

Chapitre quatrième – Innover

Avertissement – La pagination d'origine a été maintenue.

Dans sa marche quotidienne, l'entreprise ne saurait exister sans ajustement constant de sa manière de produire et si possible de vendre. L'abondant courrier échangé entre la direction parisienne de la Compagnie des Mines de Basse-Bretagne et les officiers chargés du travail sur le terrain en témoigne : pour mener à bien sa tâche, le chef d'entreprise doit continuellement renouveler, compléter, penser, repenser le procès de production. C'est là une règle générale. L'entrepreneur, par définition, est innovant.

Mais qu'est-ce qu'innover ? L'éventail est vaste depuis la simple amélioration de détail, venue faciliter le procès de production, jusqu'à son renouvellement radical. Le fait innovant est multiple dans ses formes. Pour tenir compte de cette multiplicité, il est habituel de distinguer innovation de produit et innovation de procédé. Pratique, en raison de son caractère classificateur, cette distinction constituait un excellent point de départ pour l'analyse de l'innovation au sein du système classique. Rapidement toutefois, elle s'est révélée insuffisante. Il n'y avait pas complète adéquation avec les faits rencontrés dans cette ère pré-industrielle.

Qu'est-ce alors que l'innovation au dix-huitième siècle ? L'histoire de l'entreprise, celle du Huelgoat-Poullaouen, nous amena à différencier deux manières d'innover. L'innovation que nous avons appelée « courante » (on peut aussi parler de « micro-innovation¹ »), décrit ces améliorations quotidiennes, discrètes, destinées à conforter un procès de production en le modifiant constamment dans ses détails. L'innovation que nous avons appelée « innovante » (on peut également la qualifier de « macro-innovation ») renvoie à cette forme la plus couramment définie, qui renouvelle globalement le procès de production.

Ceci établi, nous avons suivi Gabriel Jars, ce grand innovateur, dans son exploration des principaux lieux de production minéro-métallurgiques en Europe, relevant avec lui le

¹ - *En élargissant le concept de « macro- et micro-souplesse et/ ou fixité », développé par François Caron dans Le résistant déclin..., passim.*

détail des nouvelles techniques rencontrées, cherchant à les classer, analysant le regard qu'il portait sur chacun des sites visités. Ce voyage européen eut pour première conséquence d'élargir les notions d'entreprise et d'entrepreneur. Dans le cas du Harz, mais aussi à Schemnitz et en Saxe, elles n'ont pas un caractère individuel, mais collectif ; elles concernent pas tant la personne, fût-elle princière, que le complexe de production, pris dans son intégralité. Ce fut l'occasion pour nous de distinguer entre « complexes » et « filières techniques », le complexe se rapportant à l'unité de production, la filière s'attachant à la description des divers processus techniques.

Il apparut que les complexes techniques n'évoluaient pas de la même manière. Tous innovaient, mais diversement en fonction de leur être technico-économique. Les *Voyages métallurgiques* décrivent d'abord l'Angleterre, ce haut-lieu de l'innovation innovante ; puis l'Allemagne, ce haut-lieu de l'innovation courante. Le système technique européen se fracturait sous les yeux de l'ingénieur. A sa manière, il en prenait note. Mais il est d'autres distinctions que font découvrir les *Voyages*, non moins remarquables quoique plus discrètes. Dans le domaine technico-économique allemand, Harz, Saxe et Hongrie s'individualisent. Dans le Harz, l'innovation redonde, prend la forme de clonages techniques. Le complexe technique se maintient, il prospère éventuellement, mais dans un cadre structurel bloqué. Au contraire, Saxe et Hongrie déclinent l'innovation sur un mode plus ouvert, utilisent et conjuguent micro- et macro-innovations tout en restant dans le cadre du processus technique initial. Cette manière d'innover ne bouleverse pas le système technique mais elle peut conduire à son complet renouvellement par les perspectives techniques qu'elle ouvre. Nous l'avons appelée « innovation créante ».

Cette typologie renvoie au problème de la réceptivité du milieu d'accueil, qu'il fût système, domaine technico-économique, complexe ou simple entreprise. Contrairement à l'idée couramment admise, l'innovation n'est pas destructrice. Plus exactement, ce caractère destructeur est secondaire. Il vient après une première phase -indispensable- qui est une phase d'acceptation. S'il n'y a pas homogénéité entre la technique innovante et la structure d'accueil, l'innovation est rejetée. Ainsi en fut-il pour la machine à feu, essayée ici et là dans les mines métalliques continentales, parfois adoptée, souvent rejetée. En raison de la conjonction d'un état relativement archaïque des techniques, d'une pensée scientifique remarquablement avancée, d'un manque en combustible bon marché, le domaine technico-économique anglais se renouvela totalement en moins d'un siècle. Le

continent fut diversement réceptif à cette révolution. Qu'avait besoin d'innovations innovantes, le domaine technico-économique allemand ? Il bénéficiait, pour la métallurgie du moins- d'un ensemble de filières techniques particulièrement éprouvées, en aucune manière menacées par un quelconque déséquilibre naturel ou économique. Quant au domaine technico-économique français, il se plaçait en situation intermédiaire.

I - L'INNOVATION DANS LES COMPLEXES TECHNIQUES EUROPEENS.

Au dix-huitième siècle, l'Europe de l'innovation technique n'est donc pas celle du plein et du vide, d'un plein qui serait britannique confronté au vide qui serait celui du continent. La différence est ailleurs dans les formes que prend l'innovation. Gabriel. Jars parcourt ces mondes techniques, les compare et porte à leur propos un jugement qu'il convient d'étudier.

A/ LES FORMES DE L'INNOVATION.

A la demande du gouvernement « car on ne le laissait pas longtemps oisif »¹, Jars voyagea dans une grande partie de l'Europe Centrale et de la Grande-Bretagne². Entre 1757 et 1760 accompagné de Duhamel, il visita successivement les mines et fonderies de Saxe, Autriche, Bohême, Hongrie, Tyrol, Carinthie et Styrie. La fin de la guerre de Sept Ans ouvrit les portes du Nord de l'Europe. Il passa une année complète en Angleterre, en 1765. A peine revenu en France, « il fut envoyé pour visiter la plus grande partie des mines du Nord »³, un voyage d'étude qu'il réalisa en compagnie de son frère, « bien muni de recommandations et sachant que leur arrivée était annoncée aux ministres du Roi partout où ils devaient aller. Ils visitèrent d'abord la Hollande et ses manufactures, puis le Hanovre, séjournèrent quatre mois dans les montagnes du Harz; parcoururent une partie de la Saxe et du Comté de Mansfeld d'où ils passèrent à Hambourg, de là à Copenhague, puis aux mines d'argent de Kongsberg en Norvège et en Suède... »

Dix années séparent les trois voyages. C'est plus qu'il n'en faut pour juger de l'extension chronologique, du déploiement dans le temps et dans l'espace de l'innovation. Doit-on considérer les années 1760 comme étant des années-charnières ? La réponse est incertaine. En Europe centrale et en Scandinavie, les machines de Newcomen sont

¹ - « *Eloge de Monsieur Jars* », *Voyages métallurgiques 1774/1784, préface.*

² - *Cartes n° 9-12.*

³ - *Ibid.*

signalées après 1760, cinq à Schemnitz en territoire hongrois, une en Suède, à la mine de fer de Persberg¹. Les fours à réverbère -autre technique innovante même s'il ne s'agit pas de « cupôls »- apparaissent plus précocement, entre 1757 et 1759, à Freiberg en Saxe, à Schemnitz, en Hongrie, à Joachimsthal en Bohême. Mais la lecture strictement chronologique -disons diachronique- est-elle la bonne ? A observer ce que décrit Jars et la manière dont il le décrit, une autre perspective se dessine qui passe par la notion de pôles,, de complexes diversement innovants.

1°) UN COMPLEXE BLOQUANT : LA MINERO-METALLURGIE DU HARZ.

Jars visita les mines du Harz en 1767, après son voyage en Angleterre. Cette date tardive est déjà en soi indicative : l'essentiel de la moisson innovante était faite, et elle n'était pas passée par Goslar et Leipzig. La description qu'il en donne est minutieuse cependant. Elle met en évidence un complexe de production bien vivant, foisonnant même, mais dans un cadre technico-économique fortement contraint. Les mines du Harz étaient exploitées selon le vieux modèle seigneurial.

a) Un cadre technico-économique fortement contraint.

Le complexe minier du Harz s'insère pleinement dans la filière minéro-métallurgique allemande. La caractéristique productive de cette filière continentale est d'avoir pour fondement essentiel la production d'argent et non la production de plomb. Les mines du Harz produisent 20 tonnes de cuivre, 1.500 tonnes de plomb (dont 500 tonnes de litharge) tandis que les gîtes d'Alston Moor et de Lead-Hill produisent chacun 2.300 tonnes de plomb². La différence entre les valeurs interdit toute confrontation en termes de concurrence. Non pas que la filière allemande ne fût point une filière d'exportation. Les produits du Harz, s'écoulent en 1804 selon un trajet établi de longue date : « le plomb, la litharge, la céruse et le soufre sont principalement acquis par les marchands de Leipzig et de Hambourg »³ ; il en va de même pour le plomb, le cuivre et la litharge produits par

¹ - Ce qui ne préjuge pas de la date d'implantation de la technique.

² - Chiffres fournis par Gabriel Jars. Cf. vol. 3, pp. 72-74 et carte n° 11.

³ - On trouve là l'origine de ce plomb dit « de Hambourg », que recevaient les ports français en complément de la production anglaise. Le vitriol blanc produit par les divers districts miniers du Harz, partait « presque entièrement » pour les Indes orientales, où il servait pour la teinture « De tous les produits métallurgiques fournis par le Harz, ajoute Héron de Villefosse, qui fut responsable de la gestion financière du district minier lors de son occupation par les troupes françaises à partir de juillet 1803, seul le fer est consommé dans le pays ». (« Extrait de rapport fait au Conseil des Mines, le 9 pluviôse an XI, sur la partie financière des Mines du Harz...par M. HERON de VILLEFOSSE, Ingénieur des mines et Commissaire du Gouvernement, par les mines et usines du Harz », Journal des Mines, an XII, pp.395-405 et 437-448.)

Freiberg. Mais la production de métal précieux domine : l'or tout d'abord, présent en petites quantités, un peu moins de deux kilos pour l'ensemble des mines du Harz entre juillet 1803 et mai 1804 ; l'argent surtout, dont l'Europe continentale est le grand producteur avec, sur les quelques 45 à 50 tonnes produites au milieu du dix-huitième siècle par l'ensemble de l'Europe, cinq à dix tonnes fournies par l'ensemble scandinave, près de dix tonnes produites par les mines du Harz, six à sept tonnes produites par Freiberg, quatre tonnes à Joachimsthal¹. L'écoulement de cette production de métal précieux relève du fait du prince. Au Harz, tout l'or et tout l'argent produit par la partie hanovrienne étaient expédiés à la monnaie de Clausthal ; la production de Freiberg prend le chemin de la monnaie de Dresde. Et les mines de Schemnitz appartenaient à « la reine de Hongrie ». La filière allemande de production des non-ferreux est une filière princière.

Il en découle un mode technico-économique remarquablement contraint. Le même schéma d'organisation se retrouve dans toute l'Allemagne. « Les Allemands, écrit Jars, distinguent entre trois types de mines : « zubusse », c'est-à-dire les mines en perte ou en début d'exploitation; « verlag », c'est-à-dire les mines dont les avances sont encore à rembourser; « ausbeute », c'est-à-dire, les mines en bénéfices »². En Saxe, dans l'étendue du district de Halsbrückner, sur 193 mines en exploitation, sept donnent « ausbeute », c'est-à-dire un profit réel aux Compagnies, quatre sont en « verlag », c'est-à-dire que leur bénéficiaire rembourse les avances, dix-neuf se bâtissent d'elle-même, c'est-à-dire que leur produit paye leurs dépenses. Les cent cinquante mines restantes sont dans le cas de « zubusse » c'est-à-dire travaillées à perte. Dans son trajet, Jars s'arrête sur la mine du prophète Jonas, située « à 1.575 toises » du centre de Freiberg : « cette mine est la seule de ce district qui depuis le commencement de son exploitation, est dans le cas de ce que les allemands nomment zubusse, c'est-à-dire que le produit n'est pas à beaucoup près suffisant pour en payer les frais et que les actionnaires sont obligés de faire chaque quartier de nouvelles avances pour la continuation des travaux ». Dans le district minier du Harz, en 1803, sur les trente-huit mines du district de Clausthal, six étaient en gain, cinq se suffisaient à elles-mêmes, vingt-sept étaient en perte³.

¹ - Jars ne donne pas de chiffres pour les exploitations d'Eisleben en Saxe et de Schemnitz en Hongrie. Compte tenu des indications techniques, nous avons évalué la production de Schemnitz à environ six tonnes d'argent.

² - G.JARS, op. cit., t.II, onzième mémoire, « Mines d'argent, cuivre et plomb de Freiberg en Saxe », par JARS et Duhamel, 1767/1780, section IV et V.

³ - HERON de VILLEFOSSE, op. cit., p. 443..

Ce mode de financement puise son origine dans une histoire commune. Tous furent exploités au Moyen-Age par des corporations et des villes minières libres¹. Au Harz, « la franchise des mines, a été accordée en 1554; chaque compagnie bénéficie, à sa formation, d'un avance princière, qu'elle rembourse ensuite si elle le peut». En échange, sur les 130 actions dont se compose obligatoirement chaque société, six actions de jouissance participent aux gains sans être solidaires des pertes; ce sont les actions seigneuriales, attribuées d'office et par ordre de priorité au souverain (quatre), à l'Eglise (une), à la ville enfin (une), ce qui fait dire à Jars que l'« on compte 130 actions dans une mine en gain, 124 dans un mine en perte »²

Cette franchise ne vaut que pour l'exploitation minière : « il n'est permis à aucune Compagnie de faire fondre son minerai dans d'autres fonderies que celle du prince »³ Quant aux produits obtenus, métaux, soufre ou vitriol, « les administrateurs des mines » (c'est le terme employé) sont obligés de les livrer à la « Chambre commerciale des Mines (« Berghandlung »)⁴ qui les paye, d'après un ancien tarif, à un prix fort inférieur à celui du commerce » pour les revendre ensuite « de la manière qu'elle juge le plus profitable ». L'ensemble est géré par « une espèce de banque de commerce établie à Hanovre, et qui rend compte des profits à la Chambre, à l'exception de l'argent qui est monnayé au profit du prince »⁵.

« Toutes les années, le Conseil des Mines¹ règle ce que chaque mine doit distribuer aux actionnaires, ou bien ce qu'elle doit en recevoir à titre d'avance (zubusse) ». De cette manière, il y a chaque année soit répartition des profits si la mine est en gain, soit renflouement si elle est en perte. Par les hasards de l'occupation française en 1803, nous savons « que les mines en gain du district de Clausthal, ont rapporté par trimestre et par actions, la mine Dorothea 271 fr. 54, la mine Caroline 78 fr. 74, la mine Samson 35 fr. 42, et les mines Garbe-Gottes, Neue Benedicta, Neufang entre 5 fr. 90 et 17 fr. 71 ». Le financement des mines en perte est strictement contrôlé : « on ne peut exiger plus de 36 fr. par trimestre par action, maximum fixé, et moins de 0 fr. 57 » En 1803, les actionnaires des

¹ - T.A. RICKARD, *L'homme et les métaux*, pp. 219-248 ; *Silver in the History of Science, Technology and Art (summaries)*, Symposium, *Pzibram*, 1971.

² - HERON de VILLEFOSSE, *op. cit.*, pp.443-445.

³ - G.JARS, *ibid.*

⁴ - HERON de VILLEFOSSE, *op. cit.*, p. 396.

⁵ - JARS, *ibid.*

mines en perte versaient par trimestre, à titre d'avance, 0 fr. 57 pour l'une, 2 fr. 28, 4 fr. 54, 6 fr. 80 pour les autres²...

L'exploitation minière est intégrée dans un système économique qui la dépasse. Les Compagnies exploitantes n'étaient maîtresses d'aucune de leurs décisions. Le choix des mineurs n'était pas de leur fait, encore moins celui des officiers. Ces derniers étaient payés au moyen d'une caisse constituée à cet effet, ce qui laisse supposer dans le déroulement des travaux, une surveillance, une mise en conformité étrangère aux exploitants. De même, aucune Compagnie n'avait la maîtrise de ses approvisionnements : « la banque a...la vente de toutes les matières et marchandises nécessaires à l'exploitation des mines et personne ne peut les acheter ailleurs que dans le magasin qu'elle a à cet usage à Clausthal »³. L'usage des infrastructures est imposé : « tous les bocards ont été construits et son entretenus aux frais du prince... tous les minerais destinés pour les bocards y sont amenés aux frais des compagnies, mais à un prix fixé par le Conseil des Mines, lequel est réglé suivant l'éloignement ». Il en va de même de l'hydraulique : « Etangs, canaux ou fossés...sont construits aux frais du prince et...entretenus à ses frais ». Seuls « les conduits pour amener aux machines se font aux dépens des Compagnies »⁴. Restent les bois : ils sont fournis gratuitement par le prince⁵.

Le circuit financier se présente comme un cercle au sein duquel la mine, paradoxalement, occupe une position tout à fait excentrée¹. Les actions souscrites par les « administrateurs » prennent moins l'allure d'un véritable investissement industriel que d'un placement dont le rapport varie selon la situation de la mine et la richesse du filon. On peut, pour s'en convaincre, reprendre le trajet du financement. Après la décision d'ouverture, l'argent est déposé chez le receveur dans une caisse spéciale. Le receveur embauche les mineurs, fait venir les officiers et fournit les produits nécessaires à l'exploitation, qu'il achète à la Chambre commerciale au prix fixé par le Conseil des Mines. Le minerai extrait est travaillé dans les ateliers princiers. Les produits obtenus sont vendus par la Chambre commerciale. Vient alors le temps des comptes et des bilans, celui

¹ - Dont Jars dit peu de choses.

² - HERON de VILLEFOSSE, op. cit., p.443.

³ - G.JARS, op. cit., dixième mémoire « Administration et économie des mines du Harz » 1767/1780..

⁴ - G.JARS, op. cit., t.II, huitième mémoire, « Sur les mines d'or, d'argent, cuivre et plomb du Harz dans l'Electorat d'Hanovre et le Duché de Brunswick », 1767/1780.

⁵ - G.JARS, ibid.

donc de la répartition : « la somme provenant de la différence -entre prix d'achat aux Compagnies et prix de vente aux négociants de Leipzig ne doit pas être regardée comme un bénéfice net ; sur cette somme, la Chambre doit 1°) combler le déficit des mines qui exploitent avec perte; 2°) faire certaines avances aux mines qui en ont besoin; 3°) fournir à un prix inférieur à celui du commerce, la poudre, le suif...; 4°) payer les transports, frais de bureaux et tous ceux qu'entraîne un commerce quelconque ». La Chambre commerciale fait office de trésorerie générale, en fournissant régulièrement les avances nécessaires au fonctionnement de chacune des mines ; « il faut payer exactement tous les samedis soirs, les mineurs » ; de plus, « les travaux d'exploitation exigent quelquefois et sur le champ des avances considérables », ce qui était d'ailleurs le cas en 1803/1804 : « l'hiver s'étant prolongé cette année au Harz jusqu'au mois de mai, les travaux coûteux de cette saison ont exigé des dépenses et des secours considérables; il a fallu faire un achat considérable pour le magasin de grains (destiné aux mineurs) ; et cette dépense extraordinaire mais nécessaire, n'aurait pu être faite si on n'eût en caisse une somme disponible ».

L'accumulation des termes se rapportant aux dépenses témoigne du contexte particulier dans lequel Héron de Villefosse écrit. Il est dans l'obligation de justifier le faible rapport financier de l'entreprise, le bruit courant de « bénéfices extraordinaires » réalisés par le prince avec ses mines. Non sans fondement. Jars, à la fin des années 1760, relevait avec insistance les avantages des souverains, le duc de Brunswick et l'Électeur de Hanovre. A chaque étape du processus de production, ils jouissaient de privilèges comptables évidents. Uniques bénéficiaires du monnayage et du dixième seigneurial qu'ils recevaient de chaque mine exploitée quel qu'en fût le résultat², ils recevaient des dividendes en qualité d'administrateurs et percevaient sur l'utilisation des bocards un droit « proportionné à la nature et à la qualité des minerais »³. L'Électeur de Hanovre ajoutait à ces revenus, « le profit sur le charbon qu'il fait faire et voiturier à ses frais aux fonderies »⁴ et surtout ces « très gros bénéfices sur l'achat des matières des produits des mines » réalisés par

¹ - Cf. schéma in vol. 3, p.76.

² - Le bilan financier de chaque compagnie était effectué après le prélèvement seigneurial. Seules les exploitations de moins de cinq ans d'âge en étaient exemptées.

³ - G.JARS, *op. cit.*, t.II, neuvième mémoire, « Sur les bocards et laveries du Haut-Harz, la livraison des minerais aux fonderies, leur grillage, leur fonte, l'affinage du plomb & des mattes, la revivification de la litarge & le raffinage de l'argent », MM.JARS, 1767/1780, M9, section I.

⁴ - G.JARS, *ibid.*

l'intermédiaire de la banque de commerce établie à Hanovre qui prenait en charge achat et vente des produits¹.

En réponse à ses détracteurs, Héron de Villefosse souligne la confusion faite entre marge brute d'exploitation, entre bénéfices et profits et indique comment se fait la répartition. Sur le bénéfice dégagé², explique-t-il, l'on commence à donner aux mines de quoi exister. Cette première redistribution s'effectue à un niveau global; elle est calculée et organisée par la Chambre commerciale dont les dépenses, en année moyenne, sont consacrées pour 55% au paiement des marchandises reçues des Compagnies (il s'agit pour l'essentiel de minerai); pour moins de 10% aux dépenses courantes (achat de poudre, de suif, etc.) ainsi qu'aux frais généraux; quant au 30% restant, ils représentent précisément l'enveloppe globale de redistribution, « les indemnités et sommes accordées aux mines »³.

Ces sommes « accordées aux mines », et donc redistribuées représentaient le financement non seulement des exploitations elles-mêmes mais également de tout ce qui les environnaient. Jars l'indiquait déjà : « pour le progrès et le soutien de l'exploitation minière, il existe plusieurs caisses : la Bergaûcassa ou caisse à bâtir des mines, la caisse à payer les officiers, la caisse des pauvres mineurs et la caisse pour les besoins de la ville ». Élément le plus original de cette redistribution, la « Bergbaûcassa » aidait au bon financement des mines dans leurs débuts et dans leurs difficultés. Outil puissant de régulation économique et sociale, elle permettait à la communauté minière de ne pas se déliter. Il en allait de même de la caisse « à soutenir les pauvres mineurs » et de la « caisse à payer les officiers » qui garantissait le continu et le sérieux l'encadrement quelque fût la santé économique de l'exploitation. La « caisse à soutenir les villes » enfin, permettait l'entretien et le développement de ce qui constituait l'enveloppe matérielle de la communauté. Ainsi, l'exploitation minière était l'élément nourricier et structurant de l'économie régionale.

Soulignons le rôle du Conseil des Mines. Dans cet ensemble rigoureusement organisé et structuré, il apparaît comme l'outil de « cogestion », de rencontre et d'accord entre les partenaires, placé en dehors du circuit commercial, et à ce titre, garant par sa neutralité des prises de décision. C'est, par exemple, le Conseil -et non le prince- qui règle

¹ - G.JARS note que ces bénéfices, « surpassent de beaucoup le dixième ». (dixième mémoire).

² - Nous avons rassemblé les chiffres en deux tableaux, vol. 3, p.75.

³ - HERON de VILLEFOSSE, op. cit., pp. 400-404.

le prix d'arrivée des minerais aux bocards, « prix réglé suivant l'éloignement »¹. C'est lui qui, chaque année, « règle ce que chaque mine doit distribuer aux actionnaires, ou bien ce qu'elle doit en recevoir à titre d'avances. » C'est lui, enfin, qui intervient et tranche dans la mise en place technique de l'installation.

Une telle répartition sociale des bénéfices, une telle régulation communautaire sous l'autorité du prince renvoie au problème d'une pré-structuration du développement industriel. Conformément au mental pré-industriel -est-ce là la compréhension de l'économie « naturelle » ?- tout est fait pour éviter une mise en concurrence commerciale et/ou financière des Compagnies. Il n'est jusqu'aux prix faits, « fixés pour cinq semaines par les maîtres-mineurs » (« et non pas par les mineurs comme à Schemnitz », ajoute Jars)². La seule différence est celle induite par le site : il y a inégalité des chances³ avec réduction des risques et égalité de l'encadrement techno-économique. Quant à la distribution de dividendes, si elle existe, c'est dans un cadre juridiquement et rigoureusement fixé, celui qui donne à la mine le droit d'être considérée comme bénéficiaire. Le jugement est porté par le receveur : « la mine n'est bénéficiaire que lorsqu'elle a chez le receveur du dixième un fonds de son produit proportionnel à l'étendue des travaux et à la difficulté d'exploitation ». Il en résulte un tissu productif et social à la fois stable et solide, chacun des partenaires étant impliqué à son niveau dans le bon fonctionnement de l'entreprise : le mineur, comme le prince, ont le même intérêt direct et vital à ce que la mine fonctionne; l'actionnaire dans un tel système a tout à gagner et s'il peut perdre, il sait, du moins, que cela ne sera pas au-delà de la péréquation fixée annuellement.

Le second point de l'argumentation développée par Héron de Villefosse concerne les bénéfices. Les mines du Harz n'étaient pas en parfaite santé. Dès les années 1760, Jars en faisait la remarque : « toutes ces mines paraissent en difficulté : d'environ cinquante mines qui sont encore en exploitation dans la communion du Haut-Harz, on n'en compte que deux qui soient en bénéfice ou « ausbeute » et une troisième qui paye ses frais »⁴. A la fin du

¹ - G.JARS, neuvième mémoire, section I.

² - G.JARS, huitième mémoire.

³ - L'inégalité était réduite lorsque les Compagnies travaillaient sur le même filon et dans le prolongement l'une de l'autre. Cette réalité d'exploitation s'est traduite dans le vocabulaire minier par le terme « Zug », qui signifie « ce train ou continuité de mines attenantes les unes des autres dans lesquelles on exploite le même filon. » (G.JARS, huitième mémoire.)

⁴ - G.JARS, op. cit., huitième mémoire.

siècle, l'évolution s'est accentuée dans le sens de la dépression. Certes, au niveau régional, le nombre de mines en fonctionnement a augmenté. Elles sont désormais 79 dans le Haut-Harz dont 38 pour le seul district de Clausthal et 41 pour le district de Zellerfeld. Mais dans le district de Clausthal donné en exemple, six seulement sur les 38 mines exploitées sont en gain, cinq autres se suffisent à elle-même et les 27 restantes sont en perte. De toutes ces exploitations, seule Rammelsberg donnait encore « des bénéfices considérables »¹.

La comparaison des chiffres de production fournis par les deux ingénieurs confirment cette évolution. De 1765 à 1804, non seulement les tonnages ont baissé, mais encore la production de métal précieux s'est effondrée. Que produisait le Harz dans les années 1760 ? Environ quinze tonnes d'argent, fournies pour moitié par Rammelsberg, pour moitié par le Haut-Harz; en 1803/1804, cette production était tombée à dix tonnes, ce qui représente un recul de près de 30%. D'où vient la baisse ? Du Haut-Harz qui ne fournit plus désormais que deux tonnes par an. A l'inverse, la production de plomb s'est considérablement accrue. Avec près de 4.000 tonnes annuelles², elle a rejoint le niveau de production des mines anglaises. Mais le plomb ne valant pas l'argent, l'équilibre financier de ce nouveau profil productif semble avoir été beaucoup plus difficile à réaliser, et ce malgré le mouvement ascendant que connaissent les prix du métal entre 1801 et 1809.

Le coût de fonctionnement de l'entreprise s'en trouvait inévitablement accru. Dès 1789, l'excès de difficultés contraignait les co-souverains à reviser un partage devenu inadéquat. Le duc de Brunswick se dessaisissait par traité des droits devenus trop coûteux qu'il possédait sur les villes et mines de Zellerfeld, Lauthental et Wildenman dans le Haut-Harz¹, et ne gardait de souveraineté que sa participation de 3/7^eme sur l'exploitation autonome de Rammelsberg. L'Electeur du Hanovre au contraire, prenait en charge l'intégralité de l'exploitation du Haut-Harz tout en conservant son droit de 4/7^eme dans sa souveraineté sur Rammelsberg. En fait, explique Héron de Villefosse, Rammelsberg fait vivre l'ensemble et l'Electeur de Hanovre « en sacrifie le produit au soutien des exploitations du Haut-Harz, car il n'a qu'une caisse pour tout ses mines du Harz... » Le nouvel arrangement permettait donc de conjuguer le rééquilibrage des gains seigneuriaux

¹ - HERON de VILLEFOSSE, op.cit., p. 443.

² - *La partie hanovrienne aurait produit, en six mois, (entre juillet 1803 et janvier 1804) .1267 tonnes de plomb (127.604 myriagrammes) et 4 tonnes (418 myr.) d'argent.* HERON de VILLEFOSSE, op. cit., p. 406.

et la survie de la communauté du Haut-Harz. Pour preuve, l'ingénieur fait les comptes, réalise une batterie de calculs qu'il qualifie lui-même de « longs et fastidieux ». Nous l'y suivrons d'autant moins que ces comptes sont incomplets; que, d'un poste à l'autre, ils ne concernent pas exactement la même période; qu'enfin ils sont quelque peu partisans : l'on voit ainsi l'ingénieur utiliser discrètement par deux fois la même somme pour établir le bilan financier lors de la période couverte par l'occupation française. Nous retiendrons de ces données la manière dont l'ingénieur établit le montant des distributions en avances ou en perte à l'échelle des districts. « L'année 1803, les mines du Harz rapportaient aux actionnaires une peu plus de 275.000 fr.². A supposer une répartition équitable, cela fait pour 79 mines à 130 actions : 10.270 actions, soit à peu près 27 fr. potentiels distribuables par action... » De ce total, il ôte la valeur fournie par Rammelsberg, quelques 245.000 fr., directement échus aux souverains³. Enfin, il calcule la somme restante pour le Haut-Harz, environ 30.000 fr. à partager entre 10.270 actions. En oubliant la valeur infime représentée par ces 480 actions qui appartiennent pour au prince, à l'Eglise, aux villes (1384 fr.)⁴, cela aurait représenté moins de trois fr. par action... L'inégalité de la répartition permettait d'envisager⁵ un gain potentiel plus élevé, à l'image de ce que rapportait au même moment les actions de la mine Dorothee, la plus lucrative et la mieux installée du Haut-Harz, à savoir 1.086 frs annuels par actions⁶ ! Ainsi donc, conclut l'ingénieur, l'exploitation du district de Zellerfeld n'aurait pu continuer à exister sans la prise en charge princière.

b) Un complexe technique seigneurial.

Définissons ce type d'économie minière comme l'expression parachevée d'un mode de production authentiquement seigneurial. On y reconnaît la distinction entre le faire-valoir direct de la propriété immédiate (Rammelsberg) et l'exploitation indirecte dans le cadre de la propriété éminente (Haut-Harz). La franchise qui fut accordée au seizième siècle se traduit par l'autorisation d'ouverture et d'exploitation en contrepartie de multiples

¹ - HERON de VILLEFOSSE, op. cit., p.476.

² - « Les mines du Harz rapportent donc aux actionnaires dans l'année : pour le Haut-Harz : 30.076 fr., pour le Bas-Harz (environ) : 245.198 fr. » (HERON de VILLEFOSSE, op. cit., p.445).

³ - Résultats financiers établis sur 10 mois (cf. tableau. Il se dégageait pour 245.000 fr. de bénéfices annuels, ce que l'ingénieur qualifie de « considérable ». 105.000 fr. revenaient à Brunswick ; 140.000 fr. à Hanovre (ibid.).

⁴ - Dont 920 fr. pour le prince; et 460 fr. pour chacune des deux Eglise et villes (ibid).

⁵ - « D'après le bulletin affiché le 21 avril 1803, les mines en gain rapportent par trimestre par action : Dorothea : 271 fr. 54; Caroline : 76 fr. 74; Gabe-Gottes : 11 fr. 81; Neue Benedicta : 5 fr. 90... » (ibid.)

⁶ - L'action s'échangeait alors à 19.834 fr. ce qui faisait donc un intérêt tout à fait acceptable de 5,5%.

droits accordés au seigneur et par l'obligation de traiter et fondre dans ses moulins et usines. Fait notable, ce complexe productif trouve son équilibre dans le maintien de l'obligation de protection à laquelle était tenu le souverain/seigneur. Cette obligation se traduit dans la gestion courante par la fourniture du bois et à plus long terme par l'investissement hydraulique. Ainsi, étangs et canaux « ont coûté au prince des sommes considérables... »; dans le district de Clausthal, sur le filon principal de Thürm Rofen Hoffer, les deux « galeries d'écoulement ont été construites aux frais du prince »¹.

L'innovation, dans un tel cadre, fut effective et probante. Le complexe technique mis en place se signale par son efficacité. La structure princière en constitue l'élément-clé. Elle a permis que se développe l'immense savoir-faire de Schlutter. « Les minerais qu'on en retire sont peu riches : l'or, l'argent, le cuivre, le plomb, le zinc y sont tellement mélangés entr'eux, et tellement combinés avec du soufre et du fer qu'on ne peut les séparer qu'à l'aide d'un très grand nombre d'opérations, longues, difficiles, et par conséquent très dispendieuses... si cette mine n'était pas confiée à une administration éclairée, si les travaux n'étaient pas dirigés par des officiers profondément instruits dans les arts métallurgiques, loin d'être un trésor... elle n'aurait été qu'un abîme où se serait englouti la fortune des plus riches capitalistes »². L'infrastructure hydraulique remarquable d'ampleur fournit en énergie une zone géographique de la taille d'une région : « on compte 32 étangs dans les districts de Clausthal et Zellerfeld, détaille Jars, tant pour le service des mines que pour celui des bocards et des fonderies qui ont deux à sept toises de profondeur³... On a profité des vallons les plus avantageux pour y établir des digues solides et les moins élevées, pour y rassembler une grande étendue d'eau⁴... Il est de ces canaux qui ont jusqu'à 3.000 toises de long -six kilomètres environ- et auquel on n'a donné que 5 à 6 pouces de pentes par toises »⁵. Mais n'est-ce pas là une situation établie, le solde positif d'une époque qui fut belle, plus que la résultante d'un mouvement en cours ? Au terme des descriptions

¹ - G.JARS, op. cit., huitième mémoire.

² - HERON de VILLEFOSSE, op. cit., p. 447, n.1.

³ - *Les Compagnies pouvaient participer au financement de ces infrastructures lorsqu'elles étaient en bénéfice. Il en fut ainsi lors de la construction d'un ouvrage nécessaire à l'exploitation de la mine Dorothee, un canal d'amenée des eaux qui devait traverser 450 toises de montagnes. Le projet -au coût estimé de 40.000fr.- fut approuvé avant réalisation par la Chambre de Hanovre et le Conseil des Mines « qui ont décidé que les dépenses se feraient par 1/3, savoir 1/3 pour le prince, 1/3 pour la caisse Berg ban casse, 1/3 pris sur les bénéfices de la mine Dorothee. » Le canal était au trois quart achevé lors du passage de l'ingénieur.(G.JARS, ibid.)*

⁴ - G.JARS, ibid.

⁵ - Ibid.

faites par les deux ingénieurs, l'on constate une réelle stagnation y compris dans le domaine princier. « Grillage, fonte, affinage du plomb et des mattes de plomb, fonte des litharges, raffinage de l'argent »¹, aucun de ces procédés n'a évolué depuis Schlutter. A Rammelsberg, la méthode d'abattage reste principalement le torréfage, elle le resta jusqu'à l'an XII, voire au-delà.

Jars envisage favorablement cet investissement qui soutient l'exploitation tout en limitant les risques². Mais il critique vivement le mode courant de fonctionnement des mines comme des fonderies, sans voir ce que sa pensée comporte de contradictoire. La critique repose sur le coût global de l'exploitation, qu'il juge excessif. « Sur toutes les mines du Harz, il n'y a aucun puits qui ne soit perpendiculaire; l'usage est de les approfondir sur le filon même et de suivre tous les sauts ou détours qu'il fait dans son inclinaison ». Ce défaut est la conséquence directe du mode de concession, chaque compagnie exploitant une portion différente du même filon dans l'espace qui lui avait été attribué. La traduction technique de cette réalité économique-juridique était une extrême irrégularité des puits, foncés au gré du filon. Jars dresse avec précision la liste des inconvénients principaux qui découlait de cette irrégularité : « 1°) cela consomme une grande quantité de bois ; 2°) les puits sont sujets à beaucoup de réparations ; 3°) les machines perdent leur force à vaincre les frottements ; 4°) il faut, pour supporter les tirans des rouleaux de distance en distance et des varlets pour les changements de direction³ ; 5°) il y a des dommages considérables quand les tonnes pleines tombent dans le puits ». Au manque d'économie dans la confection des puits, s'ajoute la dépense excessive en bois. L'ingénieur y voit un effet nocif de sa gratuité. « Nous ne croyons pas qu'il y eût une seule province en France, où une mine pût être exploitée avec une aussi grande dépense en bois... On ne cherche dans le Harz aucun moyen d'économie à cet égard, y ayant du bois plus qu'on ne peut l'employer, et que le prince fournit gratis »⁴.

L'innovation existe cependant. Ainsi le mode de pilage, techniquement déjà fort avancé à l'époque de Gabriel Jars puisqu'on savait l'adapter à la nature du minerai, fut

¹ - G.JARS, op. cit., neuvième mémoire, section III & VI.

² - Jars approuve cette organisation de l'investissement parce qu'elle favorise les jeunes compagnies par leur insertion dans une structure pré-existante. Pour lui, « c'est là un arrangement très convenable pour éviter des frais d'établissement des Compagnies et les encourager à exploiter des mines. »

³ - Cette disposition se retrouvera au Huelgoat-Poullaouen Cf. infra. Il en va de même pour la définition du terme varlet.

⁴ - G.JARS, op. cit., huitième mémoire.

perfectionné encore au début du dix-neuvième siècle. En 1803, Héron de Villefosse lorsqu'il fait remarquer combien la teneur des minerais en argent avait diminué en cinquante ans, commente : « si dans le Harz, on ne s'était pas sérieusement occupé de perfectionner les manipulations importantes du bocardage comme on vient de le faire, bientôt les manipulations y auraient été absolument hors d'état de se soutenir »¹. Ce n'était là, toutefois, que perfectionnement dans le cadre des méthodes existantes, une suite d'innovations certes, mais strictement répétitives, sur le mode du clonage².

La tentative d'installation de cinq machines à colonne d'eau sur le filon principal de Bockfnieser zûg entre Lautenthal et Zellerfeld relève d'une autre forme d'innovation. Ces machines, appelées « Winterschmidt » du nom de leur inventeur, avaient « beaucoup de rapport avec celles de Schemnitz et celles dont on trouve le dessin dans l'architecture de Belidor... » Leur mise en route aurait eu pour effet de détacher l'énergie hydraulique du complexe traditionnel étang/canaux/roues. Ce fut un échec : « le service ne répondit pas à l'attente; les mines sont abandonnées depuis sept à huit ans. » En bon ingénieur, Jars préconise pour leur relance, l'alternative machine à feu/galerie d'écoulement : « on ne peut espérer les remettre en place qu'en construisant une machine à feu pour secourir les autres, ou lorsqu'on aura achevé la galerie d'écoulement de Lautenthal, qui doit arriver à la profondeur de 80 toises »³. Était-ce aussi simple ? La mise en route d'une machine à feu aurait obligatoirement modifié les coûts de fonctionnement. Qui aurait payé le combustible, bois ou charbon de terre ? Le prince ? Les « administrateurs » ? L'emploi de la machine à feu ne pouvait -à terme- que modifier un mode de production d'autant plus intimement lié à l'énergie hydraulique que celle-ci présentait le grand avantage de rendre palpable, de matérialiser et justifier la ponction seigneuriale.

Il en va de même pour l'établissement de puits perpendiculaires. Jars précise qu'« ils sont préférables, mais qu'ils doivent être entrepris dès le commencement d'une

¹ - HERON de VILLEFOSSE, *op. cit.*, p. 446, n.1. L'affirmation ne vaut pas pour le minerai de Rammelsberg qui « n'étant en quelque sorte qu'un mélange de divers métaux qui ne peuvent être séparés que par des opérations métallurgiques, n'a pas besoin d'être bocardé et lavé avec le même soin que celui du Haut-Harz. »

² - Nous avons choisi ce terme parce qu'il induit l'idée de répétition au sein d'un même patrimoine -d'une matrice technique- sans impliquer une homogénéité de produit. Une cellule clonée peut connaître des mutations génétiques.

³ - G.JARS, *op. cit.*, huitième mémoire.

exploitation »¹. Or ceci suppose techniquement et économiquement une anticipation sur les travaux à réaliser ; techniquement, parce que la technique des puits perpendiculaires constitue un pari sur l'emplacement du filon ; économiquement, parce qu'elle contraint à ce détour du sage qu'est le fonds de réserve. Elle aurait amené à la création d'une seconde « bergbaucasse » en quelque sorte, consacrée non au financement des infrastructures de soutien et d'accompagnement mais au financement de l'organisation productrice elle-même. Cela aurait nécessité une compréhension de l'investissement dépassant largement le rapport annuel. C'était une révolution mentale bien difficile à accomplir dans le cadre du complexe technico-économique en cours.

Pour l'exploitant en particulier, le dédoublement exploitation / résultat final empêchait l'intellection de la notion de profit industriel. Il lui était difficile de connaître même approximativement le bénéfice réel, encore moins la marge brute d'exploitation puisque les éléments nécessaires à l'établissement des coûts de fonctionnement et des prix de vente lui échappaient. Les bilans trimestriels étaient établis par le conseil des Mines et mis à la disposition du public par voie d'affichage. La notion de rapport intégrée par l'exploitant, -« l'administrateur »- n'était pas liée à la qualité de l'investissement mais à celle du gîte. (Y aurait-il -décidemment- une correspondance fondamentale entre économie « naturelle » et relation d'ordre ?) Un tel lien n'occultait pas la notion de concurrence, mais elle la réduisait à ce stade primitif, élémentaire, de l'acharnement à extraire. L'objectif principal était d'abord celui de la quantité produite, trimestre après trimestre.

Ne peut-on, au sortir de ces quelques réflexions, risquer une conclusion -même provisoire- quant à l'innovation et son histoire ? Le mode de production rentier -c'est-à-dire l'« économie naturelle »- n'aurait-il pas tendance à enfermer le complexe technique qu'il engendre dans un type d'innovation non projectif, horizontal, ce type d'innovation que nous avons qualifié de clonage, parce qu'elle se contente, après la mise au point des diverses filières et complexes, de les reproduire en les perfectionnant ? Il ne faudrait pas cependant rejeter le Harz, ses mines et ses montagnes dans l'enfer d'une économie fossile. La réalité est plus subtile et prouve combien multiples et divers furent les mode de passage de l'économie d'Ancien Régime au monde industriel. Par sa richesse démographique et l'aptitude de sa population à l'entreprise, le Harz devint au dix-neuvième siècle, l'une des principales régions industrielles de l'Allemagne. Goslar fut la patrie d'origine de la famille

¹ - G.JARS, *ibid.*

Siemens. Ne retrouve-t-on pas là cette industrialisation décrite par Michel Hau à propos de l'Alsace, qui reposa en grande partie sur les capacités réceptrices de la population¹ ? Héron de Villefosse insiste sur le fait que le bénéfice retiré des mines est surtout social : « je le répète, c'est bien dans une activité de l'industrie et du commerce, dans une grande circulation de numéraire qu'il faut voir les véritables avantages que l'exploitation des mines du Harz procure aux pays du Hanovre²...Deux à trois mille ouvriers sont directement employés à l'exploitation des mines. D'autres travaillent les matières premières qu'on en retire. Les autres enfin vivent indirectement du produit de ces mines. Sans elles, les montagnes du Harz, qui ne portent que des forêts de sapin, ne sauraient être habitées -et le Hanovre aurait de moins une population de 24.000 individus »³. Richesse démographique, habitude prise d'une manière de travailler collective et hiérarchisée, idée admise d'un enrichissement possible par le travail industriel : voilà qui mettait la population en position de réceptivité. A la différence des régions proto-industrielles, l'accumulation primitive s'effectuait avec lenteur sur un mode qualitatif, une accumulation non directement capitaliste mais sociale. L'industrialisation se réalisa sur ce terreau. Il reste à savoir comment et par quel biais. Tout ce que l'on peut en dire, est que cela impliquait la disparition du verrou seigneurial.

2*) DEUX COMPLEXES INNOVANTS : FREIBERG/SCHEMNITZ ET L'ANGLETERRE.

Les complexes techniques de Freiberg en Saxe et de Schemnitz en Hongrie apparaissent au dix-huitième siècle comme des centres d'impulsion technique. L'un et l'autre, en France faisaient figure de modèle. L'Angleterre également, quoique de manière différente. Freiberg et Schemnitz furent les premiers grands sites européens parcourus par Gabriel Jars entre 1757 et 1759. Un peu moins de dix ans après, en 1765, il visitait la Grande-Bretagne⁴. Il importe de savoir ce qu'il retint de l'organisation technico-économique des exploitations étudiées. Nous apprécierons également la manière dont il perçoit et présente les techniques nouvelles qu'il rencontre sur sa route.

¹ - M. HAU, L'industrialisation de l'Alsace (1803-1939). Strasbourg 1987.

² - HERON de VILLEFOSSE, op. cit., p. 442.

³ - HERON de VILLEFOSSE, op. cit., p.408.

⁴ - Cartes n° 9 et 10.

a) *Freiberg, Schemnitz : un complexe technique spécifique.*

Le site minéro-métallurgique de Freiberg se situe en Haute-Allemagne, au sein de l'Erzgebirge; Schemnitz¹ en Basse-Hongrie. L'un et l'autre appartiennent à ces grands centres miniers d'Europe centrale dont le développement s'affirma à partir du douzième siècle². Au dix-huitième siècle, Freiberg dépendait de l'Electeur de Saxe, Schemnitz, relevait de la souveraineté de la « Reine de Hongrie »³, c'est-à-dire de l'impératrice Marie-Thérèse. Entre les deux sites, la parenté de structure est évidente. Le complexe technique qui les caractérise est de caractère allemand. Mais l'évolution technico-économique s'est effectuée en des termes qui le distingue du complexe harzien. Pour cette raison, nous parlerons, à leur propos, de complexe technique haut-allemand.

Nous savons comment les mines de Schemnitz devinrent princières. « Le travail se menait anciennement par les Compagnies, qui ensuite abandonnèrent. Il en résulta la nullité des concessions, dont le Souverain s'empara peu à peu, comme d'un grand nombre d'actions qu'il acquit des divers intéressés; mais les arrangements furent pris de façon que les Compagnies ont conservé dans chacune des mines que Sa Majesté exploitent cinq des actions des 128 qui composent une société. Ces 5 actions sont réparties à différentes personnes qui peuvent les vendre à d'autres que sa Majesté qui ne peut les acquérir; et par ces mêmes conventions, les Compagnies ont le pouvoir de prendre le même intérêt dans toutes les mines que la Reine fait ouvrir; de sorte qu'elles entrent toujours pour une part dans le contingent des recherches que l'on fait »⁴. La structure d'investissement ici décrite apparaît comme le renversement en quelque sorte -ou l'achèvement?- du complexe technico-économique harzien, avec, d'une part, une exploitation princière portée à la complète maturité étatique et, de l'autre, une participation à l'investissement et à la prise de bénéfice accordée à une minorité qui ne pouvait être de blocage.

A la différence du Harz, les Compagnies n'étaient pas obligées de porter leur minerai aux fonderies royales : « les compagnies anciennes ont gardé le privilège d'avoir leur propre fonderie; les compagnies nouvelles peuvent soit traiter avec les anciennes, soit

¹ - *Qu'il ne faut pas confondre avec Kremnitz, également située en Hongrie et Chemnitz, situé à moins d'une cinquantaine de kilomètres de Freiberg.*

² - *Les mines d'argent auraient été découvertes en 1170 (T.A.RICKARD, op. cit., p.225).*

³ - *G.JARS, op. cit., t.II, quatrième mémoire, « Sur les mines d'or et d'argent de la Hongrie », (G.Jars & Duhamel), 1758/1780, section I et II.*

⁴ - *G.JARS, op. cit., section II.*

traiter avec la fonderie royale ». L'obligation est ailleurs -souveraine et intangible- celle de vendre les métaux à la Chambre des mines à prix fixe : l'on se rapproche ici des structures savoyardes. De la même manière, dans le domaine minier saxon, Jars décrit côte à côte fonderies royales et fonderies privées. Comme à Schemnitz, la structure d'exploitation est à mi-chemin du seigneurial et du concurrentiel : les neuf mines d'argent et de cuivre du Comté de Eisleben, par exemple, étaient exploitées par sept compagnies « qui ont leurs fonderies... » Les travaux étaient dirigés par les officiers du prince. Les mattes obtenues étaient transportée et traitées à la fonderie de Helstett, « pour en faire la séparation; la fonderie appartient en commun aux Compagnies, mais le traitement du minerai s'y fait séparément »¹.

L'impression domine d'exploitations, si ce n'est en pleine vigueur, du moins vivantes et innovantes. Manifestement l'ingénieur y fut sensible. La description qu'il donne des techniques que lui-même et son compagnon Duhamel découvrirent dans les six mois qu'ils passèrent à Schemnitz entre janvier et juillet 1758, comme d'ailleurs celles des mines et fonderies saxonnes, sont beaucoup plus hautes en couleur et fortes en relief que la relation faite dix années plus tard des entreprises du Harz. Pour donner le ton, dressons rapidement l'inventaire des techniques rencontrées.

Vient d'abord Freiberg. L'ingénieur y trouve le « début de l'application des maçonneries dans les travaux miniers »² ; et à la fonderie, l'usage du haut-fourneau « pour la fonte des minerais de plomb, argent, cuivre et même la fonte des litharges, celui, précise-t-il, que l'on voit dans le Schlutter »³. Bien établie, la technique s'est développée et modifiée. Le charbon de terre est y désormais « employé avec succès », à condition de prendre la précaution de le « charger en travers » et « en très petite quantité à la fois, pour ne pas le surcharger ». Jars en explique la raison : le charbon de terre « ne brûle pas aussi vite que le bois; mis en trop grande quantité, il formerait un amas...; par ailleurs, il ne doit jamais toucher le minerai, mais seulement servir à réfléchir une chaleur très vive, et occupe

¹ - G.JARS, op. cit., t.II, treizième mémoire, « Mines d'argent et de cuivre d'Eisleben dans le Comté de Mansfeld » (MM.Jars) 1766/1780, section I.

² - Jars précise à ce propos, que « Monnet se trompe quand il dit que la maçonnerie des puits obliques n'est pas encore usitée à Freiberg » (G.JARS, op. cit., onzième mémoire « Mines d'argent, cuivre et plomb de Freiberg en Saxe par G.Jars et Duhamel) 1757/1780, section V).

³ - L'adaptation du haut-fourneau aux minerais poly-métalliques se fait en 1707. Elle fut introduite « en 1717 dans le Comté de Stolberg, par le sieur Koch; puis en 1727 dans le Comté de Mansfeld par le receveur Ehremberg. » (Ch. A. SCHLUTTER, op. cit.).

une place où il faudrait du charbon de bois ». On devine, aux recommandations multipliées, toutes les difficultés qu'il y eût à vouloir mêler directement charbon de terre et minerai de fer. Présent en filigrane, rapporté, adapté au haut-fourneau, le principe de réverbération vient structurer la pensée. Jars, sur les deux sites, relève la présence de fours à réverbère dans un usage réservé au grillage du minerai¹.

Fourneau à réverbère, charbon de terre, haut-fourneau... Pour trouver réunies entre Saxe et Hongrie les plus marquantes des techniques nouvellement déployées au dix-huitième siècle, il ne reste qu'à y joindre la machine à feu. Jars à Schemnitz, en comptabilise cinq, construites « par un Anglais » qui ne manquait ni d'humour ni d'à-propos puisqu'il demanda « pour récompense...l'épargne qu'elle procurerait dans dix années »². Quatre d'entre elles étaient regroupées sur un même puits; la cinquième, établie sur le puits de Magdeleine, « élevait en 24h. de la profondeur de 24 toises 3 pieds 1/3 depuis 23.000 jusqu'à 28.000 pieds cube d'eau ». Mais l'équipement hydraulique avait aussi ses spécificités et se complétait de ces machines à colonne d'eau qui firent la renommée du site. Des machines que Jars dénomme « machine à eau et à air ». Sur place, on les appelait « Hollische », du nom de leur inventeur et constructeur, un certain Holl³.

Contrairement au Harz, l'innovation ne se limite pas au clonage. Elle modifie, enrichit, crée des ouvertures et fait avancer le complexe technique : ce pourquoi nous l'appelons « innovation créante »⁴. Dans le cas précis à quoi tient la différence, cette évolution divergente de complexes techniques cousins ? La constante abondance de bois et d'eau dans le Harz favorisa le mode de production seigneurial et lui permit de se développer. Mais elle empêcha les remises en question qui auraient pu induire un élan porteur d'évolution. Le complexe technico-économique se love dans son schéma initial. Le manque d'eau à Schemnitz, le défaut de bois à Freiberg -à l'instar de l'Angleterre-

¹ - Il s'agit de réverbère « à l'allemande ». G.JARS, op. cit., t.II, sixième et douzième mémoire.

² - G.JARS, t.II, quatrième mémoire, section III.

³ - Ces machines avaient été construites en 1751. Pour leur capacités, vol. 3, p.77-78. Coût des machines du puits Léopold : 150.000 £. (G.JARS, *ibid.*)

⁴ - Nous avons préféré innovation créante à innovation architecturale parce que ce dernier vocable ne renvoie pas véritablement au caractère actif de l'innovation : il aurait été préférable de parler d'innovation architecturante, mais l'appellation est lourde et enferme la définition dans l'idée que ce mode d'innovation est obligatoirement structurante. Abandonnant l'idée d'architecture, nous nous sommes tournés vers la notion de création -en son sens moderne de « création de produit ». Mais l'innovation est obligatoirement créatrice : à ce titre l'épithète classique nous apparut comme étant insuffisamment suggestif du caractère non pas créateur mais potentiellement créant, renouvelant de cette forme intermédiaire entre l'innovation de clonage et l'innovation innovante.

obligèrent des entreprises en pleine production à composer, à prospecter de nouveaux domaines ; il fallut contourner les difficultés et trouver les techniques appropriées. L'utilisation du four à réverbère pour le grillage des minerais permit d'utiliser « la moitié moins en bois et en charbon »¹. Le développement de la maçonnerie dans les galeries s'explique par « la rareté des bois »². Il en va de même de l'usage du charbon de terre dans les hauts-fourneaux.

A Schemnitz, les machines hydrauliques -à colonne d'eau ou à feu- furent employées parce qu'elles favorisaient une gestion raisonnée de l'eau et des pompes. La machine à eau et à air « exige deux hommes pour la diriger...(mais)...elle est une épargne pour cuir, graisse, vis et écrous » ; elle est « d'un très petit entretien et très bonne à exécuter dans les endroits où l'on a pas plus de 15 à 20 toises à élever les eaux, et où on a peu d'eau extérieure et une chute d'eau plus grande que la profondeur de celle à élever. » Elle présente une grande souplesse d'utilisation : « on ne peut la faire aller seulement que quelques heures et ensuite l'arrêter, et même la faire travailler que tous les 1/4 d'heure une fois. » L'économie d'eau est certaine : « par là, on n'a besoin que de très petits réservoirs pour rassembler les eaux tant intérieure qu'extérieure; ce qui ne peut avoir lieu dans les machines à roues, même dans toutes celles où on emploie des pompes. » Enfin, elle ne provoque pas dans son fonctionnement « de pertes d'eau » et engendre « moins de frottement ». Les machines à feu furent utilisées dans le même esprit : « il est fort rare que les cinq aillent en même temps; on ne s'en sert que dans le cas où les hydrauliques n'ont pas assez d'eau extérieure ou bien lorsqu'il y a abondance d'eau intérieure...Il arrive quelquefois... qu'aucune ne travaille; mais cela dure tout au plus quinze jours ou trois semaines »¹.

L'utilisation de ces machines obligea au perfectionnement de tout ce qui faisait et transmettait un mouvement. Un nouveau champ d'adaptation technique se dégageait, celui du travail sur la réduction des frottements. Les varlets, ces intermédiaires destinés à transformer le mouvement horizontal en mouvement vertical, furent particulièrement travaillés. « Tous les varlets , ou croix des machines, forment du côté où sont fixés les tirants, auxquels sont attachés les pistons des pompes, des 1/4 de cercle sur lesquels

¹ - G.JARS, op. cit., t.II, douzième mémoire, « De l'administration générale des fonderies royales de Saxe et des opérations qui s'y font » section V.

² - G.JARS, op. cit., t.II, onzième mémoire, section V.

s'enveloppe une petite chène qui tient au même tirans², de manière qu'ils soient toujours éloignés du centre du mouvement du varlet, qu'ils conservent la perpendiculaire, et ne forment point d'angle dans la pompe, ce qui évite un frottement considérable »³. Les machines à feu ont « connus plusieurs changements depuis leur construction, en particulier la mise en place de deux balanciers au lieu d'un, avec un tourillon dans le milieu... » ; le piston des cylindres est « beaucoup mieux qu'en France : on ne se sert plus de cuir, mais d'une grosse toile »⁴ ; enfin, pour l'eau qui alimente les chaudières, « on ne se sert pas ici de l'eau de la mine, comme en France, mais on a construit deux petits étangs pour rassembler de l'eau extérieure, qui sont assez élevés pour qu'elle puisse arriver par des tuyaux dans le haut du bâtiment de chaque machine; on évite par là la perte de beaucoup de force qu'il faut employer pour élever l'eau jusqu'à cette hauteur. » L'innovation créante sans bouleverser le complexe auquel elle appartient et dans lequel elle s'intègre, en vient cependant à le modifier en provoquant son expansion vers de nouvelles lignées techniques.

Il en fut de même pour la métallurgie. Elle se rapporte au cuivre et relève de la lignée Schlutter, une lignée fortement remaniée cependant sans qu'il soit toujours possible de déterminer la raison de ces remaniements. L'ingénieur français, spécialiste et non des moindres de cette métallurgie, réagit à ces innovations. L'appréciation qu'il porte sur les fours à réverbère tant à Schemnitz qu'à Freiberg est sévère, voire franchement hostile. A Freiberg, suivant en cela le classique de la filière allemande, le métallurgiste saxon s'était fixé sur un concept d'un réverbère à deux chauffes. Ces « deux chauffes ou réverbères paraissent d'autant plus inutiles que comme la flamme n'a que la moitié de la largeur du fourneau à circuler pour arriver dans la cheminée, il arrive qu'il y a une grande partie de la chaleur de perdue ». Le Lyonnais préconise en lieu et place la technique anglaise de réverbération : « il seroit plus convenable d'un construire un plus étroit et plus long, avec un seul réverbère, et une cheminée plus élevée, semblable à celui dont les Anglois se servent et que l'on nomme cupôls. » Et d'ajouter : « on pourrait s'en servir aussi pour le

¹ - G.JARS, op. cit., t.II, quatrième mémoire.

² - Disposition que l'on retrouve en Bretagne. Cf. infra.

³ - G.JARS, ibid.

⁴ - Les cylindres étaient en cuivre allié avec de l'étain et pesaient cinq quintaux chacun -environ 245kg. Les chaudières étaient de même métal, « mais pur et formées avec des planches de cuivre. »; elles pesaient de 40 à 42 quintaux -c'est-à-dire 2 tonnes. (G.JARS, ibid.)

minerai, puisqu'on est dans l'usage de le fondre seul; on épargnerait beaucoup de fagots pour le rôtissage »¹.

A Schemnitz, le grillage était exécuté dans des fours à réverbères². De nouveau, l'ingénieur critique le procédé, parce qu'en l'occurrence, il ne correspond pas au but fixé : « le minerai n'est pas remué sans cesse dès le commencement du grillage, mais quand le schlick est couvert d'une croûte ». Il faut « le rendre en gros morceaux plutôt que de le rôtir parfaitement, afin d'éviter que le vent des soufflets n'en enlève à la fonte. » L'esprit pragmatique du métallurgiste et sa vive intelligence sont en route : « Dans ce cas, ne vaudrait-il pas donner dès le commencement une forte chaleur pour le rendre pâteux en 2 ou 3 heures et ensuite le rôtir en morceaux dans des fourneaux à feu ouvert, où il en coûte toujours beaucoup moins de bois que ceux de réverbère, lorsque le minerai n'est pas en poussière et que pour cette raison l'air et le feu peuvent s'insinuer dans le vide que laissent les morceaux entr'eux. » La solution proposée serait-elle régressive ? Pour l'ingénieur métallurgiste, quand on ne veut pas rôtir complètement un minerai, et quand le minerai n'est pas en poussière, il faut préférer l'utilisation du traditionnel fourneau à feu ouvert³.

L'anecdote en appelle à la prudence quant à l'interprétation des techniques rencontrées. Il peut être dangereux de se placer trop exclusivement dans la catégorie de jugement -soit-disant objective⁴- « technique de progrès / technique de routine. » La fonderie de Joachimsthal, en Bohême, fournit l'exemple de ce qu'un refus apparent de l'innovation-du moins ce que nous sommes tentés de concevoir comme tel- peut en constituer l'un des chemins. La fonderie est royale, « à l'imitation de la Saxe ». La fonte se fait dans des fourneaux courbes, « reconnus les meilleurs pour la fonte des mines de ce district. » Jars souligne ce qu'il fallut d'expérimentations et de recherches pour en arriver à ce choix. L'exemplarité est certaine. A ce titre, il détaille le processus depuis ce qui fut la motivation initiale jusqu'à l'obtention du résultat. Avec, en point de départ, la nature du

¹ - Griller 188 quintaux par semaine demandait 1800 fagots.

² - G.JARS, op. cit., t.II, seizième mémoire « Sur les divers procédés que l'on emploie à Schemnitz pour la fonte des minerais d'or et d'argent & sur les mines d'argent d'Annaberg dans la Basse-Autriche par G.Jars et Duhamel », 1758/1780, section I.

³ - L'ingénieur critique ouvertement les procédés de fonte : « L'on se plaint que le minerai est réfractaire » mais la tuyère est placée, à onze ou douze pouces du bassin, avec inclinaison de huit degrés, « ce qui est très mal, car dans cette fonte, on ne craint pas de vitrifier le métal, comme dans celle du plomb... Les fourneaux sont trop larges, eu égard à leur profondeur et à leur hauteur » de même que l'ouverture de tuyère (2 pouces 1/4 à 2 pouces 1/2) : « le vent s'étend trop dans toutes les parties inférieures du fourneau. » (G.JARS, ibid.)

⁴ - Une objectivité qui trouve le plus souvent sa source dans les écrits du dix-neuvième siècle.

minerai : « si l'on examine ces minerais, on verra qu'ils contiennent avec une grande quantité d'arsenic, un peu de soufre, de la pierre cornée, très peu de spath et de l'argent ». Dans cette complexité native, c'est l'arsenic qui gêne le bon rapport de l'opération, en raison de sa volatilité et de son affinité avec l'argent : « en général, les minerais de ce district contiennent une grande quantité d'arsenic, qui est assez volatil pour entraîner avec lui de l'argent, ce qui est prouvé par celui qui se sublime dans les voûtes de la cheminée ». On chercha donc par expérimentation un traitement métallurgique qui permette de réduire ces pertes d'argent : « on a fait en conséquence nombre d'épreuves pour appliquer à ces minerais, la meilleure méthode de les traiter »¹

L'exploration fut systématique. Les épreuves portèrent sur le mode de fondage, c'est-à-dire sur le traitement préalable du minerai : fallait-il ou non griller le minerai ? « On a d'abord essayé de le rôtir, avant que de le fondre, mais on s'est bientôt aperçu d'une baisse d'argent enlevé par l'arsenic ». Après cet échec donc du rôtitage, on essaya sans plus de succès la méthode pratiquée à Freiberg, une fonte crue au haut-fourneau. « Inutilement puisque le minerai restant trop longtemps exposé à l'action du feu, l'arsenic s'en volatilisait et enlevait avec lui de l'argent, ce qui faisait le même effet du grillage... » Comment dès lors éliminer l'impureté -l'arsenic- sans perdre d'argent ? L'on en revint à l'utilisation du fourneau courbe, technique traditionnelle et éprouvée, mais... en l'adaptant, en la perfectionnant par un travail sur les fondants, « l'addition de scories de fer ». Nous sommes là sans doute, à l'origine de la méthode par précipitation. Mais à méthode innovante, support traditionnel. L'ensemble requiert l'utilisation de fourneaux bas parce qu'ils permettent une action rapide de l'élément combustible sur le minerai, et procurent l'avantage d'une prompte décomposition en l'exposant le moins possible à l'action du feu. Le procédé exigeait de surcroît une maîtrise rigoureuse des vents : « la précaution que l'on prend de faire agir les soufflets lentement et de ne point élever la flamme dans la partie supérieure est aussi très bonne, puisqu'il se volatilise moins d'arsenic »². Tour de main complémentaire, l'humidité est entretenue sur le fourneau, «qui permet de retenir la fumée d'arsenic qui s'attache en grande partie aux charbons ». Doit-on conclure de ceci que Joachimsthal retarde, refuse l'innovation parce qu'elle s'en tient au fourneau courbe ?

¹ - G.JARS, op. cit., *quatorzième mémoire*, « Mines d'argent, plomb, bismuth & cobalt des hautes montagnes de la Saxe et celles de la Bohême avec une description des fabriques d'azur & mines de mercure d'Ydria, suivie du procédé du cinabre en Hollande » (G.Jars & Duhamel) 1757, 1758, 1759/1780, section VI.

² - G.JARS, *ibid.*

L'innovation naît au contraire d'une maîtrise de l'outil traditionnel, mais pris dans un usage renouvelé. Ceci ne peut que nous inciter à la prudence, quant à l'interprétation d'outils ou de moyens dévoilés sur un site par l'archéologie.

b) Le désordre anglais.

Dans l'histoire des avancées techniques, la primauté n'est donc pas à donner à l'outil lui-même ; il faut examiner à égalité le support, l'environnement technico-économique. Rien mieux que l'analyse des réactions de Jars face au monde anglais peut le faire comprendre. L'ingénieur revient d'Angleterre avec le coke¹. Plus encore, il revient avec cette idée fondatrice que fer et charbon représentent les points d'ancrage essentiels du développement technique, qu'ils constituent les piliers de ce formidable déploiement productif qu'il lui fut donné d'observer dans son voyage. Pourtant, Jars n'a pas tout admis de l'Angleterre, loin s'en faut. En matière de plomb argentifère, la marge est trop grande avec cette filière continentale qu'il connaît et pratique à la perfection. Face à un agencement technique qu'il relate avec sa précision coutumière, il réagit avec un étonnement poussé jusqu'à l'incompréhension, voire au refus.

Rejoignant Monnet, il reproche à la filière anglaise le gaspillage qu'elle induit à tous les niveaux de la production. « Les mines sont mal aménagées, les bois dangereux... Les mineurs, en général ne sont pas aussi bons que les Allemands et même que ceux que nous avons actuellement en France : ils ne s'étudient point à connaître la façon de placer les coups de mine pour faire éclater les roches de la manière la plus avantageuse; ils sont toujours deux... d'où il suit qu'ils s'embarrassent l'un et l'autre, surtout dans une galerie où un seul ouvrier ferait autant d'ouvrages ». Sa visite à Lead-Hill en Ecosse lui inspire un commentaire identique : « ... la formation des castes pourrait être mieux entendue; les puits sont mal construits et dangereux... il n'y a pas d'échelle...on les visite en s'attachant à la corde du treuil, ce qui est incommode et même très dangereux. » Et d'indiquer « qu'il y eut des accidents »².

Ce qui vaut pour les mines, vaut aussi pour la minéralurgie. A Lead-Hill, le lavage de minerai s'effectue comme en Basse-Bretagne, « mais on y opère avec beaucoup moins de

¹ - Voir carte n° 13, et pour une comparaison avec le parcours théorique de Gensanne, carte n°14.

² - G.JARS, op. cit., t.II, quinzième mémoire, « Sur les mines de plomb d'Angleterre, leur fonte et l'affinage du plomb pour en extraire l'argent ; sur celles de plomb à crayons dans le Comté de Cumberland avec la description d'une mine de plomb du Comté de Namur, suivie des procédés des Hollandais & des Anglais pour fabriquer la céruse, le blanc de plomb et le minium », 1765 & 1766/1780., section I, II et III.

soins qu'on ne le fait dans ce dernier endroit : ce qui sort de ces laveries, ou plutôt ce qui est entraîné par le courant d'eau est reçu dans de grands fossés où le fin se précipite... Celui-ci est ensuite lavé sur des espèces de tables mal construites en mal disposées... » A Alston Moor, tout se passe comme à Lead-Hill, « mais avec beaucoup moins de précaution; les pertes sont considérables » au point que se développe toute une sous-traitance : « nombre de paysans ramassent du minerai à la belle saison le long du ruisseau jusqu'à plusieurs milles en-dessous de la mine, le trient et l'apportent à la Compagnie qui l'achète... » Fait-on usage du bocard ? Oui, mais très peu et mal : les bocards « ont trois pilons suivant la méthode allemande, mais ils sont très mal faits de même que la caisse et le canal » ; il n'y a « aucun labyrinthe, seulement de grands creux en terre. Ce travail en un mot n'a rien de comparable aux soins que l'on prend en Allemagne, pour ce genre d'opération ». Et de nouveau revient l'idée de gaspillage : « d'ailleurs on perd beaucoup de minerai ». Dans le Derbyshire, aux mines de plomb de Winston, c'est l'usage des machines de Newcomen qu'il critique, un usage qu'il juge abusif : « La facilité qu'on a en Angleterre pour la construction des machines à feu fait qu'on abuse communément de son usage, et qu'on les applique trop généralement partout où l'on a des eaux à élever, sans même considérer les frais considérables de leur entretien, surtout dans les mines dont on vient de rendre compte où le charbon est fort cher. Il y a dans ces districts, un petit ruisseau à l'aide duquel et des étangs que l'on aurait construit, on pourrait établir des machines hydrauliques ; il y a aussi nombre d'endroits où l'on pourrait pratiquer des galeries d'écoulement»¹.

Les procédés de fonte, dans ce qu'ils ont d'habituel et d'établi sont décrit du même ton critique et désapprobateur. Jars s'interroge sur le manque de soin et d'économie qu'il dénote dans le déroulement de chacune des opérations. Le travail au fourneau écossais ne le convainc qu'à demi. A Lead-Hill, « la séparation se fait très mal, puisque les scories sortent très riches; cela est si vrai qu'elles tiennent encore 50 à 58% »². Dans le Derbyshire, « ...il y a sûrement une perte en minerai; de celui qui est enlevé par le vent du soufflet »¹. Après l'affinage, « une partie de la litharge, la plus belle, est vendue aux verreries de Newcastle pour la composition du verre blanc nommé flint-glass; sans doute, elle tient lieu de minium. » Le surplus est revivifié dans des fourneaux à réverbère, « sans ouverture par devant, seulement une marmite de fer qui sert de bassin de réception » et

¹ - G.JARS, *ibid.*, section III.

² - G.JARS, *ibid.*, section I.

dans laquelle le plomb coule continûment, par l'intermédiaire du canal de percée mais, ajoute Jars, « ce qui m'a paru fort extraordinaire dans ce travail, c'est que toutes les scories... sont jetées à la rivière sans retirer le plomb qu'elles contiennent encore en très grande quantité »².

Voilà donc l'Angleterre : un pays où l'on exploite beaucoup mais de coûteuse façon, où l'on néglige de traiter le minerai faiblement concentré, où l'on dédaigne de travailler les scories... Entre l'ingénieur et les producteurs anglais, s'instaure un dialogue de sourds. Deux compréhensions technico-économiques de la métallurgie se confrontent, étrangères l'une à l'autre. A Lead-Hill, en discutant l'usage du fourneau écossais, Jars réfléchit à la manière dont l'on pourrait améliorer le procédé. « Ce que je pense qu'ils pourraient corriger à très-peu de frais, ce seroit de supprimer le sol de leur fourneau qui est en fer pour lui en substituer un autre fait d'une brasque très légère ». Il ne voit pas qu'une telle modification remettrait en question tout un ensemble d'opérations -un complexe technique- reposant sur la rapidité d'exécution, une souplesse de travail confortée par l'habitude. Il n'est jusqu'au fourneau de réverbère que les écossais ont refusé : « Sur la question que je leur ai faite de ce qu'ils ne fondoient pas au fourneau de réverbère comme cela se pratique dans plusieurs endroits de l'Angleterre, ils m'ont répondu l'avoir éprouvé, mais que leur méthode leur était plus avantageuse... » Et vient l'inévitable commentaire : « ...ce que j'ai peine à croire relativement au déchet de plomb; sans doute, ils ont mal fait leurs expériences... » A Alston Moor, même, il se fâche : « les prix faits sont mal entendus ; les salaires des ouvriers sont beaucoup considérables... L'on néglige d'extraire et l'on remplit même de déblais des endroits où il y a du minerai, souvent meilleur que la plupart des mines que l'on exploite à l'étranger... A plus forte raison, voit-on au rebut, tout celui qui est à bocard; on ne sait pas ce que c'est que le moulin si utile dans le travail des mines »³. Bref, il dénonce un désordre productif, pour lui synonyme de mauvaise économie...

Or ce désordre constitue le corollaire d'un mode de production centré sur la rapidité productive, le mouvement, le flux. L'on extrait vite -et sans précaution; l'on fond vite aussi, deux fontes par vingt-quatre heures en Ecosse. Dans le Derbyshire, « on assure qu'il ne

¹ - G.JARS, *ibid.*, section IV.

² - G.JARS, *ibid.*

³ - G.JARS, *ibid.*, section II.

faut pas plus de huit heures pour cette opération qui ailleurs en exige quinze »¹. Ceci parce que les fourneaux de réverbère sont « du double plus large et un peu plus long »². Le moteur de ce mouvement, de cette accélération productive -qui montre à elle seule, que déjà l'Angleterre a basculé dans un autre système technique- c'est l'incitation économique, le marché. A l'affinage, le plomb traité est « très pauvre, 3 à 4 gros au quintal » ; il faut rassembler l'argent de trois affinages pour le retirer en un seul gâteau. « Il parait surprenant, commente Jars, que l'on puisse affiner avec avantage du plomb aussi pauvre... » C'est que la situation est strictement inverse de celle rencontrée par les producteurs français : « il faut observer que l'abondance et la richesse des mines de plomb en Angleterre, y rendent ce métal à plus bas prix que dans aucun autre endroit d'Europe »³... Un des principaux intéressés de cette fonderie m'a dit que lorsque les 21 quintaux contenaient un marc d'argent ou seulement six onces⁴, on pourroit affiner le plomb avec avantage au prix-même où il est actuellement; car dans la dernière guerre la même mesure ne s'est vendue que dix à douze livres. Les entrepreneurs considèrent aussi une consommation plus certaine de leur plomb, soit par l'argent qu'ils en retirent, soit par la litharge qu'ils vendent... » D'une grande simplicité, il coûte peu à mettre en oeuvre : « le plomb ne s'ajoute pas en saumons à côté du soufflet, comme cela se pratiquait en Basse-Bretagne; sans doute que ceux-ci sont trop gros; mais on le fait fondre dans une marmite de fer, que l'on chauffe avec des cinders, et dans laquelle on puise pour le mettre à la coupelle». Ceci fait que « la dépense de l'affinage est d'un petit objet; le charbon y est à très grand marché, et deux ouvriers suffisent dans cette opération »⁵.

Ce que l'ingénieur français admet en aval, dans le sens d'une adaptation au marché, pour l'avoir vu pratiqué en Bretagne, pour l'avoir lui-même pratiqué dans le Lyonnais, il le refuse totalement en amont, quant à la manière dont étaient compris et établi les coûts de production. C'est du moins ce qui ressort du jugement qu'il porte sur la gestion de la

¹ - G.JARS, *ibid.* section IV.

² - *Le minerai est introduit par journée de dix-huit à vingt quintaux, « ce qui est peu de choses relativement à la capacité ; mais il présente plus de surface, et l'opération avance beaucoup plus ; car on assure qu'il ne faut pas plus de huit heures pour cette opération qui ailleurs en exige quinze » (G.JARS, *ibid.*).*

³ - « *Le fodder de plomb ou 21 quintaux de 112 lpt ne se vend que 14 ou 15£t le quintal, argent de France.* »

⁴ - « *La livre de poids pour l'argent est divisée en 12 onces, de sorte qu'on le compte par once et non par marcs.* »

⁵ - G.JARS, *ibid.*, section V. Ceci pourrait bien constituer l'archéologie du pattinsonnage.

London Company, compagnie « la plus considérable qu'il y ait en Angleterre »¹, titulaire de la plus grande partie des mines d' Alston Moor² et qui « fait aussi exploiter dans le Derbyshire. » Ce qui paraît invraisemblable à l'ingénieur, c'est la manière dont elle décide de ses prix : « ils sont réglés par la Compagnie sur celui de la vente du plomb... Comme la dite compagnie ne fond de minerai qu'autant qu'il est de la même qualité et pureté, elle a calculé son bénéfice en proportion, déduction faite du droit qu'elle paye à l'Hôpital des Invalides ». Jars prête mille défauts à cette manière de compter : les mines sont mal tenues, les ouvriers trop payés, « depuis 12 jusqu'à 40£ ce qui est exorbitant... Un ouvrier qui gagne trop est rarement un bon ouvrier. » La réponse des Anglais est sans appel « qui disent à cela qu'il leur est absolument égal, parce qu'ils ont fait leur calcul de manière que le produit du minerai est toujours de cinquante pour cent et même au-dessus, jamais au-dessous et que d'ailleurs cela sert d'encouragement »³.

L'ingénieur reste hermétique à l'argumentation. Au praticien certainement le plus doué de sa génération, la filière anglaise se présente comme incompréhensible. Mais comment voir l'invisible, c'est-à-dire le poids d'un marché, qui, en France n'existe pas ? « Il vaudrait beaucoup mieux que cet argent (comprendons : ce surplus inutilement versé à l'ouvrier) fût employé à travailler dans des endroits regardés comme trop pauvres pour mériter l'exploitation ce qui pourroit conduire à des découvertes »⁴. Voilà une pensée toute centrée en sa construction sur le rôle de l'épargne : le Français projette son habitude de la pénurie et du manque dans un monde de l'abondance... Entre technique et économie, ces deux composantes de l'horizon productif, définitivement il privilégie le technique, c'est-à-dire l'immédiatement dominable, ne concevant l'économie que dans le sens premier et limitatif de l'économie de moyens. A mi-chemin entre les filières anglaises et allemandes et par obligation imprégné des conditions de production dans lequel il évolue, Jars, à la fois entrepreneur industriel et ingénieur soldé par l'administration, évolue dans un schéma mental qui conjugue par nécessité inventivité technique et austérité économique.

¹ - " « Elle se compose d'un grand nombre d'actionnaires ; la direction de Londres comprend un gouverneur, un député, douze assistants » (Ibid., section IV).

² - L'autre partie revenait au seigneur du lieu « qui jouit également du droit régalien et l'exploite pour lui-même ». Le seigneur théorique était le comte de Northumberland. Celui-ci ayant été décapité lors de la rébellion de 1716, l'exploitation fut attribuée à l'Hôpital des Invalides pour matelots qui l'affirma pour vingt et un an à la London Company, à charge pour elle de donner à l'Hôpital le cinquième du minerai prêt à fondre (Ibid.).

³ - G.JARS, *ibid.*, section I.

⁴ - Ibid.

A l'opposé, l'Angleterre évolue dans un univers technico-économique nouveau, dans une dialectique du mouvement et du flux, dans une accélération qui semble bien s'être amorcée dès les années 1650 à 1680, parallèlement aux bouleversements politiques, lorsque -sous la double pression du manque en matière technique, du besoin en matière économique- se détermine une poussée innovante, et qu'apparaissent tour à tour le four à réverbère puis la machine à feu. Le pays modifie sa compréhension mentale du rapport à la terre et projette désormais ses désirs de puissance au-delà de la stricte appropriation foncière. N'est-ce pas -comme par hasard?- dans ces années 1680- qu'en Cornouailles et dans le Devon, la production des mines d'étain passe de la « parabole à l'envol », mouvement que nous voyons s'ébaucher un siècle plus tard dans le développement de l'entreprise minéro-métallurgique française ? Contrairement à ce qu'écrit F. Braudel il n'y a pas aberration dans ce mouvement¹. C'est même précisément le signal de l'industrialisation, ce moment de l'histoire productive où technique et économique potentialisant leurs effets, parviennent à faire franchir à l'industrie le mur de l'impondérable technique, et dans une formidable impulsion, transforment le mouvement industriel de sinusoïdal en cumulatif. C'est là bien sûr réponse à un appel, dont le support pût être soit proto-industriel soit technologique, voire conjonction des deux.

Ceci renvoie aux conditions de l'évolution des systèmes techniques : leur homogénéité c'est-à-dire leur cohésion globale n'implique pas une unité spatiale. Bien au contraire, pour être dynamique, pour s'affirmer comme innovant, un système technico-économique doit posséder -ou, à défaut, être capable de créer- des zones d'ombre, de moindre force (ce que fut le complexe minier anglais avant les années 1680) qui constitueront des zones potentielles de relance². Située à la périphérie du système classique, l'Angleterre a basculé dans un système nouveau dont elle fut l'initiatrice et dont elle devint le centre. La supériorité du système technique européen -notion à prendre ici en termes historiquement réalisés d'extension à l'échelle du globe- aura pu venir de sa tendance à la multifocalisation, de sa diversité géo-politique qui, à la différence des autres

¹ - F. BRAUDEL, *Civilisation matérielle... t. 2. Les jeux de l'échange. (« Les courbes des productions industrielles sont-elles paraboliques ? »)*, p.303.

² - *Nous partageons cette idée fondamentale exprimée par Clark et Abernathy, que la progression technique -l'innovation- peut nécessiter une phase de « dé-maturation », terme que nous préférons à « dé-maturité » employé par le traducteur de l'article (W.J. ABERNATHY, K.B. CLARK, « Comment établir une carte stratégique des innovations dans un secteur industriel ? » in F. ROWE, *Management stratégique de la technologie, E.N.S.T., Paris, 1990-1991.**

grands systèmes techniques, des économies-mondes chinoises, hindoues, amérindiennes, lui donna capacité à engendrer et multiplier les centres d'impulsion.

B/ ARCHITECTONIE D'UNE OEUVRE : LA SCIENCE ET L'ORDRE.

Au-delà de ce que dit l'ingénieur, il y a la manière dont il le dit. La construction de ses ouvrages, l'architecture mise en oeuvre, relève d'un déploiement conscient et donc volontairement signifiant¹. Le fait est particulièrement remarquable -et fut remarqué- pour le premier livre qui s'ouvre par une « dissertation sur le fer et l'acier », rédigée en 1769, peu avant la disparition brutale de l'auteur. Pédagogue, par la manière dont il dispose ses écrits, il propose aux plus avertis de ses lecteurs, non pas simplement un « savoir-faire », mais aussi un « comment-penser ».

1°) L'ingénieur en sa pensée.

L'introduction place délibérément le voyage métallurgique du côté du geste fondateur, n'hésitant pas à le rapprocher des expéditions effectuées par Maupertuis en Laponie entre 1736 et 1737 et par La Condamine en Pérou en 1737 pour mesurer la longueur de deux méridiens situés le plus près possible du pôle et de l'équateur. Gabriel Jars se réclame explicitement de ce travail pionnier. Pour lui, le périple auquel il fut convié par l'Etat, relève du même esprit « que le voyage des philosophes pour déterminer la figure extérieure de la terre »². La mesure des méridiens avait été entreprise pour vérifier par la pratique qui, de Newton ou de Huyghens, avait raison dans l'explication donnée des lois de la gravitation. Se plaçant délibérément dans ce cadre, le métallurgiste affirmait qu'il n'avait pas l'intention de s'en tenir au seul relevé des faits, mais aussi de proposer une « Métallurgie raisonnée et soumise à des principes que l'expérience, la Chymie et plusieurs parties de la Physique peuvent établir solidement ». Objectif ambitieux qu'il chercha à réaliser par l'agencement donné à son oeuvre.

La pensée du métallurgiste s'étend sur trois tomes, en une construction que l'on pourrait présenter comme étant celle d'un « deux plus un », tant les deux premiers tomes paraissent mieux organisés, mieux dirigés que le dernier. Le premier volume débute par

¹ - Cf. schéma « *Le parcours théorique des Voyages métallurgiques* », vol. 3, p. 79.

² - G.Jars, *op. cit.*, t.I, 1774, préface. L'ouvrage est posthume. Le premier volume fut publié en 1774, cinq années après sa disparition, les deux autres en 1780 et 1781. Les préfaces des tomes I et II furent rédigées par le frère de l'ingénieur qui l'accompagna dans la seconde partie de ses voyages. Le volume III ne comporte pas de préface.

une dissertation sur le fer et l'acier et s'achève par un mémoire consacré à l'Angleterre des mines de plomb et des fours à réverbère. Le premier mémoire du second volume traite de la circulation de l'air dans les mines, des principes de la géométrie souterraine et de l'arithmétique décimale. Il fait le lien entre les deux tomes. L'articulation est souterraine dans son objet, discrète dans son sujet, mais essentielle à la mise en forme de l'ensemble. Ce point d'orgue théorique conclut ce qui a été dit sur les techniques nouvelles et prépare ce qui va se dire sur la pratique minéro-métallurgique. Le tome second s'en tient à la présentation des non-ferreux argentifères. Le dernier tome s'intéresse à une métallurgie en plein renouvellement, celle des non-ferreux non argentifères. Après avoir décrit qu'il a vu des traitements du cuivre, du zinc et des alliages dans les divers pays européens, l'ingénieur y propose -et cela prend forme involontaire de testament- « une méthode avantageuse de griller les mines de cuivre pauvre » telle qu'il l'avait réalisée à Chessy (quatrième mémoire), la description de son grand fourneau à raffiner le cuivre (cinquième mémoire); l'établissement, enfin, d'une nouvelle machine « à moulettes » (sixième mémoire).

L'orientation donnée à l'ensemble est remarquable : après avoir commencé par le fer et l'acier, l'auteur met fin au versant scientifique de son oeuvre, trois tomes plus tard, par un mémoire sur la séparation des métaux. Il y fonde un nouveau mode de raisonnement en matière de métallurgie en s'appuyant conjointement sur la théorie des affinités et sur les qualités de cet outil nouveau qu'est le four à réverbère¹. Brillant, prometteur, ce mémoire est le plus important d'un tome où dominant renouvellement technique et innovation. Ainsi va la nouvelle chaire de l'Académie des Sciences en ces années 1768/1769 : tandis que Lavoisier s'apprête à donner à la chimie, la tempérance et la mesure d'une science moderne, Gabriel Jars donne ses lettres de noblesse au travail des métaux, l'extirpant de l'ésotérisme artisanal, lui conférant le statut nouveau de métallurgie qu'il prend soin de définir comme une science de pratique et de raisonnement.

Pourquoi parler du fer, de l'acier, du charbon, du coke ? Jars veut aller au-delà de ce que présentait Réaumur. « L'ouvrage... connu du grand public depuis bien des années, n'aurait-il pas dû encourager à aller de l'avant ? Ce qu'il a fait, était certainement beaucoup;

¹ - C'est dans ce mémoire que G.JARS décrit le fonctionnement du four à réverbère dans le cadre de la fonte de première fusion (plomb). La méthode décrite est celle de Poullaouen (G.JARS, op. cit., t.III, neuvième mémoire, 1769/1781, section II).

on n'avait qu'à suivre ses traces, relever quelques imprécisions qui se glissent inévitablement sur une matière, pour ainsi dire, nouvelle... » Il veut perfectionner les procédés, obtenir des produits de meilleure qualité : « J'ai la plus grande confiance que les maîtres de forges qui voudront y faire attention, de même qu'aux observations que je rapporterai ici et dans l'ouvrage auquel ce mémoire servira d'introduction, pourront beaucoup perfectionner leur procédé et obtenir du fer plus parfait que celui qu'ils ont retiré jusqu'à présent de leur minerai... »

L'esprit du tome second est identique, mais sur un sujet plus délicat. Ils furent bien peu jusqu'à lui, à oser s'attaquer à l'épineuse question des métaux non-ferreux. Le Lyonnais s'y risque, car au-delà du savoir-faire qu'est le sien, il a intégré deux outils théoriques qui lui donnent la possibilité d'une lecture scientifique, en chimie, la théorie des affinités, directe, clairement établie, immédiatement utilisable ; en physique, cette partie constante, mesurable, mais non érigée en corpus théorique, qui s'intéressait aux lois de la pesanteur, du calcul de poids des colonnes d'air et d'eau, à la mesure de l'interaction des unes sur les autres. L'utilisation des affinités permit au métallurgiste d'unifier sa pensée¹. La pratique du calcul physique des pesanteurs différenciées des colonnes d'air et d'eau lui permit d'unifier tout le reste, c'est-à-dire tout ce qui faisait le fondement de la minéro-métallurgie. Là s'établit le lien entre tout ce que l'ingénieur présente d'innovations, qu'il s'agisse des machines hydrauliques nouvelles, à feu ou à colonne d'eau et d'air, du four à réverbère, ou de la géométrie souterraine.

Le seizième mémoire, « sur la circulation de l'air dans la mine et les moyens qu'il faut employer pour l'y maintenir » constitue donc un jalon essentiel dans la pensée de l'ingénieur. Jars l'avait rédigé en 1764. Il le présente à l'Académie des Sciences en 1768-1769, « aussitôt après sa réception », signe qu'il le tenait pour particulièrement important². L'ingénieur avait observé que la circulation de l'air dans les travaux miniers adoptait des trajets inverses selon les saisons. Il en donne explication par le moyen d'observations et de mesures pratiquées par le « thermomètre de Réaumur ». Le raisonnement est conduit

¹ - Ceci est particulièrement net dans le mémoire sur la séparation des métaux (A.-F. (BRULE-)GARÇON, « L'introduction du four à réverbère... », 1991, Colloque international de Lyon, à paraître.

² - G.JARS fut admis avec Lavoisier en tant que chimiste à l'Académie, en 1768. « Son élection avait été précédé par deux autres (mémoires) qu'il avait lus, l'un sur le procédé des Anglais pour faire l'huile de vitriol, fruit de son voyage en Angleterre, et l'autre sur la séparation des métaux ». (« Eloge de M. G.JARS », Voyages métallurgiques t.I). En 1769, juste après sa mort, survenue brutalement en Auvergne, son frère rapporta le mémoire sur la « manière de préparer le charbon minéral ».

méthodiquement : Jars met en évidence l'existence d'une circulation de l'air, en multipliant les observations, « réchauffement de l'air en avançant dans les galeries », présence « d'autres ouvertures où l'on sentait l'air chaud en y entrant et par où l'on voit sortir la fumée de la poudre après plusieurs coups de mine. » Le lien entre topographie et circulation est rapidement établi. « Or l'air entre par les galeries inférieures ou plus bas que les ouvrages par où l'air sortait ». La déduction théorico-pratique fait suite : « ce qui me persuada que l'on aurait d'autant plus d'air dans une mine, que les ouvrages de communication supérieure seroient plus élevés au-dessus de l'horizontale, ou du niveau de ceux pratiqués au pied de la montagne... » Puis vient l'explication d'une pratique empirique que l'observation raisonnée du phénomène justifie : « ces observations m'expliquent pourquoi l'on construisit des tuyaux de cheminée sur certains puits dans des mines de charbon qui étaient exploitées dans un pays plat... » Cette seconde observation -qui vient en confirmation de la théorie- permet la généralisation d'un fait resté jusque là particulier.

Jars ne s'en tient pas là. Il veut non pas décrire, mais expliquer le phénomène. « Il ne me suffisait pas d'être parvenu à connaître parfaitement la façon dont l'air circulait dans les mines, je voulais encore savoir qu'elle en était la raison »¹. Muni de sa toise et de son thermomètre, il multiplie les observations, obtient des résultats contradictoires, renouvelle les expériences, les confronte entre elles et parvient enfin à conclure. « Ces observations, répétées plusieurs fois et dans plusieurs mines m'ont prouvé que l'air qui, dans l'hiver entroit dans la mine par les ouvrages inférieurs pour ressortir par le supérieur, prenoit une route contraire pour l'été. » L'explication est désormais possible qu'il réalise en s'aidant d'un schéma. La notion qu'il fait intervenir est -comme dans un thermomètre- celle de dilatation plus ou moins grande d'un air plus ou moins chaud : « en hiver, la colonne d'air DA, est plus pesante que CB, car à 0° et non à 10° comme CB... » et explique que si la DA est plus pesante c'est parce qu'elle « moins dilatée qu'en CB... »

Après avoir démontré l'existence d'un différentiel de circulation de l'air et l'avoir rapporté aux effets de la chaleur et de la dilatation, l'ingénieur part en deux directions l'une théorique, l'autre pratique. En premier lieu, il critique sèchement son collègue Triewald de l'Académie de Suède qui comparait la circulation de l'air à celle de l'eau dans un siphon recourbé à deux pieds inégaux ; puis, il brocarde l'habitude prise par les exploitants de

¹ - G.JARS, op. cit., t.I, seizième mémoire, « Observations sur la circulation de l'air dans les mines; Moyens qu'il faut employer pour l'y maintenir », 1764/1774. Ce mémoire est le dernier du volume I.

multiplier les galeries horizontales dans les mines : « plusieurs personnes sont persuadées que c'est en multipliant beaucoup les ouvertures des mines que l'on peut y introduire de l'air...» La réfutation est simple : « dix puits placés sur une même hauteur horizontale ne donnent pas plus d'air qu'un seul, parce qu'alors toutes les colonnes d'air de l'atmosphère, étant d'un égal pied, elles feront équilibre entr'elles¹. Une multiplicité d'autant plus inutile qu'elle est dispendieuse. L'exemple donné est celui d'une galerie d'écoulement, longue de 2360 toises à Schemnitz, dont on avait cherché vainement à améliorer l'aérage en développant une galerie parallèle établie à partir d'un puits de vallon, 200.000£ dépensée en pure perte. Et l'ingénieur de proposer en lieu et place cette solution élégante et économique qui consistait à diviser la colonne d'air en utilisant le plancher des galeries².

L'intérêt de la pensée physicienne du métallurgiste est d'étendre la notion de pression différentielle des colonne d'air et/ou d'eau aux autres innovations de la minéro-métallurgie. Entre le mémoire qu'il donne de la circulation de l'air dans les mines, et ce qu'il décrit de la machine à feu ou du four à réverbère, il y a parenté de réflexion. Il n'est que de comparer la manière dont l'ingénieur décrit les machines à feu de Schemnitz : « quoique la colonne d'air de l'atmosphère, qui presse sur le piston soit d'environ 1/3 plus pesante, on a trouvé par différents calculs et expériences, qu'elle ne peut cependant dans cette machine faire plus de 90 quintaux, attendu qu'il reste toujours de l'air dans le cylindre en dessous du piston, quoique la vapeur a été condensée par l'eau froide, ce qui retient le piston en descendant³. La parenté est remarquable avec d'une part le thermomètre et d'autre part ce qui est dit de l'air dans les mines. Pour explorer le domaine voisin des machines à colonne d'eau et d'air, relevons cette autre description d'un prototype élaboré à Alston Moor en Ecosse en 1765, où l'« on est dans l'intention de profiter de celles (des eaux) qui passent en très grande quantité de la galerie supérieure pour faire mouvoir une machine d'une nouvelle construction à laquelle celle à feu a donné lieu. On se propose d'avoir un cylindre semblable, mais au lieu de la colonne d'air dans toute la hauteur de l'atmosphère, on veut conduire sur le piston une très grande colonne d'eau; elle ne différera

¹ - G.JARS, *ibid.*

² - G.JARS, *ibid.*

³ - G.JARS, *op. cit.*, t.II, quatrième mémoire, 1758/1780, section III.

de celle des mines de Schemnitz en Hongrie, qu'en ce que de cette dernière la colonne d'eau part sous le piston »¹.

Cette parenté conceptuelle -ou conceptualisante- se retrouve jusque dans la compréhension du four à réverbère. Elle donne à l'ingénieur les moyens théoriques dont il avait besoin pour la mise au point de son « grand four à réverbère destiné à raffiner le cuivre ». Nous pouvons suivre le parcours de cette élaboration, Jars en décrivant les principaux moments. La construction du grand fourneau date de 1755. En 1752, il avait réalisé un séjour d'étude effectué à Poullaouen au cours duquel il avait vu fonctionner le four à réverbère, rencontré sa première machine à feu, appris de Koenig la numérotation décimale et les principes de la géométrie souterraine. De retour à Chessy, il avait essayé d'adapter l'un des fourneaux décrit par Schlutter au traitement des pyrites cuivreuses, principal minerai de l'exploitation. Plusieurs prototypes furent réalisés mais sans résultats. Le voyage effectué à Sainte-Marie aux Mines en 1754 lui permit de voir fonctionner le fourneau décrit par Schlutter. Ce fut le moment décisif. Sur place, il parvint à modifier si ce n'est le four lui-même, du moins l'utilisation qui en était faite. De retour à Chessy, Jars décida de fermer les trois bouches à feu, de les remplacer par « une grande cheminée fort élevée... Celle du fourneau Anglois me parut très propre pour cela. De cette façon, en augmentant le courant d'air dans le fourneau, et conséquemment le volume pour la pression d'une colonne plus élevée et qui divisant davantage les particules de feu leur donne plus de force pour pénétrer les pores du métal »¹. L'enjeu était donc -déjà- la circulation de l'air. C'était là l'environnement cognitif, le terreau conceptuel propre aux années 1680-1770, un environnement que l'on pourrait qualifier de proto-technologique, tant fut constant le souci de lier pratique et théorie. La qualité du travail d'élaboration mené par l'ingénieur dans ce champ d'étude est certaine. Voici, à titre de comparaison, la présentation que fait Monnet de la machine à feu, dans son *Traité de l'exploitation des Mines* : « Pour terminer cette partie, il ne nous reste plus qu'à parler de la pompe à feu... on connaît les détails que M. Bélidor a donné de cette curieuse machine, dont l'effet est fondé sur l'alternative d'un effort produit par la vapeur de l'eau bouillante et de la destruction de cette même force au moyen de l'eau froide; ce qui est beaucoup augmenté par l'équilibre où sont mises les pièces et

¹ - Et Jars d'ajouter : « je préférerais sans difficultés celle de Schemnitz parce qu'elle est beaucoup moins sujette à se déranger et à réparation... » (G.JARS, op. cit., t.II, quinzième mémoire, 1765/1780, section IV).

surtout par le grand balancier »². Le ton -et la réflexion- y sont autres, qui distinguent l'homme de science du simple technicien.

2*) *L'ingénieur et l'Etat.*

Il reste à déterminer la manière dont l'ingénieur envisageait l'organisation productive. Cette question renvoie à la relation d'ordre. Car l'ouvrage, dans sa structure, ne consiste pas en une succession de mémoires techniques. Il débute par le mémoire sur le fer et l'acier, mais se referme par ce treizième mémoire du tome trois consacré à la « jurisprudence des mines de Saxe et des différents états de l'impératrice reine de Hongrie », mémoire ancien, puisqu'il date de 1759. Il permet au métallurgiste de conclure par des « observations sur la jurisprudence des mines à l'étranger, avec des réflexions qui peuvent donner lieu à des « projets de règlement pour les mines de France », et par un projet d'Edit. Jars donne ainsi sa place à l'Etat. C'est l'autre versant de la pensée du métallurgiste.

L'importance qu'il donne à la « Géométrie souterraine » constitue le fil directeur de sa réflexion en ce domaine³. La pensée de l'ingénieur se structure autour de deux repères normatifs⁴. Le premier -objectif- représente le rapport aux principes (la question se posant en termes de conformité/non conformité des manière de faire observées); le second -subjectif- représente le jugement de l'ingénieur (la question se posant en termes d'acceptation/refus des manières de faire observées). Chacun des complexes miniers prend place dans ce système croisé d'appréciation, en fonction des pratiques minières qui le caractérise. Schemnitz et le Harz en forment les antipodes. Parce qu'il est à la fois conforme et accepté, le complexe de Schemnitz est en position d'extrême positivité; parce qu'il est à la fois non-conforme et refusé, le complexe du Harz est en position d'extrême négativité. En position intermédiaire viennent la Saxe et l'Angleterre. Le complexe saxon (Saxe/Mansfeld) s'inscrit dans un rapport de non-conformité/acceptation, le complexe britannique dans un rapport de conformité/refus.

¹ - G.JARS, op. cit., t.III, cinquième mémoire « Description d'un grand fourneau à raffiner le cuivre construit au mois d'août 1755 dans la fonderie de Chessy en Lyonnais dans lequel on raffine tout le cuivre provenant des dites mines et de celles de Saint-Bel ».

² - A.G.MONNET, op. cit., IV^eème partie, chapitre II, « De la pompe à feu ».

³ - En ce qu'elle prétend ordonner les espaces souterrains, par définition obscurs et mal maîtrisés, la géométrie souterraine apparaît comme la symbolisation de la relation d'ordre...

⁴ - Voir notre schéma vol. 3, p. 80.

Les positions de Schemnitz et celle du Harz ne surprennent pas. L'acceptation pour l'un, le refus pour l'autre sont affirmés avec netteté dans le texte. On peut toutefois revenir sur ce qui constitue le point de focalisation du jugement, la perpendicularité des puits. Ce point technique est essentiel aux yeux de l'ingénieur, parce qu'il détermine l'avenir économique de l'entreprise. Rappelons sans insister la critique que Jars fait des puits du Harz, ces puits qui suivent « tous les sauts et détours que fait le filon dans son inclinaison »¹. Une telle installation est dispendieuse à l'entretien; elle interdit d'utiliser au mieux l'équipement hydraulique. La conclusion est rapidement tirée : « d'où il suit que les puits perpendiculaires sont préférables à tous égards », ce qui oblige l'ingénieur à ajouter, « mais ils doivent être entrepris dès le commencement d'une exploitation... » Qu'en est-il à Schemnitz ? « On a généralement adopté pour méthode de faire des puits perpendiculaires et aussi profond qu'il est possible pour éviter la multiplicité de la main d'oeuvre qui est indispensable lorsqu'on a que des petits puits pour entraîner le minerai »². En raison des économies d'échelle, l'emploi des puits perpendiculaires s'impose lorsque les travaux prennent de l'ampleur en profondeur : « on conçoit du reste combien cette méthode (de multiplier les puits) serait dispendieuse, dans une mine qui aurait 200 toises de profondeur »³. Comment expliquer alors qu'une méthode aussi profitable ne se soit pas généralisée ? La réponse est d'ordre technico-économique. Cette manière de faire suppose un investissement initial important. Les frais d'installation sont élevés, et il faut déployer pour leur mise en oeuvre un réel savoir-faire : « il est vrai que des puits d'une aussi grande profondeur sont si dispendieux (car ils exigent une charpente beaucoup plus exacte ou bien une maçonnerie) qu'ils sont bien capables d'effrayer les entrepreneurs ». Difficulté supplémentaire, ils ne peuvent être réalisés directement sur le filon : « ils sont rarement approfondis sur le filon, parce qu'on trouve très peu de ceux-ci qui soient exactement perpendiculaires... » C'est là l'origine d'un surcoût dû au fait qu'il faudra travailler exclusivement en terrain stérile pour les foncer. « Etant parvenu en profondeur, il faut faire

¹ - G.JARS, op. cit., t.II, huitième mémoire.

² - G.JARS, op. cit., t.II, quatrième mémoire, section II.

³ - « Cette méthode diminue non-seulement la main-d'oeuvre, mais elle gagne un tems considérable, que l'on met nécessairement à transporter les minerais d'un puits à l'autre, & au remplissage des sceaux; d'où il arrive qu'un minerai qui souvent ne suffirait pas pour payer les frais d'extraction paye encore ceux du bocard et des fonderies. On a de plus l'avantage, avec des machines hydrauliques, d'éviter beaucoup de frottements qui est toujours plus grand dans les puits obliques, puisque les tirans qui conduisent les pistons, doivent être supportés sur des rouleaux ou petits cylindres mobiles ; que d'ailleurs quand on a plusieurs puits pour arriver au fond de la mine, les varlets et les balanciers augmentent d'autant plus le frottement ; ce qu'il faut éviter autant qu'il est possible. » (G.JARS, op. cit., t.II, quatrième mémoire, 1758/1780, section II).

des galeries de communication pour conduire les matières sous les dits puits, et...en approfondissant, cette communication devient d'autant plus longue que le filon a une inclinaison »¹. Le maître-mot est jeté : « ils obligent au développement de toute une infrastructure. » Cet investissement, bien lourd dans sa conception et coûteux dans sa mise en oeuvre, est rarement accepté par « une Compagnie (qui) n'envisage que l'utilité présente... Souvent même, elle n'est pas en état de supporter des frais aussi considérables surtout si, dans le même tems elle a des galeries d'écoulement à faire ». C'est là qu'à Schemnitz intervient le souverain, à la fois ordonnateur et régulateur, à la fois investisseur et tuteur. En basse-Hongrie, « les Compagnies exploitent leurs mines sur le même principe que celles de Sa Majesté qui les favorise autant qu'il est possible pour assurer la durée de l'exploitation et la leur rendre aussi profitables qu'elle l'est au souverain... La reine qui fait travailler ces mines n'épargne rien pour assurer une exploitation durable dont elle se trouve dédommée par le nombre de mines qu'elle fait exploiter ». Et l'ingénieur d'ajouter, en reportant ce jugement sur le domaine minier saxon : « nous pouvons dire que la plupart de celles qu'on travaille aujourd'hui en Saxe avec perte donneroient du profit, si dès le commencement, on eût approfondi un puits perpendiculaire, que l'on auroit continué jusqu'à la plus grande profondeur, puisque le minéral coûteroit la ½ moins d'extraction »².

Mais alors pourquoi refuser l'Angleterre ? Là-bas, en effet -mais Jars, à ce propos, est beaucoup plus obscur, sa rédaction plus incertaine- les puits sont foncés à la perpendiculaire. On se demande même, en lisant ce que l'ingénieur écrit des mines de charbon et la comparaison qu'il fait entre les exploitations allemandes, hollandaises et leur homologues anglaises, si la technique qui consiste à décider d'une centre principal d'extraction et de le doter d'un puits perpendiculaire, ne vient pas d'Angleterre, si elle n'est pas née de l'usage de la machine à feu. « Si l'on s'y prenoit ici, comme Angleterre, pour exploiter une couche, on n'auroit pas besoin de faire d'autres ouvrages que ceux que nous venons de décrire. Les Anglois placent toujours le puits principal, celui sur lequel ils établissent leur machine à feu, à l'endroit le plus bas où est la couche, dans l'arrondissement qu'ils ont acquis; par ce moyen, toutes les eaux s'écoulent dans le puisard, et ils charrient avec bien plus de facilité le charbon jusqu'au puits, le transport

¹ - G.JARS, *ibid.* section II..

² -Ibid.

étant toujours en descendant. Les Liégeois ne font pas ainsi »¹. Les Anglais seraient-ils maîtres-mineurs ? L'ingénieur ne va pas jusque-là. Certes, dans les mines métalliques, l'exploitation se fait selon les normes, tandis que le lien technique avec la machine à feu se confirme. Dans le Derbyshire, à Winster comme à Wiks-worth, « ces mines sont exploitées jusqu'à cent toises de profondeur, perpendiculairement; les eaux qui y sont très abondantes sont élevées par plusieurs grandes machines à feu »². Mais, à la perpendicularité près, dont il faut dire qu'elle est favorisée par des gîtes constitués par « des couches presque horizontales »³, tout le reste est critiqué. Rien des travaux miniers anglais ne trouve grâce auprès de l'ingénieur qui les juge marqués du sceau du gaspillage et du désordre.

Jars, dans sa pensée, penche pour la mise en oeuvre d'une main visible et régulatrice, celle du souverain, refusant l'invisibilité -l'artifice- d'une auto-régulation par le marché. Il n'est pour lui d'économie que politique. Comme lien ordonnateur entre technique et production, les Anglais placent le dynamisme du marché. Jars, quant à lui, y met l'Etat. Dans un cas, la régulation est implicite et spontanée, dans l'autre, elle est explicite et imposée. Cette pensée est proche de celle d'un Turgot, plus encore d'un Bertin. Oscillant entre mercantilisme et physiocratie, elle trouve son point de focalisation -et de renversement- dans la relation d'ordre, perçue comme essentielle, tout à la fois fondement et justification de l'interventionnisme politique en économie. Mais quoi de plus naturel de la part d'un homme formé et mandaté par l'administration ? Ainsi s'élabore le profil de l'ingénieur des mines, défini comme sachant, comme titulaire d'un savoir minéro-métallurgique. Intermédiaire entre l'Etat et la production, homme d'interface parce qu'à la fois homme de pratique, homme de terrain et homme de raisonnement, il est le bras pensant, raisonnant, calculant d'un Etat conçu comme guide à l'entreprise⁴.

¹ - G.JARS, op. cit., t.II, quatorzième mémoire.

² - G.JARS, op. cit., t.II, quinzième mémoire, section III.

³ - Jars fait à ce propos une observation « bien singulière et qui peut servir beaucoup au système de la formation et de l'origine des filons, c'est que lorsqu'ils sont inclinés ou qu'ils s'éloignent de la perpendiculaire, ils dérangent totalement les couches dans leur position horizontale. » (Jars, ibid., section II).

⁴ - Ainsi, dans l'article « mine », l'Encyclopédie emploie le terme « ingénieur » quand il est question de la nécessité de lever des plans. L'ingénieur est le planificateur, garant du bon développement des travaux. L'analogie avec la mission que se donne l'Etat est frappante.

II - L'INNOVATION AU SEIN DE L'ENTREPRISE MINERO-METALLURGIQUE.

L'étude du fait innovant au sein des filières et complexes techniques a permis de distinguer entre innovation courante et innovation innovante. La compréhension de l'innovation courante a permis de faire le départ entre innovation de clonage et innovation créante. Ces deux manières d'innover assurent l'une et l'autre la continuité du procès de production avec des moyens technico-économiques différents. La manière dont se réalise l'innovation au sein de l'entreprise minéro-métallurgique confirme la dualité du fait innovant tout en renvoyant à l'opposition entre innovation courante et innovation innovante. Pour durer, l'entrepreneur doit conjuguer habilement renouvellement et continuité. Transformer tout ou partie du procès de production est indispensable, mais exceptionnel. L'histoire montre qu'à trop se trouver modifiée, l'entreprise cesse d'exister. Indispensable à la bonne marche du procès de production, l'innovation est un phénomène incrémentiel, destinée à favoriser le processus d'accumulation technique. Pour l'exploitant français du dix-huitième siècle, la difficulté fut de se trouver sur un terrain vide de pratiques référentielles. Il lui fallut conjuguer investissement de mise en route et innovation, les deux processus se distinguant mal, du moins dans la phase première d'établissement.

A) LES DIFFICULTES DE L'INVESTISSEMENT HORS-SUBSTRAT.

Le recours au spécialiste était indispensable de même que l'était le recours à la technique de pointe. En l'absence d'une filière technique spécifique, l'un et l'autre ne furent pas des plus aisés.

1°) L'INNOVATION DE DEMARRAGE ET SES CONTRAINTES.

Le terrain de recherche sera ici, par obligation, celui que nous offre les exploitations bretonnes. C'est le seul à être bien connu ; le seul aussi à s'être développé dans la durée. L'étude des techniques se focalisera sur l'hydraulique qui constitue la structure vitale de l'entreprise minéro-métallurgique.

a) La filière manège/chapelet : des débuts au blocage.

A Pont-Péan, plus encore que dans aucun site minéro-métallurgique, l'existence de l'entreprise reposa à peu près exclusivement sur la qualité de l'investissement hydraulique. Le gîte présentait à l'exploitation une richesse exceptionnelle en argent et une puissance

filonienne assurée et constante. Cette richesse se payait d'une situation topographique défavorable : cas unique en France, l'exploitation se trouvait en plaine ; de surcroît, les veines métallifères étaient insérées dans des schistes fortement aquifères et recouverts de cette nappe sédimentaire et limoneuse qui assura la richesse du bassin agricole rennais¹. Facteur aggravant, l'ensemble se situait dans les méandres de la Seiche, un petit affluent de la Vilaine qui ne cessa de gêner les exploitants par ses débordements d'hiver et ses étiages estivaux.

L'installation des travaux entre 1730 et 1745, en bordure de lit et dans le repli des berges releva de l'obligation de suivre le filon en ses affleurements. Ouverte en 1730 et abondamment décrite par le président de Robien², l'« Ancienne Mine » se situait au sud de la Seiche. En 1745, s'y ajouta la « Nouvelle Mine », qui fut entreprise lors de la reprise des travaux parce qu'« on y avait trouvé beaucoup de minerai en faisant faire des fouilles en divers puits »³. Ces nouveaux travaux prirent place au nord du lit du fleuve. Celui-ci séparait donc le carreau minier en deux parties distinctes, une situation originale mais pour le moins contraignante. De la difficulté à trouver l'équipement adéquat, de la nécessité à l'outil approprié, va naître l'exemplarité. Car en ce site de plaine, moins qu'ailleurs encore, les exploitants disposaient d'exemples à suivre. Il leur fallut improviser. Les essais furent multiples, dans un esprit qui resta le même cependant, répondant au souci obligé de toute entreprise débutante de conjuguer moindre prix et efficacité.

Comme à Poullaouen -est-ce là une constante de l'histoire d'un gîte à ses débuts?- le moteur hydraulique ne fut pas initialement choisi. Il représentait un investissement initial beaucoup trop lourd. Le premier mouvement fut de recourir à la simplicité du moteur animé, qu'il fût animal ou humain : en 1731/1732, le système d'épuisement installé se composait de la séquence manège à cheval/chapelet de seaux. Dans son inexpérience technique, Blain Saint Aubin le subdélégué, en fait une description évocatrice. C'était dit-

¹ - Vol. 3, p.90, la carte établie par R.CARSIN. Cette carte ne présente pas l'emplacement des tous premiers travaux. Le filon de Pont-Péan a été décrit par A.LODIN dans un article des Annales des Mines, « Note sur des dégagements de gaz inflammables dans des mines métalliques, notamment dans celle de Pontpéan », 1895, t.VIII, pp.40-105.

² - C.P. de ROBIEN, *Description historique, topographique et naturelle de l'ancienne Armorque*, éd. établie par J.-Y. Veillard, 1974.

³ - A.LODIN, « Notice sur l'exploitation des mines de Pont-Péan (Ille-et-Vilaine) », Annales des Mines, 1908 et 1911.

il, « une tour qui roulait sur des pivots à l'aide de chevaux qui se relèvent, (et qui) fait mouvoir un chapelet d'environ 80 seaux qui travaillent nuit et jour sans discontinuation »

A côté de cet engin classique, l'on fit l'essai de machines supplémentaires plus originales : d'abord deux « machines angevines » que l'on emprunta à la filière voisine géographiquement et proche techniquement des ardoisières¹. Il s'agissait de treuils mus à bras, qui se présentaient sous la forme d'une « charpente de 50 pieds de hauteur ; à chacune sont placées deux seaux avec des liens de fer de la contenance de près de 2 muids, soutenus par de gros câbles dont l'un descend pendant que l'autre monte... On les appelle des machines angevines à cause que l'on s'en sert dans cette province pour dessécher les carrières d'ardoise »². Ces techniques d'appoint ne fonctionnaient qu'en cas de besoin. La machine de Bicêtre, troisième essai à être réalisé dans le cadre de cette filière apparaît comme la synthèse des deux machines précédentes : l'extraction de l'eau s'effectuait par tonnes, ce qui la rapprochait des machines angevines, mais le mouvement s'en faisait par un manège à cheval. L'effet de proximité se doublait d'un effet de mode ; cette machine, en effet, était une imitation de celle qu'avait fait construire le Nantais Boffrand à l'asile du Petit-Bicêtre à Paris -d'où son nom sur le site, qui fut aussi le nom du puits. Le succès parisien du Nantais eut donc des répercussions en Bretagne : la machine commandée par Favre en 1735/1736 à la Vieille-Mine de Poullaouen, également un baritel à eau, dut être construite sur le même modèle, Robien affirmant en effet que « les eaux étaient épuisées par le moyen d'une machine à eau comme celle de Bicêtre »³.

A s'en tenir du strict point de vue de l'efficacité technique, la réussite fut certaine. On estime par exemple du manège « qu'il tire 2.000 pipes d'eau par 24 heures », ce qui permit d'assécher la cavité intérieure qui s'était trouvée totalement ennoyée. Du point de vue économique, le résultat est moins probant. Le manège, dit Blain Saint-Aubin, « a coûté 7 à 8.000 £t ; à la mise en place, et, dans le quotidien, « il est d'un entretien considérable, outre qu'il en coûte 12 £t ; chaque jour pour les chevaux et les hommes qui le font travailler. » Douze livres par jour, cela représente quelques 3.000 £t ; par an, calcul fait sur la base de 250 journées de travail. La production, -évaluation faite par Lodin- se serait établie de

¹ - « *Minéralogie, Ardoises d'Anjou, Machines pour enlever les Eaux et les blocs d'Ardoise du fond de la Carrière* », Recueil de planches sur les Sciences....

² - *Octobre 1733, visite de Blain St Aubin*, .R.CARSIN, op. cit., p. 57, n.16.

³ -R.CARSIN, op. cit., p.36,n.6 ; .E.MONANGE, op. cit., t. I, p.156.

1730 jusqu'à mars 1732, aux alentours de 200.000 livres de plomb¹, 100 tonnes environ, ce qui représenterait la valeur théorique arrondie de 40.000 £t, soit pour une année, un peu moins de 15.000 £t. L'entretien du seul manège coûtait donc aux alentours de 20% de son chiffre d'affaire à une exploitation qui mobilisait par ailleurs 300 ouvriers et devait mettre sur pied travaux intérieurs, laverie et fonderie². Comment renouveler dans un délai rapproché un second investissement de 7 à 8.000 £t, ce qu'aurait coûté l'installation d'un second chapelet? Ainsi s'explique le recours à ces techniques de proximité qu'étaient les machines angevines et celle dite « de Bicêtre ». La nécessité d'un rapport faible coût/forte exhaure ne pouvait se satisfaire de ces palliatifs coûteux et surtout discontinu. Rapidement, l'on en vint aux pompes.

b) L'échec de la filière pompe/moteur animé

Ce furent d'abord des pompes à bras. Dès 1733, elles remplaçaient le manège sur le puits principal ; en 1735, Robien les montre complétant le travail de la machine de Bicêtre : « ...par le moyen des pompes ordinaires, on élève l'eau du fond des puits qui va se rendre à un grand puisard ou réceptacle d'où par le moyen de grands tonneaux de bois reliés de fer et successivement élevés par une machine que font agir quatre chevaux, l'eau est portée dans une grande auge en bois, d'où elle est ensuite conduite par des canaux formés de planches à des laveries... » La première modification de l'exhaure, la première adaptation prenait donc forme si ce n'est d'une régression, du moins d'un retour à la rudimentarité. Ce serait cependant une erreur de sous-estimer l'apport du matériel à bras. Son intérêt essentiel fut d'introduire par le biais de la pompe aspirante et refoulante la notion nouvelle et indispensable d'un épuisement en continu. C'est bien ce que perçoit Blain de Saint Aubin lorsqu'il décrit en octobre 1733, le nouvel équipement des puits, des « pompes en partie foulantes et aspirantes. Il y en a deux, sur chacun des principaux puits qui portent l'eau au même piston, ce qui a été pratiqué de la sorte pour rendre la manoeuvre plus facile et l'abstraction de l'eau continuelle, y en ayant toujours une qui foule et l'autre qui attire... ». Comme il est habituel, ces pompes étaient placées en répétition, « dès le fond du puits et répétées de réservoir en réservoir... jusque sur la surface du fond de la cavité primitive... où

¹ - Très exactement 191.654 £t..

² - La société démarra avec un capital proche de 75.000 £t, qui fut ensuite porté à 90.000 £t ; un sixième de la somme étant callable immédiatement (A.LODIN, op. cit.). Le prix du plomb est celui que donne H. Hauser (H.HAUSER, op. cit., p. 154) pour le début de siècle.

l'eau est portée dans un grand bassin...puis dans un noc qui rejoint la Seiche »¹. Techniquement, l'ensemble fut probant : « ces pompes peuvent par estimation élever 2400 muids d'eau en 24h. »², soit environ 500 litres à la minute. En 1734, ces pompes étaient au nombre de huit à Pont-Péan, pour lesquelles 28 hommes se relevaient de 4h. en 4h.. La continuité -ou si l'on préfère, l'idée de continuité- étant désormais intégrée, les exploitants³ travaillèrent à son perfectionnement dans une quête constante du meilleur rapport possible efficacité/coût. A ce moment de l'exploitation -c'est-à-dire jusqu'en 1740, ce que dura la compagnie Danycan, les tentatives visèrent seulement à augmenter le rendement des pompes tout en restant dans le cadre du moteur animé.

L'on essaya d'abord -vainement- « une pompe refoulante imitée de celle de Marly formée de gros tuyaux de fer, dans le goût de ceux de la machine de Marly... » Robien indique qu'elle fut au nombre de ces moyens « très coutageus...dont l'usage est demeuré inutile »⁴. Cette tentative, qui se place selon toute probabilité entre 1731 et 1733, traduit -comme la machine de Bicêtre- la volonté d'utiliser ce qui peut paraître comme une valeur sûre, parce que de notoriété publique. Ensuite, les exploitants se tournèrent vers une notoriété plus discrète, géographiquement proche, une notoriété de voisinage en quelque sorte avec la mise en oeuvre de la « pompe à compression de Monsieur Dupuis ». C'est là une première tentative d'innovation, l'adoption d'une idée originale qui prétendait améliorer et rendre plus économique le mode de pompage.

Expilly dit de Dupuy qu'il fut « Maître des requêtes et Intendant de Caen »¹. D'Argenville, dans ce qu'il rédige de l'article « machines hydrauliques » pour l'*Encyclopédie* -l'on pressent que les deux hommes se connurent et s'apprécièrent- brosse à grand traits le portrait d'un amateur éclairé, homme de sciences et de techniques, c'est-à-dire en ce siècle des Lumières, homme de sciences appliquées ce qui est d'ailleurs exactement le terme qu'emploie le rédacteur dans son panégyrique : « après avoir rempli

¹ - R.CARSIN, *ibid.*

² - ROBIEN, *ibid.*

³ -Voici ce que dit l'Encyclopédie à l'article « Hydraulique », sous-partie « Machines Hydrauliques » (partie rédigée par d'Argenville, publiée en 1765) : « Les machines en général servent à augmenter les forces mouvantes, et les hydrauliques à élever les eaux par différens moyens. Elles font également l'objet de la mécanique comme de l'hydraulique. On y emploie pour moteur la force des hommes et des animaux ; mais lorsqu'on se sert des trois éléments de l'air, de l'eau et du feu, on peut s'assurer d'une plus grande quantité d'eau ; leur produit, qui est presque continuel, les fait préférer aux eaux naturelles, qui tarissent la plupart en été et en automne : on les appelle alors des « machines élémentaires ».

⁴ - ROBIEN, *op.cit.*

dignement plusieurs charges considérables, il fut nommé intendant du Canada en 1725. Il s'appliqua à son retour, aux mécaniques, science qu'il avoit aimé de tous tems. Son cabinet étoit rempli de toutes les productions de son génie ; enfin il inventa la machine suivante, qui fut approuvée de l'Académie royale des sciences et fut exécutée en plusieurs endroits et notamment cinq de ces machines ont été exécutées par l'ordre de M. de Maurepas pour les travaux du Roi à Saint-Domingue »². Il y a sans doute de la part de l'Encyclopédiste une amicale exagération à placer la machine de Dupuy parmi ce que Goussier avait auparavant présenté comme étant la liste des « plus belles machines qui aient été construites jusqu'à présent »³. Incontestablement cependant, la machine plut à l'Académie et aux exploitants, puisque, comme l'écrit d'Argenville, « l'on peut établir cette pompe pour l'épuisement des eaux dans une mine, ainsi qu'elle a été exécutée à Pompéan - la déformation orthographique est amusante- près de la ville de Rennes ». L'argumentation indique combien l'attrait de l'économie dut être le stimulant à l'acquiescement : « l'avantage de cette machine est de n'avoir point de pistons ni de corps de pompe, & d'avoir peu de frottement, de s'user moins qu'une autre, d'être de peu d'entretien, de coûter moins dans l'exécution, qui ne passe pas ordinairement, étant simple, la somme de douze cent livres, de pouvoir servir aux mines, aux dessèchements des marais & fossés ; de se loger dans les puits & par-tout, sans échafaudage et sans grande préparation ; d'être mise en mouvement par des hommes, des chevaux, par l'eau & par le vent, & avec tout cela d'amener dans le même espace de tems le double de l'eau que peut fournir que peut fournir la meilleure machine qui ait été exécutée jusqu'à présent »⁴. Topique de la machine idéale ? Tous ces avantages rassemblés ne pouvaient que séduire l'entrepreneur... C'est peut-être en une sorte de préscience de l'industrialisation, ce qui, en profondeur, motive -et justifie- la recherche appliquée en ce siècle des Lumières, une recherche comme seule -en cette France du

¹ - Expilly parle de « la machine hydraulique de feu M. du Pin » - EXPILLY, op. cit., article « Bretagne ».

² - Sous-partie de l'ensemble « Hydraulique », Encyclopédie 1765, t.VIII, pp.361-362.

³ - La sympathie se double d'un coup de pouce publicitaire : « Madame Dupuis sa veuve, qui demeure à Paris, rue Chapon, a obtenu du roi un privilège exclusif de cette belle machine, & pourroit céder ses droits à ceux qui voudroient en faire tout l'usage qu'elle mérite. » Goussier écrit en introduction : « Voici un choix des plus belles machines qui aient été construites jusqu'à présent ; elles pourront servir de modèles dans l'exécution qu'on en voudra faire ; on est sûr de la réussite des machines exécutées, qu'on peut consulter sur le lieu ; au lieu que le succès des autres seroit très-incertain. » Quelles sont ces machines ? « celles de Marly, la pompe Notre-Dame, la machine de Nymphimbourg en Bavière, les moulins à vent de Meudon, la pompe du réservoir de l'égoût, la machine à feu de Londres, la pompe de Monsieur Dupuy, une pompe à bras, et une pour les incendies... » La description de la machine de Notre-Dame fut l'oeuvre de Goussier, celle des autres machines de d'Argenville.

⁴ -Ibid.

souhait autant que de la réalisation- pouvait la mener les grands amateurs. D'Argenville, en tout cas, donne explication de cette efficacité supposée : « la raison en est fort simple : le coffre, où est renfermée la plate-forme mouvante, a ordinairement deux piés & demi de long sur neuf pouces de large, & un pié de long sur neuf pouces de large, & un pié environ de haut, & par la capacité & étendue a plus de jeu, contient plus d'eau, & l'agite plus violemment qu'un corps de pompe d'un pié de diamètre, avec un piston qui lui soit proportionné ; » et la mesure en terme de rendements : « ainsi la pompe à cheval du pont-aux-choux fournit, avec les deux manèges à quatre chevaux tirant ensemble, & les six corps de pompes aspirantes, environ deux muids par minutes ; celle de M. Dupuis fournit, sans manège, mue par quatre hommes, quatre muids & quatre cinquièmes par minute, à seize piés de haut, suivant le rapport de MM. de l'académie des Sciences »¹.

A quoi cela pouvait-il ressembler ? D'Argenville décrit l'ensemble composé « dans son intérieur... de deux coffres de bois posés l'un au-dessus de l'autre & (qui) se garnissent en dedans de plaques de cuivre »². Les deux coffres sont totalement immergés ; le coffre « où se font les mouvements » est séparé en dedans par une cloison. L'originalité réside dans le remplacement du piston par une plate-forme mobile, garnie de fer, inclinée dans la caisse à laquelle elle est rattachée par « un boulon en forme de charnière ». L'autre bout est « taillé en portion de cercle montant et agitant sur une autre portion de cercle, suivant laquelle est taillé une des parois du coffre garni de cuir fort ou de bourre pour empêcher l'eau de descendre. » Le mouvement est assuré par une tringle de fer, « inclinée par le moyen de deux mouffles ou d'un chassis à deux branches, & qui se raccorde à un des bouts de ladite plate-forme, & va se rendre à la manivelle & au moteur »³. Enfin, à la manière d'un piston, « cette plate-forme est percée de deux ouvertures garnies de clapets qui donnent passage à l'eau dans le jeu de la plate-forme. » Par le mouvement donné à la plate-forme au moyen de la tringle en fer, « l'eau qui entoure les deux coffres & qui y entre continuellement, étant comprimée par l'air extérieur ou l'atmosphère⁴, fait lever les deux clapets de la plate-forme mouvante, & forcent à se lever les deux autres clapets

¹ - Ibid.

² - « ...de trois côtés excepté celui où est attaché la plate-forme, qui est garnie de cuir, avec une rainure de son épaisseur pour éviter le trop de frottement... » Il était habituel de barder intérieurement de cuivre les coffres des pompes. Agricola parle de « boîte en cuivre pour éviter qu'une boîte en bois se fende. » (M.ANGEL, *op. cit.*, p.98).

³ - La description suit le chemin de la tringle.

⁴ - Cette mention intervient par deux fois dans la description.

correspondans & placés sur le dessus de la caisse, au moyen de quoi l'eau passe dans une espèce de hotte de cheminée, pour se communiquer dans le tuyau montnt qui porte l'eau dans le réservoir ou lieu destiné »¹.

Reste à envisager le moteur de ce prototype hydraulique : des hommes pouvaient suffire à l'actionner. Mais à Pont-Péan -dont on peut penser, pour être ainsi évoqué que s'en fut la seule application industrielle²- l'installation s'effectua avec un manège à deux chevaux. Ces nouvelles pompes venaient en complément -et non en remplacement- des machines hydrauliques déjà existantes. La machine de Dupuy se plaçait en intersection, à la croisée de ce qui existait déjà, manège à chevaux et pompes à bras, dont elle cherchait à potentialiser les effets, tout en y ajoutant les économies de travail, supposées provenir du remplacement du piston par la plate-forme mobile. « L'eau est premièrement attirée par une pompe aspirante à la hauteur de vingt-quatre piés dans une bache ou coffre de bois, & est reprise par une ou plusieurs pompes successivement jusqu'en haut. Le mouvement est une tringle de bois qui fait agir tous les coffres par le moyen de deux bielles & d'une tringle de fer coudée qui y est attachée, & qui se rend par-dessous dans le coffre où est la plate-forme ; en haut c'est un rouet & une lanterne que font mouvoir deux chevaux attelés dans un manège »³.

Installées entre 1737 et 1738, ces pompes à compression fonctionnèrent jusqu'en 1740⁴, date à laquelle la Compagnie Danycan cessa son activité. Mais la disparition de Dupuy, en 1738, interdit le suivi de ses machines. Très certainement appelé par les exploitants, Gensanne -que Chocat de Grandmaison qualifie nommément d'« ingénieur »- prit le relai et travailla au perfectionnement de l'exhaure de 1738 à 1740. C'est un spécialiste de l'exploitation minière, un homme de métier. La bifurcation est immédiate :

¹ - Encyclopédie, ibid.

² - *Seule autre utilisation citée : le « dessèchement » en dix jours de temps par les bénédictins d'une pièce d'eau « de trois arpents d'étendue & de cinq piés de profondeur...au village de Cachans près Paris ». Dans un usage domestique, « le moindre effet que peut faire cette machine est d'être employé à faire jouer une pompe à bras, placée dans un puits pour l'usage d'un petit jardin ou d'une maison ; on mettra au bas du puits un coffre séparé en deux par une cloison, pour y loger deux plate-formes qui feront monter l'eau dans deux hottes, ou par une fourche elle se joindra au tuyau montant, d'où l'eau tombera dans une auge de pierre ou de plomb à l'usage de la maison ; les deux tringles correspondantes aux deux plates-formes seront mues par une manivelle à bras, dont le mouvement sera vertical au moyen d'un tourillon ; en haussant une pendant que l'autre descendra sans aucune interruption, elles jetteront de l'eau dans l'auge de pierre. »* Encyclopédie, ibid.

³ - Ibid.

⁴ - *Une lettre du 6 avril 1740, indique qu'un ancien garde-magasin de la mine était « chargé de la conduite et de l'entretien des machines de feu sieur Dupuy » (.R.CARSIN, op. cit., p. 102).*

l'amélioration des appareils prend un autre tour, celui plus discret du simple perfectionnement, mais un perfectionnement non dénué de renouvellement : prenant appui sur l'installation de Dupuy qu'il évite de remettre en cause, Gensanne l'adapte à ses habitudes et, pourrait-on dire, la normalise en lui retirant ce qui faisait son originalité à savoir les plates-formes mobiles¹. L'installation en avait été faite sur le puits Bicêtre d'une manière qui paraît, à la lecture de ce qu'en dit l'ingénieur des travaux publics, tout à fait rigoureuse : « ... à vingt-deux pieds de profondeur, une machine apellée première répétition..., machine en forme de soufflet, ou de pompes foulantes...A vingt-deux pieds plus bas, encore une machine appelée deuxième répétition... et à vingt deux autres pieds de profondeur, la même mécanique se trouve encore répétée une troisième fois. » Chocat donne au maître des requêtes ce qui lui appartient, tout en précisant le rôle joué par Gensanne : « il faut observer que ces trois machines sont placées dans de petites chambres ou galeries pratiquées dans le puisard, que ces machines sont appellées à compression et que, quoy qu'elles soient de l'invention de feu Monsieur Dupuy, maistre des Requestes, qui avoit entrepris ledit épuisement, elles ont été établies et ajustées dans leur perfection par le sieur Gensanne et n'agissent que par le moyen de son moteur »².

C'est sur le moteur -repreons l'expression de Chocat de Grandmaison- que s'est portée l'attention de Gensanne. De quoi se compose-t-il ? De « huit chevaux attelés à un manège de 36 pieds de diamètre (environ 11m50), sur lequel est monté un grand roüet de vingt-deux pieds de diamètre (7m) qui engraine et fait mouvoir une lanterne aussy de sept pieds (2m) de diamètre... » Gensanne a monté sur la lanterne un arbre de volée¹ complété à son extrémité de « cinq tourteaux qui portent alternativement chacun trois fuseaux, lesquels rencontrent successivement les aiguilles de quatre balanciers qu'ils font basculer pour former la levée des machines dont le jeu est d'environ neuf à dix pouces...Au bout de ces balanciers, sont suspendus quatre grand tirans de bois de chêne de quatre pouces en

¹ - Les modifications apportées par Gensanne à l'installation Dupuy sont parvenues jusqu'à nous par l'intermédiaire d'un procès-verbal rédigé à sa demande, et après accord de l'intendant, par l'ingénieur de la ville de Rennes Chocat de Grandmaison. Gensanne cherchait sans doute à éviter les difficultés que pouvait lui causer la fermeture imminente de l'exploitation. Le procès-verbal fut rédigé en présence de Peyrote, le directeur de la mine qui refusa de le signer, « n'ayant pas reçu d'ordre de sa compagnie. » La description que donne Chocat de Grandmaison est très précise et détaillée (A.D. Ille-et-Vilaine C 1479, donné en annexe par .R.CARSIN). La description de Lodin (op. cit.) est inexacte et incomplète, l'ingénieur n'ayant pas fait le départ entre les machines de Dupuy et les modifications faites par Gensanne.

² - L'interprétation du texte est problématique. Il est difficile de savoir si les pompes à compression ont été « établies » ou « établies dans leur perfectionnement » par l'ingénieur. La présence des « petites galeries ou chambres » destinées à les recevoir amène à choisir la seconde solution (Ibid.).

quarré qui descendent dans le puisard jusques au pres du fond... » La jonction avec les pompes à compression s'effectuait au moyen de « deux petits tirans de fer suspendus à des espèces de potences de même matière nommés pieds de chèvre, fortement attachées et cousües au grand tirant de bois... » Tout l'art de l'ingénieur, toute son attention s'est portée sur les problèmes de balance, de frottement et d'équilibrage des forces, problème difficile dans ce cadre particulier qu'est la conversion d'un mouvement de manège en mouvement de tirants. D'abord, il fallait assurer la continuité du mouvement : « à fin que ces ballanciers ne tombent pas par saccade au moment qu'ils échappent aux fuseaux, le sieur de Gensanne qui est l'auteur de ce moteur y a pratiqué, au bout des aiguilles des balanciers, des espèces de potences qui glissent doucement sous les fuseaux à mesure qu'ils échappent, lesquelles soulagent le mouvement et procurent aux balanciers en descendant une vitesse égalle à celle qu'ils ont eu en montant. » Puis il fallait répondre aux risques d'interruption que pouvaient provoquer l'usure rapide des pièces de bois frottant l'une sur l'autre. Pour cela, l'ingénieur mit au point un système de « petites semelles enchassées à my-bois... » entre fuseaux et aiguilles, de même qu'entre fuseaux et tourteaux « de manière qu'il n'y a que ces semelles qui puissent s'user et dez qu'elles le sont, il est facile de les tirer pour les remplacer par d'autres neuves ; il ne faut pour y parvenir que chasser la clef, ou cheville de fer, qui retient la semelle usée et ensuite la repasser dans celle qu'on y met à la place... »

Ainsi mues, « ces machines tirent l'eau à soixante deux pieds de profondeur (20m.) parce qu'il y a la hauteur des machines à rebattre sur leurs portées »². Gensanne dut adapter de nouvelles machines pour les étages inférieurs : « à cette profondeur, le puisard se trouvant trop endommagé pour pouvoir sans danger y pratiquer des chambres nécessaires à l'emplacement des machines à compression (rappelons que le puits était foncé dans des terrains fortement instables) le sieur de Gensanne chargé de l'épuisement après la mort de Monsieur Dupuy, y a suppléé par des machines apellées « machines d'aspiration ». Ces machines au nombre de deux sont placées dans le puisard même au dessous des machines à compression à qui elles fournissent l'eau ». Ces « quatrième » et « cinquième répétitions » se présentaient sous la forme de caissons en chêne, intérieurement revêtue de cuivre, divisées en deux compartiments rectangulaires de 9

¹ - Dimensions de l'arbre de volée : 21 pieds de long (presque 7m) sur 20 pouces d'équarrissage.

² - Difficilement toutefois, comme l'indique cette observation de l'ingénieur Abeille dans une lettre du 6 avril 1740 : « les liens cassent... » (R. CARSIN, op. cit., p. 52, n.21). Abeille était « inspecteur des Ponts et

pouces de large sur 30 de long (24 sur 80cm environ). Les pistons étaient « garnis de cuir, de la taille des compartiments rectangulaires (9 pouces de large sur 30 de long, soit 24 sur 80cm), conduits par des tiges en chênes, carrée de 4 pouces de côté (11cm environ), sur une course de 10 pouces (près de 30cm) ». Des clapets équipaient le fonds de chacun des corps de pompes et chacun des pistons ; les deux clapets de la partie supérieure des corps de pompe débouchaient chacun dans une branche de raccordement ayant la forme de « deux canons de culottes renversés » qui aboutissaient, trois pieds plus haut (un peu moins d'un mètre) à un tuyau unique en cuivre »¹. Ces deux nouvelles répétitions assuraient l'épuisement des profondeurs, la première élevant l'eau « depuis soixante deux pieds de profondeur jusqu'à quatre vingt dix » ; la deuxième, « depuis quatre vingt dix pieds jusqu'à cent dix huit pieds. » L'installation donna d'abord satisfaction : « le sieur de Gensanne nous a observé que cet équipage de machines avoit d'abord été fait pour faire l'épuisement entier, qu'en effet il avait desseché par ce seul agent une grande excavation qui se trouve vis à vis le puits de Bicêtre et qui a quarante à quarante cinq toises de long sur trente de large, et qui pouvoit avoir avant qu'elle fut en partie comblée (pour la remise en état du puits Allemand) trante cinq pieds à quarante pieds de profondeur... » puis se révéla sans délai insuffisante : « ...mais qu'étant parvenus vers les quarante cinq à cinquante pieds bas, le produit des sources avait considérablement augmenté au point que ce produit égalloit celui des machines, en sorte qu'il fut obligé de construire un second équipage de machine »².

Un nouvel investissement s'imposait, que nous évoquerons brièvement. Gensanne reprit le modèle développé au puits de Bicêtre, avec en première répétition « une machine à compression » destinée à élever l'eau « à environ dix-huit pieds au-dessus de la surface du dit puits » ; les quatre répétitions suivantes, faites de « machines d'aspiration » atteignaient le fond du puits « qui a quatre-vingt pieds de profondeur » ; le tuyau aspirant de la quatrième répétition rejoignait par le « puits Allemand Souterrain » une galerie qui communiquait avec le fond du puits de Bicêtre³ : Gensanne donnait ainsi à l'exploitation son premier système hydraulique. Un ensemble d'une efficacité toute relative : certes,

chaussées de Bretagne » et travailla aux projets de pompe après la mort de Dupuy, en 1739 et 1740, sans doute de concert avec Gensanne.

¹ - A.LODIN, op. cit.

² - A.D. Ille-et-Vilaine, C 1479.

³ - R.CARSIN, op.cit., p.85.

Chocat de Grandmaison constate dans son procès-verbal que le fonds des puits est à sec et que les machines pourraient aspirer un débit supérieur, qu'il évalue, pour chaque machine à 63 pouces d'eau, soit environ pour l'ensemble un peu moins de 150l/mn¹. Mais à quel prix ? Le puits choisi, foncé dans les terrains tertiaires, était « écroulé comme le reste des travaux »² ; il fallut le réparer à mesure que les eaux baissaient. Et comment installer le manège -et sa charpente « considérable »³- dans l'excavation ? « On fut obligé d'élever le puits à une certaine hauteur et de combler une partie de la dite excavation jusqu'à ce qu'on eut un terrain assez solide pour la construction dudit manège et moteur » L'exploitation atteignait lentement mais sûrement un point critique, cette profondeur de quarante mètres à partir de laquelle dans les mines françaises l'exhaure devenait plus périlleuse encore... L'installation ne pouvait que se révéler une nouvelle fois insuffisante. « Toutes ces machines et pompes... n'ont pu suffire à l'entier épuisement des eaux » écrivait laconiquement -et abruptement- l'intendant au Contrôleur Orry en mars 1741⁴, expliquant ainsi pourquoi la Compagnie avait pris la décision de se dissoudre⁵.

Quel bilan tirer de ces premiers essais en hydraulique ? Relevons un échec, celui de la filière moteur animé/pompe, inapte à répondre à la constance et l'importance des venues d'eau en raison de son insuffisance en débit et par son coût excessif d'installation et d'entretien⁶. Surtout, une telle filière n'était pas en mesure pour un coût élevé de proposer une réserve énergétique qui aurait permis aux exploitants de faire face à ce qu'il peut toujours advenir dans ce type d'exploitation souterraine à savoir une augmentation brutale, importante et définitive du débit des eaux intérieures⁷. Le seul remède -mais en était-ce un?- le seul palliatif résidait en l'occurrence dans l'augmentation des attelages : en 1740, 20 chevaux étaient nécessaires pour répondre aux besoins du puits de Bicêtre et du puits

¹ - A condition d'accepter l'évaluation qu'en donne R.Carsin, 215.000 litres pour les deux ensembles (R.CARSIN, op. cit., p.53, n.23).

² - Rapport Chocat de Grandmaison (ibid.).

³ - Ibid.

⁴ - R.CARSIN, op. cit., p.53, n.23.

⁵ - Première assemblée de dissolution le 28 septembre 1740, suivie d'une uŕtime le 8 mars 1740, selon A.LODIN, op. cit.

⁶ - Tableaux et graphiques, vol. 3, p. 92-93.

⁷ - D'après nos calculs, il fallait une force hydraulique capable d'assurer un débit régulier de 500 à 600 l/mn, ceci pour une profondeur de 40 mètres, 12 à 15l/mn/m. Une survenue brutale d'un débit de 1.000 l/mn, obligeait à doubler la puissance potentielle jusqu'à obtenir 25 à 30 l/mn/m...Au dix-neuvième siècle, le débit de venue d'eau à l'intérieur de la mine ne fut jamais inférieur à 5.000 à 6.000l/mn, pour une profondeur de 600 mètres.

Allemand¹. Ce manque de souplesse, ce défaut d'adaptation aux contingences minières, Chocat de Grandmaison, dans autre procès-verbal établi à l'intention de l'administration en tirait les conséquences en lieu et place de la Compagnie défailante, préconisant pour l'avenir « soit un système hydraulique utilisant les eaux de la Seiche, grossie d'autres sources et ruisseaux², pour que l'eau soit constante en été, soit une machine à feu comme en Flandres et en Angleterre, entretenue avec du charbon de terre angevin »³. Il fallait changer de filière technique -ce qui revenait à différer le profit- ou périr : la disparition de Danycan précipita la décision dans le sens de l'abandon.

2*) INNOVATION INNOVANTE : L'INADAPTATION.

Préconisée à Pont-Péan, la pompe à feu fut adoptée à Poullaouen. C'est là le type-même de cette innovation que nous qualifions d'« innovante » parce qu'elle autorise la poursuite du procès de production en le renouvelant de fond en comble. Coûteuse par définition, l'innovation innovante requiert pour la réussite de son implantation des conditions technico-économiques particulières, que ne résume par la seule nécessité. En l'occurrence, elle échoua. Tout comme échoua la tentative de mécanisation à outrance du traitement minéralurgique des minerais à Pont-Péan.

a) L'impossible machine à feu.

L'Etat, en la personne du Contrôleur général Orry pourrait bien avoir été à l'origine de l'initiative⁴. La motivation paraît aller de soi : l'eau manquait sur le site ; pourquoi ne pas utiliser pour l'épuisement de la mine ce moyen nouveau qu'était la machine à feu ? Le continent maîtrisait la technique. Les machines installées par les frères Mathieu dans le Hainaut faisaient quotidiennement leurs preuves. Depuis le début des années 1740 -comme l'indique le bilan établi par Chocat de Grandmaison- l'idée était dans l'air du temps ; déjà en 1743, la Compagnie des Mines de Basse-Bretagne avait entrepris des recherches de charbon de terre et sollicité l'autorisation d'ouvrir une mine, « anciennement exploitée mais abandonnée » au manoir de Cleuziou près de Quimper.

¹ - « Deux manèges de chacun 36 pieds agissant par la force de 10 chevaux attelés à chacun, qu'on relevoit de 4 heures en 4 heures » (R.CARSIN, op. cit., p.36,n.5).

² - Selon un plan qu'il propose et qui sera repris dans ses grandes lignes par Laurent, cf. infra.

³ - R.CARSIN, ibid. Procès-verbal de Janvier 1741, rapporté par l'intendant à Orry dans sa lettre du 12 mars 1741.

⁴ - A.-F. (BRULE-) GARÇON, « L'exemple des mines », in La Bretagne des savants et des ingénieurs, pp. 145-149.

L'affaire fut décidée en 1747. Christophe Mathieu vint en personne procéder à l'installation de la machine. Parallèlement, il dirigea les travaux de recherche sur le minuscule bassin houiller quimpérois¹. Montée avec tout le soin que l'on imagine, la machine fut prête à fonctionner en 1748. Mise en couple avec la roue hydraulique qu'avait fait précédemment installer la Compagnie, elle donna totale satisfaction. Mignot de Montigny en donne description : « on a pendant plusieurs années employé... une machine dont j'ai vu l'effet. Deux pompes foulantes et aspirantes mues par une roue à l'eau élèvent les eaux souterraines à quatre-vingt pieds au-dessus du puits qui les rassemble ; la machine à feu les reprend dans un réservoir et les élève à plus de cent pieds au-dessus. Un autre réservoir placé sur le bâtiment de la machine reçoit une partie de l'eau qu'elle élève et cette eau sert à rafraîchir le cylindre où sont reçues les vapeurs d'eaux chaudes dont l'élasticité produit le jeu des pistons »².

Lorsqu'il arrive sur l'exploitation, en 1752, pour parachever sa formation d'élève-ingénieur de l'Ecole des Ponts-et-Chaussées spécialisé dans les mines, Gabriel Jars voit la machine -c'est semble-t-il la première qu'il rencontre- et en établit un dessin que son frère publiera en 1774. A cette date, cependant -et cela se remarque sur la planche au fait que la machine n'est reliée à aucun appareil de pompage- la machine a cessé de fonctionner ; bientôt elle sera démontée³. Depuis 1749 déjà, Koenig travaillait à la mise en eau du site.

La technique fut abandonnée alors qu'elle semblait pleinement se justifier. Un rejet que motivent les exploitants : il reprochait à la machine de devenir « journallement trop dispendieuse soit par sa consommation immense de charbon de terre, soit à cause de l'approfondissement perpendiculaire que l'on était obligé de faire dans le même puits où elle était placée pour y attirer les eaux »⁴. On retrouve -nommément exprimé- ce qui constituait le défaut principal de la filière moteur animé, un coût de fonctionnement excessif. Mais ici les griefs s'accumulent. Le coût est jugé excessif parce que quotidien, ce que l'on ramène aisément à la dépense en charbon. Il est lié à un autre reproche, celui d'obliger à un fonçage perpendiculaire des puits. Jars aura-t-il reçu à Poullaouen sa

¹ - *La ville de Quimper est bâtie sur des terrains anthracifères jusqu'en 1751.*

² - *E.MONANGE*, op. cit., t.I, p.157.

³ - *Voir vol. 3, p. 83. Aura-t-elle été transportée et remontée sur l'exploitation de charbon de terre de Montrelais ? Mignot de Montigny fait état d'un projet d'installation d'une machine à feu sur cette mine en 1753 (BOURDE de la ROGERIE, op. cit., p. 249).*

⁴ - *E.MONANGE*, op. cit., t.I, p.80.

première leçon en la matière ? Il n'existait sur le site aucun puits perpendiculaire. La machine de Newcomen avait donc été installée sur un puits oblique¹. Les frottements qui en résultaient ne pouvaient qu'augmenter le travail des pompes, et rendre « immense » la dépenses en combustible. Du fait de son installation sur un site polymétallique, la machine à feu cumulait les désavantages : importance du coût de fonctionnement journalier comme dans la filière « moteur animé », obligation d'investir sans obtenir de résultats immédiats. Il y avait là de quoi faire reculer la Compagnie.

Peut-on s'essayer au calcul de ces coûts ? A commencer par ce calcul hypothétique des frais que pensaient pouvoir engager la Compagnie. Le compte est simple : l'achat est envisagé -selon les estimations qu'elle fournit dans sa demande en concession de la mine de houille de Quimper en 1747- à hauteur de 15.000 à 20.000 £t. Dans l'accord qu'elle passe avec Amette, receveur général des droits de la ville de Quimper et demandeur en concurrence de la mine de charbon de terre, la Compagnie se réservait « le droit de retirer annuellement de la mine 2.500 barriques de 500 livres au prix de 30 sols la barrique »². Cette réserve annuelle aura-t-elle constitué aux yeux des exploitants une évaluation, la dépense prévisible et envisagée de la future machine à feu ? A supposer que ce fût le cas, la dépense aurait été annuellement 3.750 £t. En 1743, le montant global des dépenses effectuées par le caissier de Poullaouen s'élevait à 64.000 £t, chiffre arrondi³. Dans ce cas, la dépense acceptée par la Compagnie aurait représenté aux alentours de 6% du total des dépenses soit l'équivalent en pourcentage de la dépense en bois, ce qui n'est pas négligeable.

La réalité fut différente. Il y eut tout d'abord le coût de l'installation. Celui que proposent les exploitants semble bien faible eu égard au 75.000 £t que coûta la mise en place de la machine de Fresne en 1732¹. Tablons pour une dépense d'installation qui tournerait aux alentours de 40 à 50.000 £t. Cela établi, qu'en fut-il de la consommation ? Dans ses *Voyages métallurgiques*, Gabriel Jars donne la consommation de la machine installée à la mine de Walker à Newcastle, machine qu'il place comme étant « la plus considérable du Nord de l'Angleterre et peut-être la plus grande qui ait été faite jusqu'à présent en Europe ». Dotée de quatre chaudières, « dont trois toujours en feu », elle élevait

¹ - Voir plan de la mine, vol. 3, p. 24.

² - A.D. Ille-et-Vilaine, C 1487.

³ - 64.231£t selon E.MONANGE, op. cit., t.I, p.166.

les eaux de 99 toises, (près de 400 mètres !) par trois répétitions de pompes, au rythme de 8 à 10 coups par minute, en consommant deux chaudrons et demi de Newcastle par vingt-quatre heures, ce qui représente, ramené à nos mesures un peu plus de 6 tonnes² -deux tonnes de charbon par chaudière. Ce chiffre rend plausible l'estimation théorique faite par les exploitants, 2.500 barriques de charbon représentant environ 600 tonnes par an³, soit 1,6 tonne par jour. Eu égard à la profondeur travaillée (proche de cent pieds) et à l'obliquité du puits qui devait au minimum doubler le travail à fournir par la machine, la consommation réelle aura pu avoisiner les deux tonnes. A 30 sols la barrique, prix donné pour le charbon de Quimper, cela aurait représenté, au bas mot, la valeur de 4.500 à 5.000 £t⁴. Mais il fallut alimenter la machine en charbon de Newcastle. Il en résultait un surcoût de 30 sols par barrique -droits d'entrée signalés par Savary- ce qui doublait le coût du fonctionnement. Avec 10.000 £t annuels, la consommation de charbon aura pu s'élever à 15% du total des dépenses, sans compter les frais de transport, et en oubliant le risque toujours possible d'une interruption de l'approvisionnement pour cause de guerre.

Pouvait-on remplacer le charbon de terre par du bois à brûler ? Oui, en théorie. Nous avons donc réalisé une autre estimation, en utilisant les indications fournies par Gabriel Jars à propos des machines à feu de Schemnitz⁵. Par 24 heures, il fallait fournir 2,5 à 3 mesures de bois en corde à la machine établie sur le puits Magdeleine pour qu'elle élève 25 à 28.000 pieds cubes d'eau de la profondeur de 50 mètres⁶. La corde hongroise équivalait à 130 pieds cube. Rapporté au volume de la corde bretonne (87 pieds cube), cela aurait donné à Poullaouen une consommation minimale d'environ 5 cordes par 24 heures, si ce n'est plus en raison des imperfections de l'installation comparée à celle de Schemnitz. En donnant à la corde de bois un prix de 3 livres 3 sols⁷, on arrive à une dépense annuelle avoisinant les 7.000 £t . Cette solution doublait donc le coût initial prévu et faisait courir à la Compagnie le risque d'un surhaussement rapide du bois -voire d'un manque- en raison

¹ - GRAR, op. cit., t.II, p.36.

² - G.JARS, op. cit., t.I, dixième mémoire, 1765/1774. Le chaudron de Newcastle représente 2,5 tonnes anglaises, la tonne anglaise valant 1,15 tonne française (G.JARS ; DUFRENOY, op. cit.).

³ - 2.500 barriques.

⁴ - L'épuisement ne pouvant s'interrompre, nous avons donc calculé sur une année complète : il aurait fallu 730 tonnes de charbon, soit 3.000 barriques environ.

⁵ - G.JARS, op. cit., t.II, quatrième mémoire, section III.

⁶ - 24 toises 3 pieds 1/3.

⁷ - En 1788, la valeur de la corde était de 9 sols 10 deniers. Mais la Compagnie se plaignait en ces années du triplement du prix du bois.

de la déforestation accélérée qui n'aurait pas manqué d'entraîner un tel accroissement de la consommation. Dans les conditions d'utilisation imposées par l'exploitation, l'usage de la machine à feu présente toutes les caractéristiques de l'impasse.

On objectera toutefois que les dépenses d'installation et de fonctionnement induites par l'hydraulique - l'équivalent de 12 à 15.000 £t dépensées chaque année - étaient supérieures à celles qu'entraînait l'emploi de la machine à feu. D'où vient que les exploitants aient préféré la filière étangs/canaux/roues ? Remarquons en premier lieu qu'en ce qui concerne l'hydraulique, les débours étaient globaux et non constants. Le calcul du coût annuel sur le moyen terme relève de notre fait. Il est purement théorique et rien ne prouve que les exploitants aient réfléchi en ces termes. Au contraire même, aurions-nous tendance à penser. La machine à feu par la constance et l'importance des débours quotidiens que provoquait son utilisation obligeait à une comptabilisation de l'énergie dans la durée, ce qui n'était pas le cas de l'hydraulique. Adopter la filière vapeur revenait à faire basculer les dépenses se rapportant à l'énergie du poste investissement -que l'on sait être cyclique dans sa compréhension, directement lié à l'idée que l'on se faisait du site- au poste fonctionnement -continuuel quant à lui : c'est toute la compréhension économique de l'entreprise qui s'en trouvait modifiée. Rompant avec le principe d'homogénéité, la machine à feu apparaissait comme un surcoût absolu : il était impossible à son propos d'employer les bras inoccupés lors des étiages ou des ennoiements comme c'était le cas pour la construction ou l'entretien des canaux. Par ailleurs, son usage impliquait un renforcement de la dépendance vis-à-vis de l'approvisionnement anglais pour le charbon certes, mais aussi pour le matériel lui-même. Il était difficile aux exploitants de se procurer en France de simples tuyaux en fonte alésée. Qu'en aurait-il été des indispensables cylindres ? Parlant des mines d'Anzin, Grar signale que « jusqu'en 1783, la Compagnie fut tributaire de l'Angleterre pour les cylindres, qui de 50 à 60 pouces de diamètre sur 12 pieds de hauteur, lui coûtaient chaque de 7 à 8.000 £t »¹. Enfin, la machine à feu n'autorisait pas un agencement général du site et ne pouvait aider en aucune façon au fonctionnement des fourneaux à manche et des fourneaux d'affinage. L'aménagement hydraulique s'imposait de toute manière pour le fonctionnement de ces ateliers.

Le coût était donc excessif. L'innovation se faisait par trop innovante, bouleversait par trop la structure d'accueil pour pouvoir être acceptée. De semblables raisons

conduisirent à l'abandon de la machine à feu qui avait été installée en 1732 sur l'exploitation de Dannemora en Suède, par un technicien suédois formé en Angleterre. Quoiqu'ayant donné satisfaction, la technique fut délaissée pour la double raison qu'elle coûtait trop cher à l'entretien et qu'elle remettait en question toute une économie de travail : « hundred of people depended for their dealy bread on the conventionnal method of draining the mines and raising the ore »². Sans aller jusqu'à de telles conséquences sociales, la déstabilisation du système de production s'avéra également rédhibitoire en Bretagne.

En fait, l'innovation innovante ne peut s'insérer dans un processus de production structuré et construit qu'en réponse à une situation de blocage elle-même déstructurante. Ou alors elle doit perdre son caractère innovant -révolutionnaire- et s'insérer à titre d'innovation créante, sans induire de ruptures brutales. Ce fut le cas de ces machines à feu installées à Schemnitz dont Gabriel Jars vante l'installation. Ces machines viennent en simple appoint d'une infrastructure hydraulique qui fournit l'essentiel de l'énergie motrice : « on ne s'en sert que dans le cas où les hydrauliques n'ont pas assez d'eau extérieure... ou bien lorsqu'il y a surabondance d'eau intérieure ». On arrive à cette conclusion, somme toute banale, mais désormais vérifiée pour le dix-huitième siècle, que l'acceptation d'une innovation quelle qu'elle soit ne peut se faire que dans le cadre de l'homogénéité technico-économique du complexe environnant. La situation de blocage et donc la rupture -nécessaire à l'acceptation de l'innovation innovante- se doivent d'être globales. Les différences structurelles entre les domaines techniques britanniques et continentaux étaient beaucoup trop importantes pour que l'introduction de la machine à feu y suive les mêmes chemins.

b) Minéro-métallurgie : les déboires d'un inventeur.

Plus généralement, le recours au spécialiste dans un pays où n'existe aucune tradition minière ou métallurgique d'envergure s'avère décevant, un parcours d'obstacle, semé d'embûches. Il y a là une insuffisance structurelle patente qui décuple le facteur de risque inhérent à tout entreprise et renforce considérablement les contraintes d'installation et de développement. Dans un pays demandeur et vide de tradition technique, le charlatanisme

¹ - « Déclaration des entrepreneurs en conséquence de l'arrêt de 1783 », GRAR, op. cit., t.II, p.219.

² - Svante LINDQUIST « The Impact of the Introduction of Steam Engine Technology in the Society of Denamora Mines. A case Study in Transfert of Technology », Tekniska Museet Symposia, 1977, pp. 61 - 70.

représente le risque majeur, qu'il s'agisse d'une escroquerie consciemment organisée ou plus simplement d'une technicité abusivement proclamée ou plus banalement inadéquate. Rapportant ce phénomène à l'économie du fait innovant, nous évoquerons deux exemples empruntés à l'histoire de Pont-Péan. Ils rappellent combien est fragile la position de l'entrepreneur lorsqu'en dehors de tout substrat, il manque de référents techniques.

On serait tenté d'expliquer les difficultés rencontrées par les exploitants par l'insuffisance initiale de l'investissement-argent. La compagnie Danycan -et c'est la pensée de l'ingénieur Lodin en 1911- ne pouvait-elle se mettre en charge d'un plus grand capital ? La société des mines de Bretagne et du Bourbonnais constituée le 28 novembre 1727 disposait d'un capital initial effectif de 60.000 £t, qui fut porté à 90.000 £t en mars 1730, après attribution de la concession¹. Mais, comme le suggère l'épisode Pâris-Duverney, rien ne plaide pour la réussite obligée d'un fort investissement initial. Mieux, doit-on réellement reprocher aux exploitants leur prudence à l'investissement ? Remarquons, par exemple qu'il n'y eut à Pont-Péan aucune dépense somptuaire comme cela put se faire dans d'autres endroits, dans le domaine pyrénéen par exemple. Il leur fallut en fait affronter en même temps tout ce qu'une telle entreprise comptait de difficultés techniques. Et pendant qu'ils se débattaient dans des problèmes croissants d'exhaure, ils devaient échapper à la charlatanerie de pseudo-métallurgistes dont le moins que l'on puisse dire est qu'ils se bousculèrent au portillon...

Exemplaire, à cet égard, l'épisode Canu. Lors de la réorganisation de la société en mars 1730 sur les trente sols destinés à constituer le capital de la Compagnie, deux sols « dispensés de tout versement » furent attribués au sieur Canu « qui prétendait avoir trouvé un secret pour convertir l'alquifoux en plomb ». C'était là, commente Lodin, l'équivalent de ce qu'on appelle aujourd'hui les actions d'apport, une pratique que l'on retrouve tout au long du siècle. En l'affaire, l'intéressement vint un peu rapidement -Canu s'était présenté comme « ingénieur des instruments de mathématique et maître-fondeur » - avant même que l'on vérifiât ses talents. « Pour contrôler la valeur du prétendu secret, on procéda le 24 décembre 1730, à une expérience solennelle dans le jardin de l'abbaye de Saint-Melaine,

¹ - Après avoir obtenu la concession par acte du 11 février 1730, la société se réorganisa en mars de la même année. Son capital se composait de 30 sols dont 23 1/2 actifs, c'est-à-dire soumis à appels de fonds (A.LODIN, op. cit.)

en présence du duc d'Estrée, commandant en chef de la province de Bretagne »¹. L'expérience donna de biens maigres résultats. Les 112 Lpt de minerai fondu dans le fourneau qui avait été construit spécialement à cet effet ne rendirent que 54 Lpt de plomb, soit 48% du minerai extrait. « Canu ne tarda pas à se retirer de la société, sans que l'on puisse savoir s'il le fit en conservant ses actions d'appoints »². La crédulité des exploitants, pour ne pas dire leur naïveté, est évidente mais de quelles recommandations était muni Canu ? Le bref passage sur l'exploitation de Sutterre, « essayeur », envoyé par le duc de Bourbon se révéla aussi peu concluant³.

L'affaire Loriot relève d'une logique inverse, celle de l'excès innovant. « Mécanicien et pensionnaire du Roy » Loriot s'était acquis une belle réputation à Versailles, pour avoir « machiné » avec ingéniosité le service des petits soupers du roi⁴. Lodin, qui s'est longuement attaché à décrire les multiples tentatives minéralurgiques du mécanicien, brosse le portrait d'un homme ingénieux, mais d'un caractère tranchant et difficile⁵. L'arrivée du mécanicien sur le site, en 1755, se traduit par un succès remarqué, la mise au point d'une « machine à laver » le minerai qui réduisait considérablement le personnel puisque son emploi fit passer le nombre des laveurs de 89 à 4, celui des cribleurs de 91 à 30 et celui des manoeuvres pour le transport de 108 à 24. Le personnel de l'atelier se trouva réduit à une soixantaine de personnes contre trois cents auparavant.

La réussite du mécanicien tint au parti qu'il sut tirer des particularités physiques du minerai. Inclus dans la diorite décomposée, mis en contact avec les terrains tertiaires, celui-ci se présentait en effet sous une forme très argileuse. « Son traitement au crible sans débouillage préalable -ce qui était le cas avant l'intervention de Loriot- devait donner des résultats désastreux » précise Lodin, tandis que « la séparation de l'argile le rendait au contraire facile à traiter »⁶. Le « mécanicien » mit au point un appareil ingénieux, proche

¹ - R.CARSIN, op. cit., pp.71-73.

² - A.LODIN, op. cit..

³ - R.CARSIN, op. cit., p.102.

⁴ - *Les tentatives de mécanisation faites par Loriot entre dans ce cadre de ce « mythe de l'homme artificiel » analysé par B. Jacomy à propos de Vaucanson (B. JACOMY, Une histoire des techniques, pp. 239-250). Antoine-Joseph Loriot était ébéniste de son état. « Il inventa une table de vingt-quatre couverts qui se déployait par gradations depuis huit couverts, de quatre en quatre. Il exposa au Louvre, en 1769, une des tables volantes du Trianon qui surgissaient du parquet toutes servies. Il trouva un moyen de fixer le pastel » (Grand Dictionnaire encyclopédique Larousse).*

⁵ - *Il eut un différend avec La Tour sur la question des pastels. La réconciliation intervenue, le peintre réalisa son portrait (A.LODIN, op. cit.). Loriot disposait d'un logement dans les galeries du Louvre.*

⁶ - A.LODIN, op.cit.

dans sa conception de ce que sera au dix-neuvième siècle le « trommel débourbeur »¹. Cette « machine à laver » s'inspirait peut-être de ces « barattes à limaille » qui permettaient de polir les petits objets métalliques². Le principe était d'associer débourbage et triage en faisant passer le minerai dans un tonneau ouvert en ses extrémités, actionné par un mouvement circulaire inverse du mouvement du minerai et traversé par un fort courant d'eau. Pour ce faire, l'engin était réalisé avec des « douves de chênes cerclées » ; il était « doublé à l'intérieur d'une tôle sur laquelle faisaient saillie d'abord des clous à grosse tête, puis de spirales saillantes dirigées à contresens de la révolution du tonneau. Dans la paroi, étaient ménagées un certain nombre d'ouvertures distribuées suivant l'exigence des révolutions spirales »³. Après un premier criblage « sur une grille en forme d'éventail », le minerai était introduit dans le tonneau par la grande base tandis que l'on faisait passer par l'autre extrémité un fort courant d'eau. Pris dans les nervures hélicoïdales sous le double effet du mouvement de rotation du tonneau, il remontait vers la petite base, à contre-courant, tout en faisant d'un débourbage énergique. Ainsi lavé, le minerai tombait perpendiculairement avec les eaux dans des cellules pratiquées sous le tonneau.

Pour récompense, Lorient reçut une gratification de 2.000 £t. Avec l'accord tacite des exploitants, il tenta alors de mécaniser complètement l'atelier de préparation mécanique. Pour supprimer le cassage à main, il réalisa en décembre 1758, une machine tenant du martinet et du bocard, qui se composait de trente-six à quarante marteaux disposés selon le rayon d'une circonférence, montés sur des couteaux en fer qui leur permettaient d'osciller. Au centre de la circonférence, un arbre vertical portait un plateau en fer sur lequel faisait saillie trois coins en bronze. Par l'effet de la rotation de l'arbre, les coins soulevaient les marteaux et les laissaient retomber. Les têtes des marteaux venaient frapper le fond d'une rigole circulaire où le minerai était chargé et où passait un courant d'eau assez rapide pour entraîner les matières fines⁴.

¹ - Description faite par A.LODIN selon un mémoire de Lorient, daté de 1760. Le risque d'une ré-interprétation de l'appareillage n'est donc pas négligeable. Le trommel-débourbeur est un cylindre incliné en tôle présentant des perforations à taille croissante et mu sur son axe par un moteur. Le minerai est introduit dans la partie supérieure. Le classement s'effectue à mesure qu'il avance dans le cylindre. Chaque grosseur de minerai tombe dans le compartiment approprié d'une caisse placée au-dessous de l'engin. Le trommel débourbe lorsque de l'eau est injectée avec le minerai.

² - L'appareil fut décrit par Pierre François lors d'un séminaire d'Histoire des Mines et de la métallurgie.

³ - Lodin, op.cit.

⁴ - Ibid.

Au bocard, Lorient essaya de « régulariser l'usure des diverses parties ». Pour le classement des produits, il substitua à l'ancien labyrinthe, un canal en forme d'escargot¹, totalement immergé dans un bassin d'eau pure transversalement divisé par des cloisons qui n'atteignaient pas le fond. L'eau, chargée de sables et de schlamms, passait en circulant de l'intérieur vers l'extérieur. Une autre invention, destinée sans doute à remplacer le travail aux tables, consistait en un tube incliné. L'eau arrivait par le bas avec un fort courant tandis que les matières à traiter étaient introduites par le haut. De chaque côté du tube, des canaux latéraux formaient des « ramifications à angles égaux qui avaient leur direction vers le bas »². Ces branchements latéraux permettaient le classement des matières « par équivalence de chute, suivant la profondeur à laquelle s'ouvraient leurs orifices sur le tube principal »³. A l'extraction, Lorient proposa de substituer aux chaînes ordinaires, une chaîne sans fin. Enfin, il entreprit de mieux ventiler la fonderie, et de modifier la conduite des fourneaux à réverbère.

L'homme fut donc un inventeur prolifique. Mais en réformant ou en renouvelant tout ou presque de ce qui constituait l'outil et les habitudes de travail des diverses équipes de travail, il fut aussi un innovateur gênant⁴. Quelques-unes des machines proposées ont pu apparaître comme des réussites, la machine à laver le minerai, la chaîne sans fin et peut-être le labyrinthe en escargot. Mais peut-on parler réellement d'innovations, c'est-à-dire d'une banalisation à long terme de ces nouveautés au sein du procès de production ? Les interventions constantes du mécanicien, ses remaniements incessants gênaient le fonctionnement des ateliers. Les incidents multiples rendaient précaire la régularité indispensable au bon déroulement des travaux. La casserie se dérangeait continûment, le bocard ne parvenait pas à fonctionner régulièrement. Sans arrêt Lorient intervenait ici ou là, cherchant à améliorer et à modifier l'une ou l'autre des machines. En 1759, soit quatre années après le début de cette mécanisation pour le moins volontariste, la préparation mécanique n'avait pas encore trouvé son rythme de fonctionnement. Les résultats obtenus étaient inférieurs en qualité à ce que donnait les méthodes traditionnelles ; jamais par exemple, la machine à classement par eau ne put atteindre la précision du traditionnel travail aux tables. A ces facteurs objectifs de l'augmentation des dépenses, s'ajouta la

¹ - Cette conception se retrouva au dix-neuvième siècle, sous le nom de « bac d'Engis » (ibid.)

² - Les propos sont de Lorient.

³ - Idem.

⁴ - L'acculturation est indispensable au processus de mécanisation...

grogne ouvrière, aussi celle des contremaîtres et des directeurs, les uns et les autres étant continuellement dérangés dans leur travail. Il n'est jusqu'à Laurent que le caractère de Loriot excéda¹.

D'inconvénients en déboires, les exploitants se lassèrent... lentement cependant puisque, pendant ces quatre années, ils laissèrent le mécanicien mener à peu près librement ses expérimentations. Progressivement, les tracasseries s'accumulèrent-on lui fournissait les ouvriers mais pas la matière première ou l'inverse ou les deux mais au compte-goutte et si bien que le mécanicien finit par quitter l'exploitation à la fin de Janvier 1760, pour le plus grand soulagement de tous². Privées de leur inventeur, les machines furent placées dans un hangar puis oubliées. En 1779, désireuse d'utiliser le hangar pour y installer un nouveau bocard, la Compagnie des Mines de Basse-Bretagne demanda et obtint de l'intendance permission d'enlever les débris restant³ ; ils furent jetés à la ferraille.

B) INNOVATION COURANTE, UNE INNOVATION DU QUOTIDIEN.

Qu'est-ce que l'innovation courante ? La sommation -c'est volontairement que nous employons un terme théoriquement réservé aux mathématiques ou à la physiologie⁴ - c'est à dire la somme accumulée des améliorations micro-techniques au moyen desquelles l'entreprise enrichit son capital technique et en accroît les performances. Une constante d'accumulation technique en quelque sorte qui lui permet au minimum de se maintenir sur ses propres résultats et dans le meilleur des cas, de progresser.

1°) LA NECESSITE DE L'INCREMENT.

L'innovation au sein de l'entreprise minéro-métallurgique au dix-huitième siècle intervient plus à titre de maintien que de progression. La sommation ne se traduit qu'incomplètement en termes d'accumulation parce qu'il lui manque deux des principales conditions, l'une, stimulus, le marché, l'autre, catalyseur, la science. L'innovation pré-

¹ - Le salaire était fonction des résultats, particulièrement à la laverie.

² - Non sans tenter un procès à la Compagnie.

³ - Permission accordée le 25 juillet 1779 Un procès courait encore entre les Danycan et les héritiers Duverney.

⁴ - Au sens mathématique, la sommation représente la « somme des termes d'une série » ; adapté à la physiologie, ce terme traduit « l'effet produit par l'addition de plusieurs stimulations ou d'une même stimulation répétée à brefs intervalles qui, isolément, seraient inefficaces » (ROBERT). C'est là ce que nous voulons exprimer par l'utilisation de ce terme, à savoir, la somme des termes d'une série innovante et l'effet qu'elle produit tant au niveau macro- que micro-technique.

industrielle pourrait bien se définir comme une innovation pré-concurrentielle. C'est de toute évidence une innovation pré-technologique.

a) L'indispensable accumulation technique.

L'innovation courante est l'innovation du petit, celle qui par ses interventions multiples, constantes -et cohérentes- maintient dans son équilibre le procès de production. Elle appartient au monde de l'incrément. Elle est faite d'adaptation aux difficultés rencontrées sur le terrain, d'ingéniosité répétée. La lecture du tableau présentant l'innovation au Huelgoat-Poullaouen¹, fait ressortir la permanence des remises en question. Mais cette permanence n'est pas linéaire. Le mouvement innovant s'effectue par « poussées », même si celles-ci ne se signalent pas par leurs brutalités. Il est des moments forts, qui correspondent à l'arrivée sur le terrain d'un spécialiste, technicien de haut vol, embauché précisément par ce qu'il a été jugé capable d'engager l'entreprise dans une phase de « déblocage » par l'apport de techniques jusque là ignorées des exploitants. Jamais, ce mouvement ne déséquilibre le fonctionnement de l'entreprise. Il y a soit succès -c'est-à-dire intégration dans l'équilibre globalement atteint que l'innovation contribue soit à rétablir, soit à renforcer- soit échec qui prend la forme d'un rejet total ou momentané.

Autre constatation : les domaines d'intervention sont peu nombreux. Ils constituent autant de « noeuds techniques » générateurs de l'équilibre technico-économique de l'entreprise. C'est là un point d'étude capital dans l'histoire micro-technique car ces « noeuds » se modifient en fonction de l'époque, en fonction de l'avancée -ou de la stagnation (de la dématuration ?) technique. De ces moments innovants, l'on repère, pour l'époque qui nous occupe, du côté des travaux miniers, le mode d'abattage et d'extraction ; du côté du traitement métallurgique, la forme des fourneaux, le travail de recherche sur les charges, les essais pour traiter plus de matières, en qualité et en différence. Plus sourde, plus lente dans sa mise en oeuvre, plus difficile à saisir aussi, l'évolution aux ateliers minéralurgiques n'en aboutit pas moins à une refonte complète des ateliers qui se traduit, à la laverie par exemple, par la rationalisation et l'intégration des diverses techniques successivement mises en place. L'innovation courante ne révolutionne pas, mais elle peut se faire créante. Dans ce cas, la remise en question du procès de production de même que la modification conjointe du comportement des techniciens et entrepreneurs s'établit avec lenteur.

b) L'innovation courante en ses formes.

Indubitablement les grandes époques de transformation, de rénovation du site furent les années 1749-1752 et 1781-1783. Les deux époques se ressemblent comme se ressemblent leurs initiateurs ; on y rencontre la même volonté de rationalisation des travaux intérieurs ; l'introduction de nouvelles techniques minéralurgiques et métallurgiques. On y rencontre également un comportement constant, signe de la qualité des techniciens : ni Koenig, ni Brolleman ne détruisent la manière antérieure de procéder ; l'un comme l'autre agissent par accumulation, s'adaptant à la manière déjà en place et la modifiant de ce qu'ils savent en plus ; l'un et l'autre sachant intégrer leur savoir-faire dans les structures techniques déterminées par le savoir-faire antérieur.

1) Four à réverbère : la mise au point du « procédé breton ».

La première innovation, la plus importante aussi, fut sans conteste l'introduction du four à réverbère. Trois réflexions peuvent être faites à cet égard :

1°) La technique de réverbération n'était pas nouvelle ; comme le rappellent les savoyards, lorsqu'ils cherchent à se débarrasser d'une Compagnie anglaise devenue trop encombrante : « depuis un temps immémorial, l'Arsenal de Turin utilisait les fourneaux à réverbères pour jeter les canons... laquelle méthode tous les fondeurs ont suivi dans les grands jets depuis Salomon... » Plusieurs fondeurs, affirme le Directeur du laboratoire de Métallurgie en 1757 « certifions avoir toujours fait et vu faire usage de tels fours depuis...60 ans ». Pour l'affinage du cuivre, « la réverbération n'est pas propre aux Anglais, on la pratiquait en Saxe, en Hongrie, dans le Harz depuis des siècles »¹. Il y a quelques exagérations dans le propos, mais l'on sait par la distinction qu'établit Jars entre réverbération à l'Anglaise et réverbération à l'Allemande, qu'il correspond à une réalité. Mais la réverbération à l'Allemande servait principalement à l'affinage du plomb d'oeuvre, voire au traitement des crasses. Les Anglais furent les premiers à l'appliquer à la fonte directe des minerais crus. Dès son introduction sur le territoire français, le procédé séduisit les entrepreneurs par ses qualités d'économie et sa relative simplicité d'emploi. Le savoir-faire des métallurgistes anglais n'était pas facilement reproductible, cependant. La situation de proximité par rapport au centre initial d'innovation ne pouvait qu'aider à l'implantation en terre bretonne.

¹ - Vol. 3, p.81.

2°) Fait essentiel, la technique s'adapta sur un terrain vierge, c'est-à-dire malléable. Non sans qu'interviennent hasard et paradoxe : l'absence d'eau fit que l'on ne pouvait songer d'emblée aux fourneaux allemands ; l'absence de charbon de terre obligea à travailler au bois à brûler. Or les minerais de Poullaouen contiennent théoriquement trop de silice pour donner de bons résultats dans un fourneau de réverbère chauffé à la houille². Le procédé breton a donné de bons résultats parce que la fonte du minerai s'effectuait avec la lenteur et la basse température relative imposées par la chauffe au bois.

3°) Il dut exister autant de type de fourneaux à réverbère que de sites. Pour être identique dans son esprit, le fourneau représenté par Robien diffère largement de celui dessiné par G. Jars à Poullaouen. Le fourneau de Pont-Péan apparaît beaucoup plus grand³, le sol plus vaste, le pont de chauffe plus large ; la voûte est droite, la chauffe est placée en retrait par rapport au corps du fourneau et semble totalement distincte de lui ; le fourneau présente quatre portes de travail, son bassin de réception n'est pas à demi enterré ; les « armures » en fer sont moins importantes. Ce modèle se rapproche de celui utilisé par les Anglais pour la fonte de seconde fusion. Tout dépendait, en fait, de la qualité du minerai. Le minerai de Pont-Péan, plus riche en plomb, plus argileux pourrait bien avoir été apte à supporter des chauffes plus rapides et plus fortes. A moins que la grandeur de la sole ait aidé à la fonte par un meilleur étalement du minerai... Quoiqu'il en soit, c'étaient là d'autres conditions de fonte. Il en ira de même à Pontgibaud, où la qualité de minerai imposera non le procédé par grillage à réaction mais la méthode par précipitation : l'usage du four à réverbère se limitera -mais l'expression est incorrecte par la restriction qu'elle suppose- au grillage du minerai.

En introduisant le procédé allemand Koenig respecta l'apport du procédé anglais. Brolleman en fit de même. Dans ce dernier cas, il convient de souligner la remarquable modération d'un ingénieur qui par ailleurs ne manquait ni de tempérament ni de fougue⁴. Tous les ajustements auxquels il procéda s'inscrivirent dans la lignée technique de l'entreprise. Entre 1761 et 1762, par exemple, la Compagnie s'était préoccupée d'améliorer

¹ - M.MESTRALLET, op. cit., pp.44-45.

² - C.SCHNABEL, op. cit., pp. 277-279..

³ - Il est d'ailleurs qualifié de « grand fourneau à réverbère » (R.CARSIN, op. cit., pp.63ss.). *Reproduction in vol. 3, p.91.*

⁴ - *N'appelle-t-il pas les puits qu'il fait ouvrir lors du sauvetage de la mine de Poullaouen, le premier St-Sauveur, et le second, St-Georges qui est son prénom ?*

la qualité du plomb obtenu. Le plomb du Huelgoat qu'il fallait impérativement traiter puisqu'il était le plus riche en argent, se présentait comme « plomb aigre et cassant ; vendu seul, constatait la compagnie dans une correspondance du 30 juin 1761, même dominant dans les parties livrées, il serait capable de dégoutter les acheteurs ce qui discréditerait tous les plombs de nos mines. » En réponse, un maître-fondeur au nom prédestiné, Ignette, eut l'idée de mêler à la fonte les différents minerais, ce qui les rendait à la fois « plus aisés à fondre et plus doux. » Encore fallait-il trouver le bon rapport, la bonne proportion. En janvier 1762, la Compagnie arrêta « qu'il serait exécuté différentes expériences de la fonte de nos minéraux pour nous en tenir ensuite à l'usage qui mériterait la préférence. » Dès février, elle s'inquiétait des résultats : « nous attendons le succès des opérations qui doivent être faites à nos fours de réverbère pour rendre nos plombs plus faciles à la fonte et les réduire à deux seules qualités » ; il s'en fallut seulement de deux petites semaines : « dès que vous aurez reconnu par des essais répétés que le mélange des minéraux pour la fonte devait être de 2/3 et d'1/3, il faut continuer »¹.

Brolleman procéda à la réfection de la fonderie en tenant compte de cet acquis. Il reprit à son compte un modèle de fourneau double qu'avait imaginé en 1772 l'inspecteur des fontes Gérard, certainement l'un des meilleurs techniciens que connut le site. L'idée de Gérard avait été d'accoupler deux fourneaux à réverbère simples autour d'une cheminée commune et de placer le massif non plus au centre de la fonderie, mais en son pignon². L'ingénieur resta fidèle à cette conception tout en modifiant le fourneau en forme et en taille. Il transforma l'ensemble en un four octogonal, donna à la voûte une inclinaison régulière en direction de la cheminée, élargit nettement le pont de chauffe, ceci dans le but d'améliorer l'efficacité du réverbère en facilitant le passage de la flamme ; pour activer l'aspiration, il agrandit la cheminée, élargit la taille intérieure du conduit ; enfin fit placer en bas de cheminée, un orifice, sorte de cendrier destiné à améliorer le tirage en établissant un courant d'air. Plus simple en ses fondations, ce nouveau four pourrait avoir été « de construction moins onéreuse »³.

Il fit agrandir les fours à réverbère simples¹, ce qui l'amena à se détacher de la conception primitive du tirage et à placer la cheminée dans l'axe. Afin de diminuer les

¹ - E. MONANGE, op. cit., t.I, pp. 167-168.

² - E. MONANGE 1972 I : 166. Rreproduction in vol. 3, p. 82.

³ - E. MONANGE, op. cit., t.I, p.166, t. II, pp.74-77.

pertes de chaleur accrues par l'agrandissement du four, il reprit la technique anglaise de la trémie, mais la perfectionna en renforçant l'installation par de fortes solives elles-mêmes supportées par des piliers en maçonnerie. Le but de ces modifications ne fut pas un accroissement des charges. Brolleman ne pouvait remettre en question un point technique dont l'efficacité était évidente. De nouvelles charges auraient irrémédiablement provoqué la nécessité de nouvelles recherches d'équilibre entre les minerais de Poullaouen et du Huelgoat, partant un surcoût et un retard à produire certainement difficile à supporter. Par contre, il avait constaté que la charge passée aux anciens fours était excessive² par rapport à la capacité, ce qui se manifestait à la trop grande consommation de combustible et au moindre rendement de minerai. Classiquement l'innovation courante eut pour motivation une économie des coûts de revient.

2) Fours à manche : les essais de fonte au coke.

Avisés et soucieux de leurs intérêts, les exploitants ne se refusèrent aucune tentative, pas même celle d'utiliser le coke pour la fonte au fourneau à manche. Ils en recommandèrent expressément l'essai en janvier 1778 au nom de son pouvoir calorifique : « dans bien des entreprises et mines, on fit usage du cocq et avec cette matière, sans mélange de charbon de bois, on est dans l'usage de fondre 12 milliers dans les mêmes temps que vous mettez pour en fondre. » A défaut de coke, elle proposait dans le même courrier, de mêler « une petite quantité de charbon de terre avec du charbon de bois... » L'expérience fut tentée sans donner rien de plus qu'un « fourneau empâté » et « insuffisamment chauffé ». L'incompréhension s'installa entre la direction parisienne et les fondeurs : « vous en avez peut-être trop mis et peut-être n'en avez-vous pas assez mêlé avec le charbon de bois, car bien loin de refroidir le fourneau, ce charbon doit en augmenter considérablement la chaleur... La préparation pour former le cocq réduit le poids du charbon de terre à peu près de 1/2 et cette 1/2 d'après les épreuves réitérées qui en ont été faites devant les membres de l'Académie des Sciences, a tenu plus longtemps au fourneau, donné plus de chaleur et occasionné moins de déchets sur les fers que si la totalité du charbon eût été employée, sans être préparée... Pour le fourneau à manche, nous

¹ - 16*11*6 pieds pour le fourneau, 42 pieds en hauteur pour la cheminée.

² - E. MONANGE, op. cit., t.168, n.4. Ce sont ces fours que décrivent BEAUNIER et GALLOIS en l'an XII (vol.3, p.39).

avons déjà dit l'effet que le cocq produirait, ce qui fait une immense différence avec ce que nous faisons »¹.

L'injonction est ferme et précise : il faut expérimenter, progresser, innover...« On fait tous les jours de nouvelles découvertes, où il résulte de l'économie et de la perfection dans le travail. C'est à force de travail et de recherche que l'on parvient à l'un ou l'autre de ces buts. Partout on s'en occupe, il n'y a que chez nous où l'on suit toujours la même routine. » A Poullaouen, il fut décidé d'envoyer l'un des fondeurs en Angleterre : « nous avons mandé à MM. Beau la situation des charbons de terre qui nous reste. Ils nous marquèrent en réponse qu'un d'eux désirerait passer en Angleterre... Nous passerions aussi avec lui pour connaître la qualité du charbon qui nous est le plus propre pour le traitement de nos matières et connaître la manière dont les Anglais s'en servent pour la fonte du minéral qu'ils traitent. Si vous consentez que Pasquiou y passe avec M. Beau, vous aurez la bonté de nous le marquer. Il est content d'y aller »². Les évènements firent le reste : le conflit avec l'Angleterre d'abord, qui empêcha le voyage ; la disparition brutale du chevalier d'Arcy ensuite. De toute évidence, le chevalier -membre de l'Académie des Sciences- avait été impressionné par les résultats de l'expérience de fonte au coke conduite sous les yeux des académiciens.

L'échec n'est-il que fortuit ? Publié en 1774, le compte-rendu des recherches qu'avaient menées Jars une dizaine d'années auparavant est très modéré dans son propos. Les essais menés en grand à Chessy, portaient sur l'emploi du coke et du charbon de terre. L'ingénieur obtint de bons résultats, mais resta d'une extrême prudence, préconisant d'utiliser le « coak » pour la fonte du minerai et non des mattes, « car le cuivre est trop à crud, et conséquemment dans le cas d'être attaqué par l'acide sulphureux surtout si les coaks ne sont pas bien préparés comme cela arrive quelquefois par la négligence des ouvriers... » Il constata de plus l'endommagement du fourneau ; (« il s'est formé dans l'intérieur une cavité plus grande. »), inconvénient auquel il remédia en mêlant « à moitié du charbon de bois et du coak, méthode pratiquée avec succès depuis le 1er avril dernier »³. La réussite intervint dans un milieu technico-économique porteur, caractérisé par l'habitude du travail au charbon de terre, la nécessité de l'utiliser de la manière la plus

¹ - E.MONANGE, op. cit., t.I, pp.179-180.

² - Ibid.

³ - G.JARS, op. cit., t.I, quinzième mémoire, 1765/1774.

économique possible, et la présence à la tête de l'entreprise d'un expert capable de multiplier essais et expériences, de surveiller et de modifier le comportement de ces ouvriers... Cet environnement manquait à Poullaouen, n'en déplaise au chevalier d'Arcy.

L'amélioration s'effectua par le biais de l'innovation traditionnelle. En 1780, Duhamel remarque la vétusté des fourneaux à manche. Cette vétusté les rendait inappropriés à la fonte des terres argentifères du Huelgoat dont il venait de découvrir la richesse¹. D'un modèle ancien, critique-t-il, les fourneaux sont trop petits, ils ne peuvent recevoir que des charges modestes -200qx de matières diverses par semaine. « Toutes ces difficultés et inconvénients m'ont porté à conseiller, ainsi que je l'avais déjà fait en 1774, de traiter ces terres et celles de monnaie dans des fourneaux différents qui procurent plus de chaleur et ménagent le charbon, dès qu'il s'agit, comme dans le cas dont il est question de fondre ces matières réfractaires : j'ay proposé de faire construire un de ces fourneaux qu'en Allemagne on nomme « moyen »... Monsieur Brolleman, inspecteur des travaux de Poullaouen, connaissant parfaitement la construction de ces fourneaux sera en état d'en faire bâtir un... Je suis très persuadé que lorsqu'on se sera servi de ce fourneau et que l'on aura reconnu l'avantage qui en résultera, on en fera construire un autre pareil et on supprimera les anciens... » Brolleman s'exécuta dans le sens indiqué par l'ingénieur et fit construire « dans le premier bâtiment de la nouvelle fonderie non deux « haut-fourneaux à manche » comme l'indiquent maladroitement dans leur rapport de députation Peltier fils et Bonfils de Beauvoir², mais deux fourneaux moyens dont le bon fonctionnement donne raison à Duhamel³. D'un pouvoir calorimétrique supérieur aux anciens⁴, ces fourneaux permirent l'amélioration du traitement des matières réfractaires et tout particulièrement des cendres d'orfèvres dont les quantités traitées augmentèrent à partir de 1785⁵.

Brolleman fit refaire et agrandir les fourneaux de coupelle en leur donnant une dimension totale de 12 pieds soit près de 4m de longueur¹. L'augmentation de taille permit de doubler la capacité de traitement -120 quintaux de plomb d'oeuvre- tout en maintenant un rendement satisfaisant -40 à 70 marcs d'argent rendu. Enfin, parce qu'il cherchait à

¹ - E.MONANGE, op. cit., t.I, p. 176-177.

² - *Encore que cette dénomination pourrait bien marquer un premier rapprochement conceptuel entre les deux techniques. Serait-ce en raison des débuts de la fonte au coke ?*

³ - *Les fourneaux fonctionnent régulièrement à partir de 1783.*

⁴ - *Ce que cherchait à obtenir d'Arcy au moyen de la fonte au coke.*

⁵ - E.MONANGE, op. cit., t.I,p.178.

rendre plus régulier le courant d'air nécessaire aux fourneaux à manche et à l'affinage, Brolleman opta pour l'emploi de trompes², utilisées soit seules, (à l'affinage), soit conjointement avec des soufflets (aux fourneaux à manche)³. Ainsi, d'innovations en innovations, la fonderie se trouva totalement repensée, sans que jamais l'on s'éloigne de la filière technico-économique mise en place entre 1730 et 1750. La rationalisation fut à lente à s'établir, près de trente années. C'était là aussi manière de ne pas prendre à rebours les habitudes des fondeurs, fondement essentiel de la régularité productive.

3) Mine et minéralurgie : l'étiage.

Les diverses améliorations, innovations et tentatives que connurent les ateliers de préparation mécanique, les travaux miniers ou encore le matériel d'extraction, elles apparaissent comme mineures, moins éloquents dans leur mise en oeuvre, signe de techniques plus rigides. Plus qu'à la fonderie, le support technologique faisait défaut.

Koenig respecta la minéralurgie à l'anglaise, se contentant de l'enrichir de son savoir-faire. Aux laveries, les « caisses allemandes » qu'il fait installer, ces « tables à tombeau » pour prendre leur autre nom, présentaient par rapport aux classiques tables jumelles, l'avantage d'une superficie plus vaste ; on pouvait y laver le minerai plus rapidement. Le procédé requérait néanmoins un supplément de savoir-faire : lavant avec un courant d'eau plus fort que celui employé pour les tables jumelles, ces caisses ne pouvaient être utilisées sans risque de pertes que pour du minerai grossièrement pulvérisé. Elles complétèrent le travail du bocard et s'appliquèrent « au sable des bocards recueillis dans les réserves »⁴.

La modification importante intervint en 1770, avec l'installation du « moulin à cheider », qu'actionnait une petite roue de douze pieds de diamètre (un peu moins de quatre mètres). Il s'agissait -à en juger par la description qu'en donne Duhamel- d'un classique bocard à sec, avec huit pilons répartis en deux cases qui « donnent leurs coups sur le minéral mêlé de pierres que l'on jette sur une forte grille de fer... » Le minéral pilé passait par le barreau de la grille, puis était criblé « tout de suite par un crible ». Observateur impitoyable, Duhamel remarqua qu'il pilait trop fin, ce qui provoquait la perte « des parties les plus volatiles et les plus riches » Mais aux yeux de la Compagnie, le « moulin à

¹ - BEAUNIER et GALLOIS, « Exposé des opérations qui s'exécutent à la fonderie de Poullaouen », op. cit.

² - Ibid.

³ - E. MONANGE, op. cit., t.I, pp.170-171.

⁴ - GALLOIS et BEAUNIER, « Exposé de la préparation des minerais à Poullaouen », op. cit.

chaider » présentait l'avantage d'économiser le travail de plus de cinquante ouvriers. Lorsque Brolleman demanda sa suppression en 1780, au motif des pertes en argent, il se heurta à un refus et s'inclina.

A la mine, en dehors des deux grandes périodes de rationalisation qu'autorisa l'ouverture de nouveaux travaux, les tentatives de modification des formes de travail portèrent exclusivement sur les machines à molette, l'abattage à la poudre et le boisage des galeries.

Les tentatives pour améliorer le boisage s'avèrent relativement décevantes. En 1765, La Compagnie chercha à remplacer le bois de chêne par du bois de hêtre. Sans résultats car le hêtre n'avait aucune des qualités de résistance à l'humidité et de durabilité qu'offrait le chêne. En 1772, lorsqu'elle voulut remplacer les planches en arrière des étançons par des fagots, elle se heurta à un refus catégorique et dûment motivé : c'était là, répondirent les officiers, chose pratiquée certes, mais à titre provisoire. La technique avait été utilisée par les officiers du temps de Koenig, mais c'était pour des travaux secondaires, des tentatives, ou encore pour des mines de houille, tous travaux « qui ne sont pas restés longtemps debout ». De plus « ils n'ont pris ce party que parce que les bois y étaient fort rares » Appliquer cette technique à des travaux miniers de l'ampleur -et de l'humidité- de ceux du Huelgoat ou de Poullaouen aurait été dangereux et d'une économie pour le moins relative : « ici les bruyères et les genêts coûtent environ 3 à 4 £t le cent. Il faut la même quantité d'étançon et en outre des bois fendus pour retenir les bruyères et les genêts. Le tout reviendrait presque autant que les planches et si on y ajoute les fréquentes réparations, on trouvera qu'on a meilleur marché d'employer des planches »¹.

Les premiers travaux à la poudre intervinrent aux alentours des années 1743 si l'on en croit Mignot de Montigny dans son rapport. C'était au fond du puits de la Découverte à Poullaouen, dans les travaux de la Nouvelle-Mine. Comment la technique évolua-t-elle ? Les précisions manquent sur ce sujet. Faut-il suivre Duhamel lorsqu'il indique qu'en 1781 la Compagnie avait adopté le principe de la cartouche en lieu et place du bourroir ? La cartouche préparée à l'avance dans du papier huilée, portée en ceinture par les mineurs présentait l'avantage d'être protégée de l'humidité ; son usage représentait un gain de temps et d'efficacité. Mais fut-il généralisé ? Lorsqu'il présente les travaux miniers du Huelgoat

¹ - E. MONANGE, op. cit., t.I, pp.147-149.

en 1827, l'élève-ingénieur Coste ne mentionne que les bourroirs. L'épinglette, qui permettait d'enfoncer la mèche dans la charge, fut longtemps en fer. L'outil était dangereux : qu'un geste maladroit survienne, un choc contre la pierre, et c'était avec l'étincelle, l'explosion prématurée de la poudre. L'extrême humidité des travaux souterrains permettait aux mineurs de composer avec ce risque. Du moins jusqu'à cette année 1786, où une explosion entraîna « la mort d'un pauvre mineur. » La réaction de la Compagnie fut des plus vives. « Pour parer ce danger, MM. les députés ont ordonné en 1774 l'usage de l'épinglette en cuivre » La force de répulsion avait été la plus forte : « on assura dans le temps que l'essai n'avait pas réussi et que ces épinglettes cassaient presque toutes ou se tortillaient lorsqu'il était question de les retirer du trou... » L'ordre revint : « Nous désirons que Monsieur Brolleman fit un nouvel essai et qu'il n'employât à cet effet que du cuivre de la meilleure qualité qui ne soit ni trop dur ni trop cassant... » La Hongrie -s'agit-il de Schemnitz ?- fit référence : « on nous assure qu'en Hongrie, l'empereur a absolument interdit les épinglettes de fer et ordonné que le bourroir serait en bois ainsi que la masse. Nous pensons que ces différents objets pourraient s'exécuter chez nous et nous parviendrons à éviter alors une grande partie des dangers auxquels les malheureux mineurs sont exposés ».

L'essentiel de l'innovation concerna les appareils d'extraction. La machine la plus puissante dont disposait la Compagnie était installée au puits supérieur du Huelgoat. C'était une machine à molettes de type classique. Roëttiers la décrit en 1786, « composée d'un tambour, d'un arbre auquel est adapté deux ou quatre bras de leviers pour attacher les chevaux et d'un câble roulé sur le tambour dont les deux extrémités viennent tomber dans le puits au moyen de deux poulies placées perpendiculairement au-dessus. A ces deux extrémités de câbles sont attachés deux bassicots qui remontent et descendent alternativement»¹ Sa capacité d'extraction, ramenée aux normes actuelles, tournait autour des trente tonnes par vingt-quatre heures remontées d'une profondeur de 200m, ce qui représentait une cinquantaine d'allers et retours de bassicot.

L'amélioration essentielle -oeuvre des années 1750- fut le remplacement du tambour cylindrique par un tambour tronconique ; le câble ne s'enroulait pas à la même vitesse, ce qui permettait de desservir deux galeries de niveaux différents. Pour ses travaux de recherche, la Compagnie prit l'habitude d'utiliser des machines à molettes démontables. Il

s'en trouvait une à Kerlast en 1782, qui fut peut-être employée à l'exhaure. En 1788, pour les « tentatives et galeries d'écoulement », la Compagnie recommanda expressément un modèle qui était en usage à la mine de charbon de Montrelais : « nous vous envoyons une petite machine à molettes construite à Montrelais... » Ces machines se transportaient facilement ; elles se mettaient en mouvement d'un seul cheval. Leur efficacité était certaine puisqu'elles pouvaient enlever les attrails à 200 pieds de profondeur (environ 65m.). Peu dispendieuses, elles permettaient de faire travailler les chevaux l'été -les travaux de Poullaouen étaient ennoyés toute la belle saison. Bref, elles apparaissaient comme des engins faciles d'emploi et de bonne rentabilité. L'envoi prend la forme d'un clonage technique, d'une reproduction à l'identique : « vous pourrez faire construire plusieurs de ces machines... 3 à Pöullaouen, 2 au Huelgoat... » Le coût en était fixé : « la construction ne doit pas dépasser 800 Lt puisque celle de Montrelais ne coûte pas ce prix ». L'emploi des manèges à chevaux n'interdisait pas l'usage de la force humaine, bien au contraire : en dehors des grands puits d'extraction, les « tournicoteurs » se chargeaient, au moyen de leur « tournicot » de la sortie du minerai, du déplacement des remblais et très certainement de celui des attrails. Ils étaient 21 en 1781 à assurer ce service². C'était là parfaite banalité sur un site minier. Plus étonnante, la décision de Brolleman de remplacer aux manèges les chevaux par des hommes, cinq ou six hommes, au motif que les achats de chevaux entraînaient des « dépenses exorbitantes ». Les travaux de réfection de la mine de Poullaouen étaient fort dispendieux. Il n'est pas impossible qu'avec cette recherche d'économie, le nouveau directeur ait cherché à prouver ses qualités de gestionnaire à une Compagnie qui venait de l'embaucher.

c) Peut-on chiffrer les résultats ?

On aimerait juger concrètement de cette qualité de gestionnaire, quelle fût celle d'un Koenig, d'un Brolleman ; on aimerait mesurer ce qu'a rapporté en éventuel dynamisme cette accumulation d'innovations et de modifications dans le détail technique, connaître et envisager dans le concret de la mesure ce qu'elles ont apporté d'effectif à la conduite de l'entreprise. En ce qui concerne le rendement global, l'on n'enregistre aucune augmentation sur la longue durée, ni pour l'argent, ni pour le plomb ; pour l'argent, le nombre de marcs produits ramené au nombre d'ouvriers oscille entre 5 et 7,5. Les poussées productives sont

¹ - E.MONANGE, op. cit., t.I, p. 151-152.

² - Rapport Duhamel, 1781.

cycliques, ce dont témoigne une droite qui fluctue autour de l'axe des moyennes sans se relever, confirmant que du point de vue du capital technique, l'entreprise minière n'est pas encore entrée dans une phase d'accumulation. Il en va de même pour la production du plomb dont la quantité produite par ouvrier oscille entre 0t52 et 1t08, sans réellement afficher d'envol. La valeur produite par ouvrier, qui, en l'absence de positivité technique à long terme pourrait être ce facteur d'accroissement cumulatif que l'on recherche, tourne sur toute la période -c'est-à-dire de 1761 à 1791- autour des 600 à 650 £t. Seules les années 1761 et 1791 se démarquent de l'ensemble en présentant une valeur proche des 1.000 £t. Une différenciation difficile à interpréter pour ce qui est de l'année 1761. En fin de période, il se pourrait bien que ce soit la traduction de l'envol des marchés.

Cette appréciation d'ensemble étant posée, y eut-il augmentation, accroissement sectoriel de la capacité productive ? En ce qui concerne l'extraction, nous n'avons trouvé aucun chiffre susceptible de nous l'apprendre. Inutile en effet de ramener globalement le chiffre d'extraction du minerai au nombre d'ouvriers : nous ne ferions qu'enregistrer la fluctuation du personnel de surface, tout particulièrement de ces grandes périodes d'embauche que furent les grands travaux d'assèchement des travaux miniers et d'équipement hydraulique, et les chiffres manquent pour une réelle représentativité des moyennes décennales. Nous n'avons au total, qu'une indication toute qualitative, résultat d'un coup de colère, celui des officiers piqués au vif par le reproche que leur adressa la direction en 1772 d'avoir « dégénéré des Anciens ». La réponse fut prompte, toute de dignité, celle d'hommes de l'art sûrs de leur fait : « En 52, 51, 53, M. Koenig faisait approfondir le puits allemand que nous approfondissons aujourd'hui. Il avait alors été poussé à 150 pieds qui est la profondeur où nous l'avons repris. On n'avait jamais approfondi ce puits que de 4 à 6 pieds par mois et jamais on n'avait été au-delà de 6 pieds (un peu moins de 2m) ». Volontairement la comparaison est prise sur le même puits, et les chiffres se présentent en toute précision : « il est à observer que les mineurs se changeaient toutes les six heures, ce qui faisait 12 mineurs et 6 tournicoteurs par 24h. Aujourd'hui que nous sommes à 260 pieds (c.85m) dans ce puits, nous y faisons actuellement 5 pieds et nous en avons 6 et jusqu'à 7. Nous n'occupons que 4 mineurs et 4 tournicoteurs pour tirer de 260 pieds, terme auquel on n'a jamais tiré par un seul puits »¹. Les officiers taisent une évolution possible de la nature du substrat : était-il plus ou moins facile à travailler ? Il est

¹ - E.MONANGE, op. cit., t.I, p.146.

difficile, dans ces conditions, de juger, d'une augmentation structurelle -et non conjoncturelle, résultat d'une facilitation de terrain- de la productivité ouvrière...

Il en va de même pour le travail en surface. Les chiffres manquent pour l'établissement des rapports matières premières/produit, combustible/produit qui l'un et l'autre devrait contribuer à définir non plus la productivité ouvrière mais la productivité technique. Nous ne disposons à ce propos que d'informations fortuites et éparées, hétérogènes de surcroît difficilement comparables. Au début des années 1750, la fonte de 22.000 Lpt de minerai par semaine (220 qx) réclamait 15 à 16 cordes de bois -soit 1.300 à 1.400 pieds cubes- deux barriques de charbon de terre et une demie barrique de chaux. Dans la décennie 1770-1780, le traitement de 2.60 quintaux demandait théoriquement 17 à 18 cordes de bois (1.500 pieds cubes)¹. Dans les années 1810 enfin, pour traiter 390 qx de minerai, il fallait 23 cordes de bois et demie (2.000 pieds cubes), 20 barriques de charbon et 895 fagots. La consommation de bois de corde n'aura que peu diminué : un peu plus de six pieds cubes au milieu du siècle, cinq pieds cubes, soixante ans plus tard, tandis qu'augmentait la consommation de charbon de terre. Par contre, ce qui concerne le rendement du minerai, l'amélioration fut constante. Le niveau des 45% atteint régulièrement semble définitivement franchi dans les années 1780². L'évolution de la quantité de charbon de bois nécessaire à la production d'une unité de plomb au fourneau à manche confirme ces résultats. En Janvier 1780, 180 barriques de charbon de bois permettaient de fournir 8.560 Lpt de plomb d'oeuvre ce qui représente 48 Lpt de plomb par barrique³. En octobre 1791, on obtenait avec la même charge calorique 13.130 Lpt, soit 73 Lpt par barrique⁴. Ce fut l'un des principaux apports de Brolleman.

Que dire d'une éventuelle comparaison d'entreprise à entreprise ? Qu'elle est impossible à réaliser, vu le manque de chiffres, vu les flous et les imprécisions des chiffres disponibles ; qu'elle serait d'un petit enseignement, dans un marché qui se présente comme a-concurrentiel. Donnons, à titre d'exemple, ce que nous savons de l'affinage, seul point possible de référence : à Pesey en 1754, l'on affinait 50 qx de minerai en utilisant une toise 1/2 de bois et 1 charge 1/2 de charbon. A Poullaouen, au même moment, la production de

¹ - La demie-barrique de chaux a été volontairement oubliée. *Tableaux et courbes*, vol. 3, p. 42-45.

² - En l'an XII, Gallois et Beaumier donnent pour résultat global 1,4% de pertes sèches en plomb, un rendement de près de 53% pour le minerai, de 8,2% pour les crasses.

³ - *Rapport du Conseil des Fondateurs. Calculs faits sur une semaine de fonte.*

⁴ - *Rapport du directeur de la mine.*

1.600 qx de litharge et de 9 plateaux d'argent réclamait la combustion de 6.730 fagots¹
Mais qu'enregistrent ces chiffres, si ce n'est des différences de procédé ?

2*) HYDRAULIQUE : DU CLONAGE AU BLOCAGE.

A Pont-Péan comme en Basse-Bretagne, l'hydraulique -point particulièrement sensible de l'entreprise minéro-métallurgique- fut l'objet de remaniements constants. Sur les trois sites, l'infrastructure atteint une sorte de perfection, le meilleur de ce que pouvait donner le système classique. Le blocage vint de l'impossibilité technique qu'il y avait dans le cadre de ce système à répondre à l'accroissement non moins constant des besoins en énergie motrice.

a) Les machines de Laurent : le clonage porté à sa perfection.

A Pont-Péan, Laurent renouvela l'équipement hydraulique des puits de la Nouvelle Mine, de Bicêtre et du Chapelet en les dotant de machines d'une remarquable ingéniosité. L'innovation est présente dans le moindre des détails. En dépit de l'ingéniosité pourtant, elle ne s'éloigne pas du clonage. Il s'agit de nouveautés, de créations. Mais aucune d'entre elles n'induit de nouvelles architectures de pensée et d'action. Le travail de conceptualisation s'appuie sur les possibilités qu'offre le système eau/bois/vent, les réalise totalement, mais sans aller au-delà. A la différence du four à réverbère, dont l'usage va ouvrir aux entrepreneurs les portes d'un contrôle nouveau du processus de production par les possibilités offertes de mesurage, les innovations réalisées par Laurent modifient l'apparence physique de l'entreprise mais ne provoquent pas à terme de remise en question du système technique dans lequel elle évolue ; elles l'épuisent bien au contraire et en précipitent la chute, en le poussant -par ses qualités-mêmes- à ce point ultime et indépassable de développement qui prend dès lors figure de blocage.

L'originalité de ces machines d'épuisement s'affirme dans le détail de leur mise en oeuvre. *L'Encyclopédie* ne manque pas dans ses planches et son texte d'en relever les caractéristiques les plus intéressantes, non sans commettre l'erreur de présenter dans sa première planche les machines d'épuisement du puits de la Nouvelle Mine comme étant également une machine d'extraction². Semblables dans leur construction, les machines qui

¹ - *Résultat d'un mois d'affinage.*

² - Recueil de planches sur les sciences, les Arts libéraux et les Arts mécaniques, t.VI. *Les machines présentées sont la machine d'épuisement du puits de la Nouvelle Mine et la machine d'épuisement et d'extraction du puits du Chapelet, encore appelé, puits de l'Ancienne Mine. Vol. 3, pp.95-96.*

équipaient les puits de la Nouvelle Mine et de Bicêtre étaient de simples machines d'épuisement, équipées de roues à augets du diamètre modeste de 16 pieds (c.5m20) pour une largeur utile de 8 pieds (2m60)¹. Comme il se doit, les pompes étaient actionnées par un double jeu de bielles/manivelles, porté ici au meilleur de sa compréhension par un couplage inverse des manivelles de part et d'autre de l'arbre de la roue. « A chaque extrémité de l'arbre de la roue se trouvait une double manivelle, dont les bras successifs étaient calés à angle droit l'une sur l'autre ; les deux système de manivelles étaient diamétralement opposés aux extrémités de l'arbre de la roue »². Les bielles en bois, au nombre de quatre, armées de fer à leur extrémité, s'articulaient sur ces quatre manivelles calées à 90° les unes des autres à leurs extrémités opposées.

Sur cette base technique initiale, le problème à résoudre était la transformation, avec le minimum de frottements et de chocs, du mouvement alternatif sub-horizontal -une manière élégante de dire qu'en fait il était oblique- en mouvement alternatif vertical. On utilisait habituellement pour ce faire la technique du varlet, cette « croix des machines » comme l'appelait Jars³, un balancier en forme de demi-croix qui permettait la transmission du mouvement⁴. La comparaison avec une installation semblable mais traitée de manière traditionnelle, au puits neuf de Poullaouen¹ montre l'élégance de la solution retenue et la qualité du technicien. Loin en effet de chercher à porter le mouvement à l'horizontale, ce à quoi contraignait le système des varlets, Laurent utilisa l'obliquité des bielles en les reliant à un ensemble plus souple de chaînes. Appliquées à la gorge d'un quart de cercle d'un rayon de six pieds (1m95) -l'équivalent arrondi du varlet- des bandes de fer assuraient la liaison entre ces chaînes et celles qui, dans le puits commandaient les tiges de pompe. De cette manière, le mouvement gagnait en force et en efficacité ce qu'il perdait en frottement.

¹ - « Elles recevaient l'eau notablement au-dessous de leur génératrice supérieure. Leurs dispositions ne permettaient pas d'utiliser une hauteur de chute supérieure à 13 pieds (4m20), mais en fait cette hauteur ne paraît pas avoir dépassé 10 pieds (3m20) » (A.LODIN, op. cit.)

² -Ibid.

³ - G.JARS, op. cit., t.II, quatorzième mémoire, section III.

⁴ - Dans son article sur les origines de la machine à vapeur, Ferguson signale que rien, a priori, ne pouvait aider Newcomen dans sa conception d'un balancier oscillant, si ce n'est la représentation d'une pompe à cames, publiée en 1696 à Londres dans l'ouvrage de Venturus Mandey et James Moxon, intitulé « *Mechanics-Power : on the Mystery of Nature and Art Unvaild's* ». C'est là privilégier excessivement la connaissance livresque. Le varlet, présent sur les sites miniers, présentaient le mouvement exact de la tête de cheval, mais...inversé! (reproduction, vol 3, p. 84). Nous ne pouvons que rejoindre Ferguson cependant, lorsqu'il conclut que le balancier oscillant représente « une adaptation élégante mais pas une copie servile de concepts mécaniques communs à l'époque. » (E.FERGUSON, « Les origines de la machine à vapeur », in Histoire de machines, p.68).

En dépit de son apparente complexité, le système chaîne/bande de fer sur quart de cercle/chaîne, donnait à l'ensemble une stabilité que n'aurait pas autorisé l'emploi de la chaîne seule. Il restait à soulager les bielles, longues de 10 toises (20 mètres environ) et que l'on a décrites obliques. La solution retenue se signale une nouvelle fois par son élégance : chaque bielle était équilibrée par des contrepoids mus par de petites chaînes. Le réglage du débit et de la hauteur de chute était rendu possible par l'installation, en fin de canal, d'une section mobile de cuir qui « pouvait coulisser sur la partie fixe de manière à prendre un certain mouvement de régulation, en même temps qu'un léger mouvement angulaire » à la manière d'un soufflet². Ainsi conçues et construites, les machines d'épuisement commencèrent à fonctionner, celle du puits de la Nouvelle Mine en novembre 1755, celle du puits de Bicêtre au début de 1756.

La machine du puits du Chapelet présentait une complexité et une originalité plus grande puisqu'elle alliait à la fonction d'épuisement celle d'extraction. Ce couplage des fonctions relevait de l'exploit technique. Il y avait, en effet, une quasi-incompatibilité entre les demandes dont l'une -l'écoulement des eaux- était d'assurer la continuité et l'autre -l'extraction- était d'organiser les va-et-vient. Ce challenge technique, qui tient de la quadrature du cercle, aviva l'imagination et l'inventivité des grands techniciens -Farcot s'y essaya en 1856 au même endroit³.

Le mouvement était créé par une roue motrice à augets, d'un modèle par-en-dessus, haute de 33 pieds (10m70) de diamètre et large de 3 pieds (0m975) et transmis du côté du puits par une manivelle unique d'un rayon de 3 pieds 6 pouces (1m135), qui animait à la fois l'épuisement et l'extraction. L'originalité du système d'épuisement était de s'affranchir de l'agencement traditionnel bielle/manivelle, remplacé par un jeu de chaînes en fer. Cet arrangement permit de porter à six le nombre de pompes attenantes aux chaînes, chiffre difficile à atteindre avec l'habituel appareillage bielles/tirants. Le mouvement était assuré par une étoile hexagonale en fonte directement engagée sur le tourillon de la manivelle. Très courtes, les branches de l'étoile s'achevaient par le point de fixation des chaînes ; chacune des chaînes était renvoyée à une poulie elle-même calée sur un arbre horizontal en fer autour de laquelle la chaîne était enroulée. Fixée à une distance de 80 cm environ sur le

¹ - *Reproduction du système tirant-varlet*, vol. 3, p.84 (Poullauen) et 96 (Pont-Péan).

² - A.LODIN, op. cit., qui compare l'ensemble « au cuir embouti d'une presse hydraulique ». Vol. 3, p.96.

³ - A.-F. (BRULE-)GARÇON, « Mineurs de Bretagne », p.42.

même arbre, une seconde poulie équipée d'une chaîne enroulée en sens inverse envoyait le mouvement à la tige de pompe à laquelle elle était accordée. Les poulies étaient excentrées. « Le système des six axes formait le sommet d'un hexagone irrégulier afin d'éviter la projection des chaînes les unes sur les autres deux à deux »¹.

Un treuil à encliquetage, placé en amont du système chaînes/poulies, sur l'axe de la roue motrice, commandait l'extraction par le moyen d'un arbre mobile dans le sens longitudinal. Cet arbre était muni à l'extrémité proche de la roue d'une manivelle de même rayon que celle actionnant les pompes, mais sans liaison fixe avec elle. Là était l'astuce : le bouton de manivelle des pompes se prolongeait au-delà de l'étoile en fonte. Le contact entre les manivelles pouvait se réaliser à la demande : lorsqu'il était poussé à fond, le treuil mobile se mettait en contact avec la manivelle et entraînait en mouvement, ce qui provoquait la montée de la benne. Le reste relève de l'ingéniosité pure : à son arrivée au jour, la benne poussait un levier disposé horizontalement au-dessus du puits. Ce mouvement déplaçait l'arbre du treuil par une série de leviers ; les manivelles s'éloignaient l'une de l'autre ; l'encliquetage venait assurer la fin du mouvement. Pour provoquer la descente, il suffisait de soulever le cliquet ; un frein à mâchoires permettait d'en modérer la vitesse. « Cette disposition, conclut Lodin avec son regard de spécialiste de l'ère industrielle, ne devait pas présenter beaucoup de garanties du point de vue de la sécurité, ou du moins de la régularité du fonctionnement ; mais on doit reconnaître qu'elle était ingénieuse »

Huit cent milles livres furent dépensées en moins de quatre années pour la réalisation de l'ensemble, alors que les prévisions les plus optimistes avaient envisagées une dépense n'excédant pas 300.00 £t, non compris il est vrai l'infrastructure étangs/canaux de Teslé. On sait ce qu'il en coûta à la Compagnie de querelles entre les sociétaires -la partie Danycan refusant en fait de contribuer au financement de l'investissement Elles amenèrent à la dissolution de la société et à la vente de l'entreprise. Mais le site disposait désormais d'une infrastructure motrice et d'un équipement technique adéquats : l'extraction put se faire avec régularité à partir de 1755. Pendant cinq années l'exploitation donna des résultats satisfaisants, employant un millier d'ouvriers, fournissant en moyenne chaque année une

¹ - A.LODIN, *ibid. Reproduction*, vol. 3, p. 95.

valeur annuelle de 600.000 £t¹. Rachetée par les associés de la Compagnie des Mines de Basse-Bretagne, la mine de Pont-Péan semblait avoir de beaux jours devant elle...

b) Les contraintes de l'étiement.

Daubuisson nous a laissé une description aussi complète que possible de l'appareillage hydraulique des mines de Poullaouen et du Huelgoat. Il insiste sur la qualité de réalisation de l'ensemble. La description qu'il en donne -la première de ce genre fournie par le Journal des Mines- est là pour faire autorité : l'ingénieur est un spécialiste de l'hydraulique ; de surcroît, il connaît parfaitement les installations allemandes².

Cet équipement, quel est-il ? La description de l'infrastructure mise en place à Poullaouen donne une définition générale du système. « Les machines destinées à l'épuisement des eaux de la mine de Poullaouen sont des grandes roues mues par le poids de l'eau ; à l'aide de manivelles et de tirants horizontaux, elles communiquent par l'intermédiaire de leviers angulaires le mouvement à d'autres tirants verticaux placés dans le puits, et qui font mouvoir les pistons des pompes disposées les unes au-dessus des autres, depuis la galerie d'écoulement jusqu'au fond »³. Les roues étaient faites de bois de chêne, tout comme les tirants horizontaux supportés par des « schwingues de 2 mètres de long ». Enfin, les tirants verticaux étaient « contenus de distance en distance entre des rouleaux ; ils portent de 10m en 10m (vis à vis de chaque pompe) un bras de fer (cruchot) convenablement assujetti et dans l'extrémité duquel entre l'anneau qui termine la tige de chaque piston ».

Ainsi établie, l'hydraulique constitua le support essentiel de l'épuisement des travaux miniers jusqu'en 1867. Comme à Pont-Péan après la mise en place du complexe hydraulique par Laurent l'exploitation du Huelgoat-Poullaouen atteignit par réalisations successives ce point d'équilibre à partir duquel elle put prospérer, à partir duquel également, l'on peut juger de la qualité de l'innovation courante. Dans son quotidien, celle-

¹ - Lettre de Pâris-Duverney, devenu le principal actionnaire à Le Bret, intendant de Bretagne, en date du 22 juin 1757 (A. LODIN, op. cit.).

² - Jean-François DAUBUISSON de VOISINS, formé au Corps royal d'artillerie avait émigré et pris du service dans l'armée de Condé. Entre 1797 et 1802, ne pouvant rentrer en France, il étudia la minéralogie à Freiberg sous la direction de Werner. Il publia dans le Journal des Mines deux mémoires consacrés à la jurisprudence des mines en Allemagne et un mémoire sur la préparation des minerais en Saxe. Il rentra en France en 1802. Ingénieur du Corps des Mines, il était le seul membre qui ne provint ni de la promotion de 1794, ni de l'Ecole polytechnique. (Dictionnaire de biographie française, t.IV, p.298).

³ - DAUBUISSON, « De la mine de plomb de Poullaouen en Bretagne. Seconde partie : de l'exploitation proprement dite », Journal des Mines, t.XXI, pp. 27-64.

ci va rechercher deux objectifs principaux et complémentaires : l'économie de moyen d'une part, l'amélioration du rendement d'autre part.

1) Le travail des roues.

Le premier travail fut de donner à chacun des sites le nombre adéquat de machines. A Poullaouen en 1751, Koenig fit construire à la Vieille Mine une roue de 44 pieds (14m08), mise en cage en raison de l'insuffisance de la hauteur de chute comme à Pont-Péan. En 1752, il ajouta « de grandes roues à godets de 15 à 18 pieds de diamètre (4m86 et 5m83) »¹. En 1765, le puits Ste Barbe était équipé d'une machine de 33 pieds. En 1770, le site disposait de cinq machines : celle du puits Sainte-Barbe, une autre sur le puits Ste Elisabeth (42 pieds), les deux machines du puits de la Nouvelle Découverte et du puits Neuf (18 pieds), une dernière sur le puits Allemand (33 pieds). Cet équipement fut modifié par Brolleman en raison du déplacement des travaux vers les puits St-Sauveur et St-Georges. En 1806, quatre roues assuraient l'épuisement du site : une au puits Saint-Georges, une autre au puits Sainte-Barbe ; deux au puits Saint-Sauveur, « la Grande machine de Saint-Sauveur » et « la Manchôte »².

L'équipement des puits du Huelgoat fut également progressif. Il y eut d'abord « la Vieille » (ou « inférieure ») installée en 1762 ; ensuite « la Nouvelle » (ou « supérieure »), sa cadette de 10 ans ; « La Troisième » (ou « intermédiaire ») fut construite par Brolleman en 1786. Toutes ces roues semblent avoir été à augets. Nous avons donné en tableau les spécifications des deux machines les plus importantes, la « Supérieure » du Huelgoat et la « Grande machine de Saint-Sauveur » à Poullaouen³. Des spécifications qui sont resituer dans leur temporalité car elles n'ont cessé d'évoluer. Daubuisson précise qu'au Huelgoat « la machine supérieure est une des plus belle qui soit » et qu'à Poullaouen, « la construction en est fort élégante et bien soignée... » La filiation est allemande, la construction s'étant faite « sur un modèle qui semble avoir été celui de Freiberg »⁴. Quoi de surprenant à cela ? La plupart d'entre elles furent mises en place et/ou remaniées par Koenig -entre 1748 et 1762- et Brolleman -entre 1780 et 1791.

¹ - Mignot de Montigny, H. BOURDE de la ROGERIE, op. cit..

² - Elles étaient situées respectivement à 37 et à 40 mètres du puits.

³ - Vol. 3, pp. 85-87.

⁴ - DAUBUISSON, op.cit.

Entièrement à découvert, puisqu'elles se trouvaient « à la superficie du terrain », elles étaient souvent endommagées par les glaces. On travailla à leur protection. Un dispositif fut mis au point, une « doublure » d'environ 3 à 4cm dont on entourait « la courbe qui forme le fond des augets de sapin » ainsi que les joues ou couronnes tout à leur entour et en dehors. Anodine en apparence, cette amélioration se révéla bénéfique à plus d'un égard : « elle a dispensé de placer des pièces sur les joints de la couronne, dont elle augmente la solidité, en donnant, en outre, plus de poids à cette partie de la roue, elle lui fait office d'un volant et maintint davantage l'uniformité du mouvement»¹.

Le diamètre de ces roues variait en fonction du terrain, du débit de l'eau motrice et du type de travail demandé. Une sorte de standardisation existe cependant, à en juger par ces tailles -15 pieds, 33 pieds, 40 ou 44 pieds- plus fréquemment rencontrées². On chercha, en augmentant les dimensions des roues, à accroître leur puissance. A Huelgoat, entre 1781 et 1786, Brolleman fit porter à 40 pieds le diamètre de la vieille roue soit une augmentation de trois mètres. Construite au même moment, la « nouvelle » reçut des dimensions identiques. Cette recherche se doubla d'un contrôle de plus en plus rigoureux de la qualité des matériaux employés, bois et fer³, bois des roues et des tirants.

2) Le travail des pompes, des cylindres, des pistons.

Le modèle de pompe utilisé et généralisé fut celui, classique, de la pompe à piston⁴. Le détail nous en est connu à Poullaouen en fin de siècle : il s'agissait de pompes aspirantes de 10m de long environ avec un corps de pompe en fonte de 1m82 de long pour un diamètre variant de 0m25 à 0m33 (9 à 12 pouces). Elles étaient équipées en leur partie supérieure de dégorgeoirs en forme de gros tuyaux de 1m de diamètre et de 0,6 à 0,7m de long. Dans leur partie inférieure se trouvait la soupape qui séparait le corps de pompe du tuyau d'aspiration⁵. Comme de règle⁶, le diamètre du tuyau d'aspiration était inférieur à celui du corps de pompe⁷. Les trois à quatre derniers décimètres plongeaient dans le

¹ -Ibid.

² - *Le module de 26 pieds semble plus exceptionnel.*

³ - *Le fer des manivelles vint d'Angleterre puis, quand ce fut possible, des forges d'Indret.*

⁴ - *Pompe aspirante et non aspirante/refoulante, comme il est souvent dit à tort.*

⁵ - *Cette soupape était percée latéralement d'un trou fermé d'un tampon que l'on débouchait lorsqu'on voulait la changer.*

⁶ - Encyclopédie, article « pompe ».

⁷ - *Le diamètre était de 5 pouces pour les pompes de 12 pouces et 4 pouces et 1/2 pour les plus petites. Dessin des pompes au début du XIX^e siècle, vol. 3, p. 89.*

réservoir -destiné à recevoir l'eau venue de la pompe inférieure, une caisse de 3 à 4 dm de large et de profondeur. Enfin, chacun de ces réservoirs étaient équipés d'un déversoir qui permettait au trop-plein de s'écouler dans le bassin inférieur. Ainsi, « lorsqu'une pompe n'élève pas toute l'eau qui lui est apportée, l'excès, au lieu de se répandre dans le puits suit le tuyau et revient au bassin inférieur »¹.

Nous connaissons la manière dont elles étaient montées par ce que Daubuisson décrit du Huelgoat². Elle mesurait 0m325 (12 pouces) de diamètre jusqu'à la neuvième galerie³. En-dessous, ce diamètre diminuait progressivement pour ne plus atteindre que 0m258 au fond. De la quatrième à la septième galerie, il s'agissait de pompes simples -un tirant portant les numéros pairs et l'autre les numéros impairs. Au-dessous, elles étaient doubles : chaque tirant mettait en jeu une file de pompes qui descendait jusqu'au fond. Cette disposition que l'on peut définir comme classique selon les propos de l'hydraulicien⁴ fut la résultante d'un travail constant d'amélioration qui s'effectua entre les années 1760 et les années 1780.

On chercha tout d'abord à remplacer les corps de pompes en bois par des corps de pompe « en fer ». La modification qui dut intervenir dans la décennie 1750/1760 en Basse-Bretagne, eut lieu à Pont-Péan dans les années 1780 lors du renouvellement de l'appareillage du puits de Bicêtre⁵ ; mention est faite alors de pompes en « fonte alésée ». A en juger par les performances comparées des équipements des divers puits en 1780, à Pont-Péan, la modification eut pour résultat un accroissement spectaculaire du rendement. Pour une force motrice identique -les roues et leur installation ne connurent aucune modification- et une profondeur avoisinant dans tous les cas les 80 mètres, les nouvelles pompes du puits de Bicêtre fournirent un peu plus de 600 litres à la minute, tandis que les pompes du puits de la Nouvelle Mine -très certainement celles de l'installation Laurent- ne

¹ - DAUBUISSON, op. cit. *D'une pompe à l'autre, la perte en eau était constante lorsqu'elle travaillait à plein rendement. Pour le besoin de ses expériences dynamométriques, l'ingénieur avait placé « un machiniste auprès de chaque pompe afin que chacun veille à ce que la pompe versât à plein à chaque coup de piston : comme elles laissent échapper de l'eau en permanence, quand on veut les faire verser entièrement à plein, les machinistes furent continuellement mouillés durant les cinq heures que durèrent les expériences ».*

² - Il s'agissait de « pompes aspirantes ordinaires », semblables à celles de Poullaouen.

³ - Leur taille était de 11m de haut.

⁴ - « En général, tout ce qui tient à la construction et à la disposition des machines est bien soigné et bien entendu ; je puis dire que je n'ai rien vu de mieux en fait de puits et machines que ceux de Poullaouen » DAUBUISSON, op.cit.

⁵ - E.MONANGE, op. cit. ; A.LODIN, op. cit.

dépassaient pas les 200 litres par minute. Le gain est manifeste. Pour en donner bonne mesure, rappelons qu'en 1733, les pompes à bras donnaient un peu moins de 100 litres à la minute¹. En 1780, les pompes du Huelgoat², également en fonte alésée, étaient capables de débiter 28 pieds cube à la minute, soit un peu plus de 500 litres.

L'arrivée de Brolleman eut pour conséquence une rationalisation de l'installation de pompage. A Poullaouen, l'ingénieur saxon fut « scandalisé » de l'arrangement réalisé par son prédécesseur, un dénommé Grévin, qui avait placé « les plus puissantes dans le fond et les plus faibles au-dessus »³. L'ingénieur saxon ordonna d'inverser les rapports de manière à ce que la capacité d'exhaure de la partie supérieure soit toujours supérieure à la quantité à épuiser, ce qui impliquait de ne pas se laisser tromper par le visuel de l'exhaure.

Au Huelgoat, dans les corps de pompes corrodés par l'eau chargée de « schistes alumineux »⁴ le cuir des pistons se râpait avec une promptitude étonnante⁵ ; quelques heures suffisaient pour qu'il se trouve hors d'usage. Le remplacement des cuirs coûtait à lui seul 32.000 Lt par trimestre, une véritable fortune⁶. « Une pareille dépenses aurait forcé d'abandonner la mine » commente Daubuisson. Brolleman réalisa un système de « pistons à liteaux de bois...poussés par des ressorts contre le tuyau desquels le piston fait son jeu... » Ces pistons présentèrent l'avantage d'être bien moins dispendieux que les pistons garnis de cuir et de durer plus longtemps. Leur succès fut tel que l'on put délaissier les cylindres de fonte précocement usés par les eaux et en revenir aux traditionnels cylindres de bois. Cette régression, imposée par l'économie, ne fut pas généralisée : dans les parties inférieures de la mine les cylindres de fonte furent conservés « parce que les graviers de quartz et de

¹ - Si l'on s'en tient aux chiffres fournis par le subdélégué Blain de Saint-Aubin : « Ces pompes -au nombre de 5- peuvent élever 2.400 muids d'eau en 24 heures... » R.CARSIN, (op. cit., p.51,n.15) donne au muid une valeur de 268 litres. Voir tableaux et graphiques, vol. 3, pp. 95-98.

² - Précisions données par Duhamel : pour une profondeur de 120m, un diamètre de 10 à 12 pieds -l'on retrouve les spécifications données par Daubuisson- une course de 3 pieds, un nombre de coups évalué par nous-même de 5 à 6 à la minute (voir tableaux).

³ - E.MONANGE, op. cit.

⁴ - C'est l'explication que Daubuisson donne au caractère « vtriolique » des eaux intérieures du Huelgoat (DAUBUISSON, « Description succincte de la mine de plomb du Huelgoat en Bretagne », op. cit , pp. 81-104.).

⁵ - Description des pistons : « petits cylindres en bois d'un plus petit diamètre que le corps de pompe, percés dans le milieu d'un trou garni d'une soupape. Leur partie supérieure est entourée d'un collet fait de plusieurs bandes de cuirs cousues ensemble ; il dépasse le cylindre de bois et s'évase en forme d'entonnoir ; c'est le bord supérieur de l'évasement qui frotte contre le corps de la pompe » (DAUBUISSON, op. cit., voir également E.N.S.M.P. M 1827 (53) Coste). Voir reproduction, vol. 3, p. 89.

⁶ - Trente cordonniers étaient employés à la réparation des cuirs des pistons. (DAUBUISSON, op.cit.)

sables que les eaux entraînaient auraient bientôt mis les autres hors de service»¹. Ces précisions indiquent combien il est difficile pour juger de la qualité technique d'un site de s'en tenir aux indications globales².

Pour illustrer ce propos d'une autre manière, évoquons également le problème des diamètres des corps de pompes. Théoriquement, il devait être de douze pouces... Du théorique à la réalité cependant, il y avait une vaste marge, celle de l'usure : « le frottement les élargit peu à peu et les porte jusqu'à 14 et même 15 pouces » remarque Daubuisson. « On se propose actuellement, ajoute-t-il, et d'après une idée de M. Sautereau, l'un des actionnaires et directeur de la correspondance, d'essayer des corps de pompes en bois, revêtues intérieurement de lames de plomb », ce qui aurait permis, de travailler avec une matière première directement fournie par l'exploitation. On voit combien le progrès global de l'entreprise -quand ce n'est pas sa survie- dépend de ces adaptations multiples et polymorphes qui définissent le domaine de l'innovation courante.

3) Le travail des tirants, des schwingues et des werbocks.

Le mode de transmission du mouvement constitua la grande faiblesse de l'hydraulique pré-industrielle. Là plus qu'ailleurs, l'adaptation dut être constante, de manière à réduire autant qu'il était possible les frottements et les bris provoqués par la longueur des attirails.

Monnet en donne le principe général : « Comme dans l'établissement d'une roue à pompes, on n'a pas toujours l'avantage de trouver une chute d'eau près de l'exploitation, soit sur les puits, soit sur les galeries, on est quelquefois forcé d'établir la roue ailleurs, dans un emplacement convenable ; on est alors obligé d'en diriger les mouvements et les efforts vers le puits ou la galerie, au moyen de ce qu'on appelle tirants horizontaux, qui sont, à proprement parler, les alonges du tirant de la roue. Cet établissement est fait quelquefois fort loin de la mine, comme 50 à 100 jusqu'à 800 toises »³. Les installations du Huelgoat relevaient de ce cas de figure en raison de l'éloignement progressif des travaux à mesure de leur développement⁴. Ainsi, la « machine supérieure » finit-elle par se trouver

¹ - E. MONANGE, *op. cit.*, t.I, pp.155-156.

² - *Telles qu'elles sont portées, par exemple, dans nos tableaux.*

³ - A.G. Monnet, *op. cit.*, IV^eème partie, par.3, p.207, « appareil de la machine avec des tirans horizontaux ».

⁴ - « La direction du filon et la disposition des colonnes métallifères sont telles que les travaux d'exploitation ont fui sans cesse la côte sur laquelle les roues ont été échelonnées... » JUNCKER, « Mémoire sur les machines à colonne d'eau... », *Annales des Mines*, 1835, t.VIII, pp.95-158.

« à 200 toises du puits où sont les pompes qui élèvent l'eau du niveau de 250m à celui de 180m ». Deux cents toises d'éloignement, cela représentait quatre cents mètres d'élongation du mouvement, soit 70 tirants mis bout à bout, une installation remarquable mais pour le moins riche en perte d'énergie et en cassures.

Dans ce cas, les tirants étaient soutenus par des bras à bascule que l'on appelait soit *schwingues*, soit *werbocks* selon la place qu'ils occupaient. « Implanté dans un cylindre vertical et mobile sur son axe », le *werbock* était destiné à donner au mouvement liant et souple¹. Ils étaient au nombre de deux. Le premier était placé de manière à soutenir le passage entre premier et second tirant ; l'autre, en fin de course, permettait au tirant de se baisser et de se lever suivant le mouvement donné par le varlet près duquel il était situé. La consonnance de l'appellation évoque une technique allemande. Mais Daubuisson, pourtant spécialiste de l'hydraulique de ce pays, ne paraît pas l'avoir connue et parle à son propos d'un « bras à bascule...appelé *werbock* sur le lieu ». En appelant l'ensemble « pièce à bascule » et en précisant de la même manière « le nom de ces pièces dans le pays est *virebock* », l'élève-ingénieur Coste en 1827, confirme cette incertitude².

Les *schwingues* -terme que Coste orthographie « *chevingues* »- étaient des *werbock* simplifiés. « Ce que les mineurs appellent *schwingues*, expliquent conjointement Blavon-Duchesne et Daubuisson, ce sont les pièces de bois verticales qui portent les tirants horizontaux de leurs machines hydrauliques : elles sont fixées à un seuil, par un boulon placé à leur extrémité inférieure et autour duquel elles oscillent pendant que le tirant va et vient ; leur extrémité supérieure est assujétié (sic) au tirant par un autre boulon »³. Elles étaient soixante-dix qui soutenaient les tirants de la machine supérieure au Huelgoat, larges de 1m868⁴. L'installation -classique- était d'une grande fragilité, en raison de la force avec laquelle chacune des *schwingues* était pressée contre son tourillon, « une force qui représente plus des 2/3 de la charge de la machine » calcule Daubuisson¹. Les bris étaient constants. « A chaque instant, sur la longueur, il s'en rompait quelque-une et l'on était continuellement occupé en réparant. »

¹ - DAUBUISSON, op. cit.

² - E.N.S.M.P., M 1827(53). Vol. 3, p.88.

³ - BLAVON-DUCHESNE, DAUBUISSON, « *Expériences faites sur les machines hydrauliques de Poullaouen ayant pour objet de déterminer, à l'aide d'un dynamomètre, la charge de ces machines, et de faire connaître le rapport entre l'effet produit et 'eau motrice dépensée* », op. cit., pp.161-248.

⁴ - BLAVON-DUCHESNE, DAUBUISSON, *ibid.*

Au début des années 1800, Blavon-Duchesne remplaça les schwingues par des poulies « en forme de roue de charette », placées au milieu de chaque tirant². La réalisation de ces poulies fut particulièrement soignée ; on chercha par maints détails et ajustements à régulariser le mouvement et les frottements. De part et d'autre de la jante par exemple, une doublure en planche placée en saillie retenait le tirant « comme dans la gorge d'une poulie ». Les parties qui frottaient contre les jantes furent garnies d'une latte en hêtre « afin de diminuer le frottement et de prévenir les dégradations des tirants ». Enfin, « chaque semaine, on tournait les roues de manière à ce que toutes les parties passent successivement sur les tirants », ce qui permettait de diminuer le frottement et de prévenir la dégradation des tirants. L'installation y gagna en longévité : « depuis 6 ans que ces poulies sont en place, on n'y remarque pas d'usure sensible »³.

La modification permit de remettre en route le troisième moteur hydraulique quelques années plus tard. Les travaux se trouvaient désormais à 650m de la roue motrice, cette roue intermédiaire, encore appelée la « Vieille ». Manifestement impressionné par l'installation, l'élève-ingénieur Coste la décrit intégralement dans son rapport. « La première file de tirants a environ 60m de long et une pente de 34 à 35° ; arrivé là, la pente de la colline est beaucoup plus douce -7 ou 8° : il est donc nécessaire de changer l'inclinaison de la ligne des tirants... on a une nouvelle ligne de tirants (60m) ; puis un nouveau changement de terrain, désormais quasi-horizontal... » Chaque changement d'inclinaison s'effectuait par l'intermédiaire d'un virebock ; dans la partie à peu près horizontale, « les tirants horizontaux ne reposent plus sur des schwingues mais sur des poulies d'environ 1m50 de diamètre, portées sur des axes horizontaux appuyés sur des massifs en maçonnerie »⁴.

¹ - DAUBUISSON, « Description succincte... ».

² - Les poulies étaient espacées de 5,7m les unes des autres et supportées par des montants. Diamètre de la poulie : 1,3m, longueur de la jante : 0m175, DAUBUISSON, ibid.

³ - Ibid.

⁴ - Un contrepoids destiné à effacer les soubresauts provoqués par l'introduction dans le mouvement alternatif d'un soutien circulaire avait été rajouté. L'élève-ingénieur l'explique avec toute la jeunesse de son savoir : « il faut observer que le premier tirant sur la ligne horizontale s'élève et s'abaisse alternativement, puisqu'il est conduit par une tige d'une longueur constante et qui a un mouvement circulaire alternatif dans le plan vertical ; il s'ensuit que si l'axe de la première partie était fixe, le tirant l'abandonnerait pendant presque toute la durée de l'oscillation. C'est pourquoi on suspend cette première poulie à l'extrémité d'un levier fourchu qu'on charge d'un contrepoids à l'autre extrémité. Le contrepoids tend à soulever la poulie et la force à toujours appuyer contre les tirants. Les autres poulies sont fixes... » E.N.S.M.P. M1827(53)Coste).

Venait ensuite une autre ligne de 21m50 avec, à mi-chemin une autre pièce à bascule en raison de la légère déclivité du terrain. « On se trouve alors vis à vis le puits d'épuisement, à 30 mètres. On donne aux tirants une direction perpendiculaire à la première au moyen d'un arbre vertical, mobile sur deux pivots en soutenu par l'arbre d'un machine à molettes... La dernière ligne de tirans va faire mouvoir une maîtresse-tige par un levier en équerre »¹. L'appareillage se déployait sur 600 mètres et réclamait l'installation de 27 poulies ; chaque tirant était long de 5m². Confirmant les propos de l'ingénieur hydraulicien, l'élève-ingénieur souligne la fréquence des bris : « 2 à 3 tirants cassent par 24 heures... », et confirme l'habitude prise de faire tourner le matériel pour le soulager dans ses efforts : « quand une poulie commence à s'user, on la fait tourner pour que le tirant s'appuie sur un autre point »³.

Quel pouvait être le rendement de l'ensemble ? En 1835, Juncker, directeur en titre de l'exploitation, calcula l'effet utile de ces « trois belles machines à tirans, très bien construites et mues par des roues hydrauliques ». Il obtint le résultat de 0,23 pour la première, 0,18 pour la seconde et 0,21 pour la troisième. Et de donner, comme première explication à la faiblesse des résultats obtenus, la « masse immense des attirails »¹. Ayant fait fonctionner à vide la machine intermédiaire, il calcula qu'à la même vitesse de 6 tours par minute, elle consommait 3/5^eme de la quantité d'eau utilisée pour marcher à charge. En d'autres termes, seulement 20% de la force motrice disponible était utilisée pour le fonctionnement des pompes, tandis que 80% servait au fonctionnement de la machine elle-même. L'exploit technique est évident, eu égard à la longueur des attirails et témoigne de la qualité des ingénieurs qui travaillèrent sur l'exploitation. Mais la filière avait atteint le point ultime de son développement.

c) L'hydraulique en bout de course.

L'histoire de Pont-Péan en fin de siècle confirme le blocage. Dès les années 1770, l'exploitation renouait avec les difficultés d'exhaure. Les travaux se trouvèrent sous l'eau une année complète entre 1771 et 1772, et de nouveau dans la décennie suivante de 1782 à

¹ - Coste, ibid.

² - A l'allongement de la flèche de bois et à la différence d'appellation près, la description de l'assemblage qui s'effectuait « par traits de jupiter et avec des platines de fer boulonnées » ressemble à celle qu'en donnait Daubuisson.

³ - Enfin, ajoute-t-il, « les autres roues hydrauliques font marcher des lignes de tirants moins longues et n'ont pas de montagnes à traverser... »

1785 : les capacités d'épuisement de la Nouvelle Mine ne pouvaient dépasser la profondeur de 240 pieds (75m) et celle du puits Bicêtre 270 pieds (85m). Seule la machine du Chapelet était en mesure d'assurer l'épuisement au-delà. Que l'eau vienne à lui manquer et c'était l'ennoiement. On ménageait la seule réserve d'eau disponible, celle des étangs des Teslé, en utilisant autant que faire se pouvait le débit des eaux de la Seiche. Et pour ne pas surcharger la machine du Chapelet, on se contentait de lui faire relever les eaux du fond des travaux jusqu'à la hauteur de 240 pieds. A ce niveau, elles étaient reprises par les machines de la Nouvelle Mine et de Bicêtre. A mesure que maigrissait la rivière et que s'installait l'étiage, l'on augmentait le travail de la machine du Chapelet, « en lui faisant relever les eaux d'abord au niveau de 128 pieds puis finalement au jour... »², pour suppléer aux défaillances forcées des autres machines. Ainsi allait l'exhaure, d'ingéniosité en palliatifs. L'équilibre était d'autant plus fragile qu'il dépendait du bon niveau de remplissage hivernal des étangs.

La rupture intervint entre 1782 et 1785, qui furent trois années de sécheresse. Comme à Poullaouen en 1779/1780, la Compagnie songea à la fermeture. Comme à Poullaouen, l'exploitation fut sauvée par le savoir-faire et la force de persuasion de Brolleman. Afin de donner de l'eau supplémentaire aux étangs de Teslé, il était envisagé de détourner la petite rivière d'Isé au moyen d'une rigole. Mais les frais promettaient d'être considérables, en raison -entre autres- des « prétentions exorbitantes des propriétaires de terrain ». Le 10 décembre 1784, l'assemblée générale des actionnaires votait un appel de fonds de 240.000 Lt, non sans atermoiements et divergences. La rentrée des fonds fut trop lente pour permettre le complet achèvement des travaux. Certains actionnaires s'y refusèrent catégoriquement. Il en résulta, au printemps 1788, un bilan financier désastreux avec un million de livres inscrit au passif contre seulement 430.000£ à l'actif³. En mars 1788, les actionnaires se réunissaient en vue de liquider la société.

La détermination de Brolleman. aboutit à l'effet inverse. Présent à l'assemblée, le directeur de Poullaouen affirma avec certitude et aplomb qu'il était en mesure de remettre la mine de Pont-Péan dans une situation avantageuse « moyennant une dépense de 142.000£ à faire dans un délai de 18 mois. » Convaincue, l'assemblée vota un appel de

¹ - JUNCKER op. cit., pp.98-100.

² - A.LODIN, op. cit.

³ - LODIN suggère que l'actif fut sous-estimé, afin de précipiter la décision de fermeture.

fonds de 470.758 Lt et prit les mesures nécessaires pour que le versement s'effectuât¹. Brolemann fit creuser la rigole d'Isé sur deux kilomètres², selon un trajet qui lui permettait de recevoir les eaux provenant de l'étang de Beauvais, au sud-est de Bourg-Barré. De cette manière, la fourniture en eau de l'étang de Teslé fut régularisée. L'exploitation s'en trouva relancée pour dix nouvelles années moyennant quelques travaux supplémentaires, François Blavon-Duchesne ayant fait agrandir l'étang du côté de « Bout de Lande » et creuser une seconde rigole destinée à conduire les eaux de la fontaine de la Douëttée au grand étang de Teslé³. Ainsi s'achevait la capture au profit de l'exploitation de cette partie du bassin d'alimentation de la Seiche. Toute l'eau présente dans cette partie du bassin-versant de la Seiche était désormais drainée vers la mine. C'était là le bilan de trente années de travail sur les structures hydrauliques.

Quel était l'état des travaux au début des années 1790 ? Epuisée, la région située au nord du puits du Chapelet avait été mise hors d'exploitation ; dans cette partie des travaux, on se contentait d'entretenir les puits de la Nouvelle-Mine et de Bicêtre afin de pouvoir utiliser leurs machines d'épuisement. Ils étaient reliés au reste des travaux par le dixième niveau, foncé à 215 pieds (70 m). Le puits St-Joseph et le puits du Chapelet atteignaient la profondeur de 360 pieds (115m). L'exploitation s'allongeait désormais vers le sud, autour du puits des Députés⁴. Mais la colonne riche qui était en cours d'exploitation s'enfonçait nettement. Les difficultés se multiplièrent. Rapidement, il fallut descendre au-delà du douzième niveau que l'on venait d'instituer niveau général d'épuisement⁵, en tracer un treizième puis, au moyen de bures, un quatorzième, 75 toises plus bas, un quinzième enfin à 420 pieds de profondeur (135m).

Cette descente s'accompagna de venues d'eau constantes auxquelles il devint de plus en plus difficile de faire face. En surface, les roues qui dépendaient du fleuve, celles du puits de la Nouvelle-Mine et du puits de Bicêtre avaient été agrandi d'un mètre, autant que

¹ - *L'intérêt de ceux des associés qui se refusaient à faire le versement devait être licité au bureau de la Compagnie sans que les étrangers fussent autorisés aux enchères.* (LODIN, op. cit.)

² - *Pour qu'elle conduise les eaux du ruisseau d'Isé prise à la vanne de décharge du moulin Briand près Corps-Nuds jusqu'à l'étang de Teslé.*

³ - *Par l'intermédiaire du canal.* (R. CARSIN, op. cit., p.43).

⁴ - *Il fut ouvert en 1789. Pour l'avancement des travaux, vol. 3, pp.97-98.*

⁵ - *Tracée à soixante toises de profondeur, cette galerie passait au fond du puits des Députés, en dessous des puits de la Boulangère et de la République ; il était envisagé de la conduire jusqu'au puits de l'Orme.*

le permettait la hauteur de chute¹. Elles furent élargies, de 2m60 à 3m9. La vieille roue du puits du Chapelet fut également élargie de six pouces, et le puits lui-même équipé d'une seconde roue². « Avec de telles modifications, la puissance de la première roue aurait été augmentée de moitié, celle de la seconde doublée, si les eaux motrices avaient été suffisamment abondantes »³.

Le problème, c'est qu'elles ne l'étaient pas... Aussi, sur vingt mètres, du quinzième au treizième niveau, l'épuisement dut-il se faire au moyen de pompes à bras, ce qui mobilisait près d'une cinquantaine d'ouvriers. Devant de telles difficultés la Compagnie rechercha de nouveaux massifs exploitables en surface. Elle fit ouvrir -vainement- le puits de la Boulangère⁴. L'ouverture du puits de l'Orme se révéla une véritable catastrophe : foncé à 200 toises au sud du puits des Députés, « trop à l'Est, au toit du filon, dans de l'argile difficile à boiser », il rencontra aux environs de 300 pieds une source abondante qui manqua de submerger la mine. On le combla d'urgence. Enfin, les recherches pour retrouver le filon en surface au sud du puits de l'Orme ne donnèrent aucuns résultats.

Au cours de l'été 1794, la Compagnie décida d'installer une machine à feu. A cet effet, l'on fonça un nouveau puits, non au toit mais au mur du filon, c'est-à-dire non dans les terrains tertiaires mais dans les schistes environnants, selon une technique qui avait été expérimentée pour le traçage du douzième niveau. Ce puits, qui reçut le nom de « puits républicain », fut le premier à bénéficier d'assises solides⁵. Les travaux de fonçage furent menés activement jusqu'en 1796, date à laquelle il avait atteint entre 55 et 70 mètres⁶. Mais les fonds étaient ennoyés. Il ne restait de minerai exploitable que sur cinquante toises d'étendue horizontale au treizième niveau, un filon d'une puissance réduite à 6 pouces (0,18m)⁷, trop peu pour assurer un revenu réel à l'exploitation. Et s'il existait, au même niveau dans la région du puits des Députés une zone assez étendue où le filon se présentait avec une richesse certaine, il fallait pour l'exploiter entamer de nouveaux travaux

¹ - Les roues passèrent de 5m20 à 6m50, ce que permettait la hauteur de chute. (A.LODIN, op. cit.)

² - Disposition vivement critiquée par l'ingénieur des Ponts et Chaussées Auffray qui effectua le procès-verbal de fermeture en 1797 (an V) (R.CARSIN, op. cit., p.45 n.44).

³ - A.LODIN, op.cit.

⁴ - - A 200m environ au sud du puits du Chapelet. Vertical jusqu'à la rencontre du filon à 182 pieds, il fut ensuite foncé suivant l'inclinaison du gîte jusqu'au 15^e niveau puis remblayé.

⁵ - Pour cette raison, il put être réouvert sans encombres dans les années 1850 lors de la reprise de l'exploitation et devint le puits central de l'exploitation.

⁶ - 170 ou 216 pieds. Les chiffres divergent selon les auteurs.

⁷ - Tous ces détails sont connus par le rapport qu'en fit ultérieurement J.-M.Blavon-Duchesne.

préparatoires. Les exploitants avaient dû faire face à la confiscation de la part du chevalier de Guer, à la réquisition des plombs et leur paiement en assignat, aux troubles provoqués par la chouannerie¹, au conflit avec l'Angleterre enfin, qui les privait de matériel d'équipement. Fatigués de ces difficultés, ils renoncèrent à la concession dans les conditions prévues par les articles 16 et 17 de la loi du 28 juillet 1791². Le 9 vendémiaire an VIII, la mine était vendue -fonds et surface- pour une somme équivalente à 3.300fr. dont 100fr. pour l'immeuble. L'étang de Teslé fut mis à sec, les canaux comblés, la dérivation d'Isé nivelée. Le silence tombait sur le carreau minier pour près d'un demi-siècle.

L'abandon progressif de Giromagny dans le courant du dix-huitième siècle s'explique par ces mêmes raisons. Les difficultés liées à l'épuisement s'accumulèrent jusqu'à contraindre la Compagnie exploitante à la fermeture successive de chacun des sites. Ainsi, Gensanne se refusa à travailler la mine Saint-Pierre « à cause de l'abondance des déblais qu'il faudrait retirer et du volume d'eau qui afflue dans les travaux situés au front de la galerie d'écoulement »³. La mine du Grand-St-Jean offrait « des travaux considérables », répartis en deux systèmes différents. Les « vieux travaux » descendaient à partir de la galerie d'écoulement du second étage jusqu'à 45 mètres au-dessous du niveau de la galerie du troisième étage. Les « nouveaux travaux » descendaient de la galerie d'écoulement jusqu'à 77 mètres de profondeur. L'épuisement se faisait « au moyen de pompes mises en jeu par une roue hydraulique de 16 mètres de diamètre. Cette roue était mue par les eaux d'un canal long de plus d'une demi-lieue qui recueillait les eaux de plusieurs étangs et ruisseaux et dont l'entretien était fort coûteux ». Mais l'installation s'avéra insuffisante. Les anciens travaux se trouvèrent submergés, entraînant l'envolement des nouveaux ouvrages. Un envolement dommageable, car « les filons continuaient à se montrer très riches ». En 1778, Brolleman -décidément grand spécialiste du sauvetage des mines envoyées, une omniprésence qui montre à quel point l'art des mines manquait de spécialistes- tenta d'assécher les travaux en ouvrant le « percement St-Nicolas ». Son projet

¹ - Les travaux avaient dû être protégés par la troupe.

² - Après procès-verbal dressé conjointement par Auffray, ingénieur en chef des Ponts-et-Chaussées du département, Lebrun, ingénieur ordinaire des Ponts-et-Chaussées, J.-M. Blavon-Duchesne, directeur et Pellerin, régisseur des domaines (3 complémentaire an IV, 23 vendémiaire, 11 pluviôse an V). L'autorisation d'abandon fut accordée par le directoire du département le 17 brumaire an VI (7 novembre 1797) et approuvée par décision ministérielle du 19 frimaire (9 décembre). La proposition du Conseil des Mines, en date du 8 frimaire an VI (28 novembre 1797) d'envoyer un ingénieur des mines pour dresser un procès-verbal de l'état de la mine et prendre possession des plans ne fut pas prise en compte.

³ - A.N. F 14 8111, Rapport Daubrée, 1842.

était de détourner le ruisseau « qui passait au pied du château », de le conduire à l'aide du percement St-Nicolas sur des roues qui auraient été placées dans les travaux de St-Jean et de faire écouler les eaux qui auraient servi à ces roues par le percement inférieur de St-Jean qu'il aurait fait achever... » La galerie fut percée sur une longueur de presque trois cents mètres puis abandonnée, en l'absence d'un rapport immédiat et faute de fonds¹. Les produits de l'exploitation, en effet, ne suffisaient pas même à payer ses frais de fonctionnement.

L'étonnant, à Pont-Péan comme à Giromagny, est la modicité -relative- du déficit moteur. Lodin, en 1911, calcule la puissance qu'il aurait fallu développer pour obtenir un assèchement de la mine. Il prit pour base de son travail l'estimation faite par Blavon-Duchesne du débit moyen de la venue d'eau dans les travaux, 24 pieds cubes soit 522 litres à la minute². « A prendre pour base une venue d'eau de 16,5 litres par seconde à relever de la profondeur de 360 pieds -soit 118m- l'on fait une évaluation assez large du travail théorique nécessaire ». Il est hors de doute, pour lui, que les deux machines de la Nouvelle Mine et de Bicêtre, correctement alimentées, donnaient un débit d'exhaure supérieur aux besoins³. Le manque à gagner -né de l'insuffisance en eau motrice- n'aurait été que de 26 cv...⁴ A Giromagny en 1842, Daubrée parvient au même ordre de grandeur, quand il discute de la force motrice nécessaire à l'épuisement de la mine St-Jean : « ...en ce qui concerne une reprise, une machine à vapeur de 20cv devrait probablement être suffisante »⁵. Aurait-on là une quantification technique du blocage dans le domaine de l'hydraulique ?

¹ - . Daubrée qualifie ce projet d'ingénieur : « Il mérite d'être examiné par la suite, quand on possèdera un plan des filons... » La réflexion souligne une nouvelle fois, les limites d'un système technique dénués de moyens technologique adéquats.

² - Estimation faite a posteriori, en 1827, (A.D. Ille-et-Vilaine, 10 S 10).

³ - La machine de Bicêtre suffisait à y faire face en marche normale

⁴ - « Il faut tenir compte de ce que toutes les eaux ne devaient pas être relevées du fond des travaux, car une partie importante était arrêtée au niveau de 256 pieds. Si, par conséquent, on prend pour base, une venue d'eau de 16 litres par secondes à relever de la profondeur maximum de 360 pieds soit 118 mètres, on fait une évaluation assez large du travail théorique à développer: or cette évaluation conduit à un chiffre de 26 chevaux seulement. » (A. LODIN, op. cit.).

⁵ - A.N. F14 811. Précisons toutefois qu'il y eut, dans la première moitié du dix-neuvième siècle, une nette tendance à surestimer la capacité des chevaux-vapeurs. De plus, dans un cas comme dans l'autre, les ingénieurs oublient ce que l'on peut appeler l'obsolescence technique extrinsèque c'est-à-dire la péremption avant vieillissement du matériel par accroissement tendanciel de la venue d'eau à mesure de l'enfoncement des travaux.

Il apparaîtrait, en conclusion de ce chapitre, qu'économie du blocage et économie de l'innovation ne se recouvrent qu'en partie. Leur étude nécessite de faire entrer en ligne de compte la nature-même du phénomène innovant, qu'il convient de cerner avec précision. L'innovation n'est pas obligatoirement une porte de sortie. Elle peut, bien au contraire, contribuer à l'accélération du processus de blocage. La notion de réceptivité du système technique n'en apparaît que plus essentielle à déterminer dans la compréhension du fait innovant. Il ressort, en effet, de l'histoire de la machine à feu, comme de celle du four à réverbère et de leur introduction dans l'entreprise minéro-métallurgique qu'une innovation est acceptée à la condition expresse de ne pas rompre avec l'homogénéité technique du système dans lequel elle cherche à s'insérer.

Le système technique européen s'est industrialisé parce qu'il portait en son sein les potentialités de cette industrialisation. Mais celle-ci -qui fut rupture- s'effectua en empruntant les chemins de l'hétérogénéité spatiale et s'établit en fonction de ce qu'offrait chacun des complexes techniques locaux, régionaux, voire nationaux. En d'autres termes, la révolution industrielle ne pouvait s'accomplir qu'en suivant le chemin, la pré-forme imposée par le mode antérieur de développement. Ainsi pour les ensembles industriels du Harz, de Saxe et de Hongrie, de la France et de l'Angleterre : aucune filière, aucun complexe, aucune lignée technique n'a pu s'industrialiser en faisant table rase de ses composantes technico-économiques antérieures, même si le chemin emprunté fut parfois celui de la dé-maturation. C'est tout l'apport du concept de proto-industrie, c'est tout l'intérêt du concept de système technique d'amener l'historien des phases de transition à donner dans son travail autant d'importance à ce qui précède qu'à ce qui suit. Mais n'est-ce pas là en définitive renvoyer au problème classique -et inévitable - de l'accumulation ?