SACHEM*, mémoire de DEA, Université Technologique de Compiègne.
- Nelson R. R. [1994], "Firm, Theory of the (II)", in *The Elgar Companion to Institutional and Evolutionary Economics*, p. 241-246.
- Nelson R. R. [1993], "Technological change as cultural evolution", in Thomson R., *Learning and technological change*, The Macmillan Press, London.
- Nelson R. R. et Winter S. G. [1982], *An evolutionary theory of economic change*, Harvard University Press.
- Platon J. C. [1953], *Conduite du haut-fourneau, principes et règles*, Librairie Polytechnique C. Béranger, Paris, Liège.
- Shabolt N. [1998], "Building models of expertise", in Faulkner W. R. et Fleck J. (éds), *Exploring expertise*, Macmillan Press Ltd, London, p. 101-120.
- Steiler J. M. et Schneider M. [1994], "L'élaboration de la fonte", in *Le livre de l'acier*, Technique & Documentation – Lavoisier, Paris, p. 1187-1229.
- Thierry P. [1940], *La pratique du haut-fourneau*, Librairie Polytechnique C. Béranger, Paris, Liège.
- Verry M. [1955], *Les laminoirs ardennais, déclin d'une aristocratie professionnelle*, PUF, Paris.
- Winter S. [1987], « Knowledge and competence as strategic assets », in D. J. Teece (ed.), *The competitive challenge : strategies for industrial innovation and renewal*, Ballinger, Cambridge, p. 159-183.