

LA COULÉE CONTINUE ROTATIVE D'IMPHY

Pascal WILLEMIN

Préambule :

Cet article n'aurait pas pu être finalisé sans les éléments disponibles au fonds Louis Babel (Cote : 136 J 1-136 J 43) déposé aux Archives Départementales de la Nièvre.

Monsieur Louis Babel fils avait conservé des dossiers de travail de son père. Il a souhaité les donner. La notice du fonds mentionne des éléments bibliographiques dont quelques extraits sont rappelés.

Louis Babel, né à Chalon-sur-Saône le 5 août 1912, a fait toute sa carrière d'ingénieur aux aciéries d'Imphy. Sorti en 1936 de l'Ecole Centrale des Arts et Manufactures de Paris, il est entré à Imphy en octobre 1937. Mobilisé et prisonnier de guerre, il est de retour au plus tard en octobre 1941.

Il travaille au service Fabrication et collabore à l'élaboration de plusieurs brevets. Sous-directeur technique en 1957, il devient directeur des aciéries à l'été 1964. En octobre 1967, Louis Babel devient directeur des techniques et procédés nouveaux (DTPN). Il est mis en retraite anticipée en juillet 1973. Ce parcours industriel permettra une vue complète et précise des conditions de réussite d'un procédé en rupture : la coulée continue rotative appliquée aux aciers inoxydables.

Le jeune retraité continue à s'intéresser aux procédés de fabrication et aux brevets, ainsi qu'à l'avenir du groupe, au moins jusqu'en 1978.

Louis Babel est mort à Nevers le 27 décembre 1991.

Introduction :

L'homme a développé depuis l'Antiquité le travail des métaux et des alliages pour répondre aux besoins de la vie quotidienne. Les métaux précieux, l'or et l'argent, ainsi que le cuivre ont été travaillés les premiers dès le néolithique en parallèle avec la pierre. A ce stade, les métaux ont été utilisés natifs, mis en forme par exemple par martelage pour réaliser de petits objets décoratifs.

On a trouvé commode de définir l'âge du cuivre, l'âge du bronze, l'âge du fer avec des variations selon les zones géographiques. L'âge du bronze correspond à la naissance de la métallurgie, technique permettant d'obtenir du bronze à partir de minerai de cuivre et d'étain. On assiste alors à la dissociation de l'approvisionnement des matières premières, de la production métallurgique et de la distribution. Les activités de production se spécialisent dans le même temps. Presque dix mille ans auront été nécessaires pour atteindre cette segmentation des activités.

La métallurgie du fer, quant à elle, a pris son essor en Europe vers 1000 av. JC. Cela a nécessité un développement technique déterminant : la maîtrise de fours atteignant des températures de 1500°C.

Ensuite, l'évolution des besoins, les innovations technologiques, les besoins financiers ont continué à rythmer l'histoire de la métallurgie jusqu'à nos jours.

La course à la production de masse s'est accélérée après la deuxième guerre mondiale. Les tentatives pour couler du métal en continu se sont ainsi multipliées. Le processus de coulée continue, tant dans

son aspect technologique que dans ses implications organisationnelles à l'échelle de l'atelier et de l'usine a constitué une préoccupation de base pour tous les spécialistes dans les groupes sidérurgiques majeurs. Les exigences qualité des consommateurs, le besoin d'ajuster les prix à la demande du marché, les tensions concernant l'énergie sont les facteurs principaux qui ont stimulé le développement technologique et la généralisation du processus de coulée continue dans les 60-70 dernières années¹.

La progression de métal coulé en continu a ainsi augmenté significativement à partir de 1965. La moyenne mondiale est passée de 9 à 22% entre 1973 et 1978². En 1997, le taux de l'acier coulé en continu en Europe a atteint près de 95%³.

Il est intéressant de regarder comment cette évolution s'est concrétisée sur le site d'IMPHY aujourd'hui site de la société Aperam Alloys.

- 1 Erika Monica POPA, Imre KISS, Assessment of surface defects in the continuously cast steel, Acta Technica Corviniensis, Bulletin of Engineering, T. 4, Year 2011, ISSN, 2067 – 3809.
- 2 Daniel Rivet, L'acier et l'Industrie Sidérurgique, Que sais-je ? Presses Universitaires de France, p. 43.
- 3 Rapport annuel 1997 sur l'investissement dans les industries charbonnière et sidérurgique de l'Union Européenne, Rapport IP/98/569 du 25 juin 1998.

Une succession d'installations permettant la mise au point d'un projet révolutionnaire : la coulée continue rotative

Le 4 mars 1978, M. Legendre, directeur du site d'Imphy s'exprimait ainsi lors de l'allocution de remise des médailles du travail : « Ce procédé est né à Imphy en 1957 et on doit y associer le nom de mon prédécesseur M. Louis Babel; les premières applications industrielles, pour des aciers ordinaires, datent de 1967 ; l'installation d'Imphy sera la première mondiale destinée à des barres en aciers inoxydables, voire par la suite en alliages plus complexes, susceptibles d'être transformés directement sur un laminoir en continu; elle aura demandé quatre années d'études spécifiques de 1974 à 1978 »⁴.

Il s'agissait au départ d'une volonté, celle d'offrir au marché des familles de produits bien ciblés, spécifiques aux principaux partenaires industriels de l'histoire de la coulée continue rotative : les tubes sans soudure pour Vallourec et le fil machine et les barres pour Imphy. En 1957, Monsieur de Mijolla, Président Directeur Général de la Société Métallurgique d'Imphy (SMI) et Monsieur Tourtoulou, Directeur Général de Vallourec, concluaient un accord pour la mise au point, en commun, de la coulée continue centrifuge (C.C.C.).

La machine C1 – La fabrication d'ébauches tubulaires – 1957 à 1961 :

Vallourec avait dessiné une machine C1 suivant les directives de M. Tourtoulou. Cette machine avait été construite puis implantée à Montbard. Imphy, de son côté, utilisait une petite machine de coulée continue installée à l'atelier Traitements thermiques et Moulages. C'était une machine de coulée continue mise au point par M. Seloron, des Etablissements Jacob Holzer à Unieux, initialement capable de couler, à faible vitesse d'extraction, des ovales de 80 mm x 60 mm, en aciers rapides. A Imphy, la principale fabrication était axée sur les aciers inoxydables destinés aux baguettes de soudure. Avant leur passage au train à barres, celles-ci étaient obligatoirement meulées sur toute leur surface.

Par ailleurs, Imphy avait en exploitation des machines à centrifuger à axe vertical ou horizontal pour obtenir des corps creux de révolution. Ces ébauches permettaient d'obtenir après usinage des pièces destinées à l'aviation : chemises Hercules,

chambre de combustion. La formation de criques longitudinales a conduit à de nombreux tâtonnements pour garantir un niveau de qualité acceptable.

A Montbard, l'exploitation de la machine C1 était très intermittente du fait d'un approvisionnement de métal en quantité réduite à partir d'un four Maz de 500 kg. La machine fut donc transportée à Imphy, implantée à la place de la machine d'Unieux, pour rendre les essais plus systématiques, plus fréquents et pour permettre une véritable démarche de mise au point. Les ébauches tubulaires, coulées en aveugle dans un répartiteur logé à la partie supérieure de la lingotière, étaient affectées de coulures de métal et de criques tant longitudinales que transversales compte tenu d'une alimentation défectueuse en métal liquide et de l'absence de graissage du corps moulé. Les ébauches pesaient de 200 à 250 kg, pour une longueur d'1,2 à 1,5 m et un diamètre externe de 200 mm.

L'amélioration de la qualité est passée par la maîtrise de l'arrivée constante de métal liquide (via une busette courbe) et un graissage à l'huile de colza facilitant l'extraction de l'ébauche. La partie haute de la machine était ainsi conçue comme le montre la Fig.1.

Les premières ébauches tubulaires furent passées au train Stiefel de laminage de tubes d'Aulnoye en 1958 avec succès. Ces premiers résultats conduisirent à la décision de M. de Mijolla et de M. Tourtoulou de construire en commun une machine semi-industrielle, implantée à Imphy, la machine C2.

Les évolutions ont été dessinées par :

- M. Marmorat pour la partie tournante
- M. Peytavin pour le basculeur
- M. Nousbaum pour la coupe au chalumeau

La réalisation des ensembles mécaniques était du ressort des Ateliers de Montbard (Société de constructions mécaniques de Montbard).

⁴ Pierre Legendre, Allocution remise des médailles du travail du 4 mars 1978, Imphy-information Creusot Loire, Aciéries d'Imphy, n°53 Avril 1978.

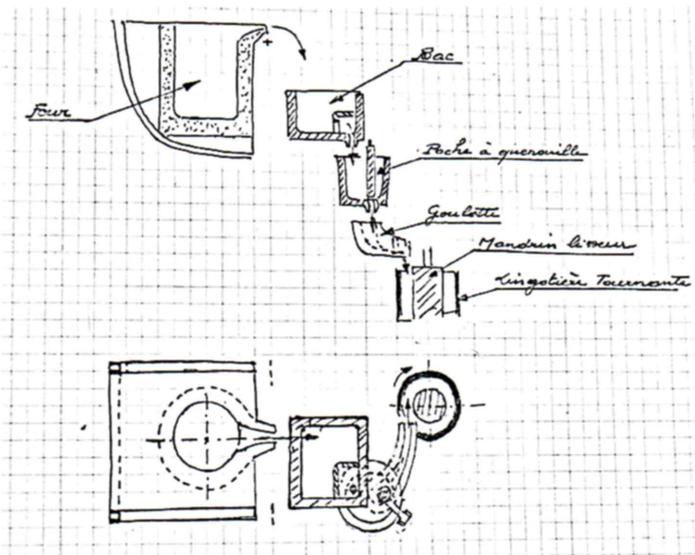


Fig. 1 : partie haute de la machine dessinée par L. Babel

La machine C2 – 1962 à 1968 :

Cette machine C2 était équipée d'une coupe au chalumeau automatique et d'un basculeur. Les différents organes de la tête de la machine intégraient de multiples possibilités de réglages dimensionnels avec des entraînements en rotation de vitesse complètement ajustable⁵.

L'amenée de métal avait été optimisée pour être fiable. Seuls des tubes ont été coulés jusqu'à fin 1963. La peau extérieure des ébauches était bonne, la peau intérieure présentait des défauts. L'amélioration des produits est passée par un travail sur la conicité de la lingotière et l'ajustement dimensionnel de différentes pièces de la machine.

A partir de 1963, des ronds pleins ont été coulés. Ensuite trois innovations ont permis des avancées notables : le contrôle du niveau en lingotière, la régulation automatique de ce niveau et le sas à argon. Un exposé postérieur de L. Babel⁶⁷ explique l'intérêt de cette dernière amélioration :

« A la sortie du tundish, le métal en contact avec l'air s'oxyde dans ses jets de coulée et en lingotière, cela plus ou moins selon les nuances coulées, c'est-à-dire plus ou moins oxydables à l'état liquide. En ce qui

concerne les aciers au carbone ou faiblement alliés ... il se forme alors à la partie supérieure du métal en lingotière un laitier assez fluide qu'il est assez facile de « décrasser », opération dite « pêche à la ligne ».

Par contre quand il s'agit d'aciers inoxydables, c'est beaucoup plus grave : ce n'est plus un film, ni un voile, mais une véritable peau d'oxyde de chrome.

Si le jet et le métal en lingotière ne sont pas protégés de l'air, il n'y a pas de coulée continue centrifuge en inoxydable qui puisse être réussie : la peau et la santé interne sont défectueuses. Le sas à argon est indispensable. »

Les machines C31 et C32 – Juillet 1967 à fin 1972 – les installations Anzin et Decazeville :

La machine C2 fut redessinée et donna naissance à deux machines⁸ :

- C31 à col de cygne (Peytavin) avec 2 lignes d'extraction, à Anzin
- C32 en pont (Marmorat) avec 4 lignes d'extraction, ramenées à 3, à Decazeville

L'une et l'autre comportaient trois zones de refroidissement secondaire, séparées par des lunettes tournantes, alors que la machine C2 ne comportait qu'un refroidissement secondaire embryonnaire. Le démarrage d'Anzin eu lieu en janvier 1969 et celui de Decazeville en septembre 1969 avec les mêmes formateurs : MM. Lenicka, Foucrier et Pichon.

Les innovations ont continué à un rythme soutenu avec la transposition du système d'oscillation adopté pour les coulées continues conventionnelles. M. Peytavin à Anzin réussit un véritable tour de force en multipliant par deux ou trois la vitesse d'extraction grâce l'oscillation hydraulique du support de lingotière dès avril 1969, soit 4 mois après le démarrage. M. Marmorat n'est pas en reste à Decazeville : dès le résultat connu, il transpose la solution lors du démarrage de l'investissement.

Le système de coupe des billettes a nécessité de nombreux essais. La coupe au chalumeau a été abandonnée. La coupe à la scie (idée de M. Marmorat et réalisation de M. Peytavin) s'est imposée avec l'absence de panne, une durée de vie de la scie atteignant 1000 coupes, un peu moins avec l'inox, et donc un coût d'exploitation minime.

5 L. Babel, J. Dedieu, Un nouveau procédé de coulée continue de ronds en acier, Sciences et Techniques n°4, novembre-décembre 1966, pp. 723 - 734.

6 L. Babel, Machine CCR- DMS, note de M. Babel M. Eichisky du 16 décembre 1976.

7 L. Babel, les grandes étapes de la coulée continue centrifuge de 1957 à 1972, rapport interne du 22 janvier 1978.

8 Note IY du 5 janvier 1972, « Journées d'automne de la société française de métallurgie », « Développement du procédé de coulée continue », MM. Barthelemy, Gatelais, Peytavin, Babel et Dedieu, (société Vallourec, Creusot-Loire et AUMD).

D'après L. Babel⁹, « si ces deux dernières innovations n'avaient pas eu lieu, c'en était fait de Decazeville et de la coulée continue centrifuge ! ... Mais comme aimait à le dire P. Chevenard, la Providence fait bien les choses et ... bien des choses ».

Un travail conséquent avait aussi été effectué sur le centrage de la machine de coulée car les percées représentaient et représentent encore des événements extrêmement critiques lors de l'exploitation. Il est remarquable de constater qu'en 1972 les actionneurs étaient déjà bien cernés : « les ronds de faibles diamètres sont plus sensibles que les ronds à diamètres plus forts ; pour un diamètre donné, un rond en acier doux avec faibles teneurs en soufre et phosphore est moins sensible aux percées que ce même rond en acier doux, mais avec des teneurs plus fortes en soufre et en phosphore. Il est à remarquer que l'alignement varie dans le temps ... les percées ne sont pas uniquement dues au mauvais alignement, mais avec un personnel entraîné et du matériel rodé, c'est là qu'il faut en rechercher la cause, pour plus de 50% des cas »⁷.

Enfin, en 1972 le travail a été complété. Couler de l'acier liquide impose une parfaite maîtrise de l'échange de chaleur pour garantir la meilleure structure possible des produits obtenus. La solidification en continu de l'acier nécessite une bonne qualité de peau du métal qui commence à se solidifier grâce au refroidissement primaire. Il s'agit de l'extraction de chaleur obtenue via un courant d'eau qui passe en continu contre la face externe de la lingotière (Fig.2). L'acquis obtenu à l'époque a consisté à optimiser la surface d'échange de la chaleur et à faire circuler l'eau dans le sens inverse à l'extraction du métal.

Enfin, lorsque le produit est extrait de la lingotière il s'agit de compléter l'extraction de la chaleur via un arrosage externe (Fig.3) de façon à obtenir un produit complètement solidifié. L. Babel signale que « Dans la coulée continue centrifuge, c'est tout le rond en cours de solidification qui tourne devant les rampes de gicleurs fixes, disposées assez régulièrement sur le pourtour. Il s'avère que le refroidissement secondaire, avec ses divers étages, n'a pas besoin d'être bien précis pour être efficace et sans danger pour la santé interne du rond coulé, tout au moins pour toutes les nuances coulées à ce jour »⁷. Néanmoins, cet « échangeur de chaleur » consomme beaucoup d'eau, avec des débits jusqu'à trois fois supérieurs aux machines de coulée standards. Comme le remarque L. Babel, « l'eau même recyclée n'est pas gratuite » ce qui suggère des axes de progrès.

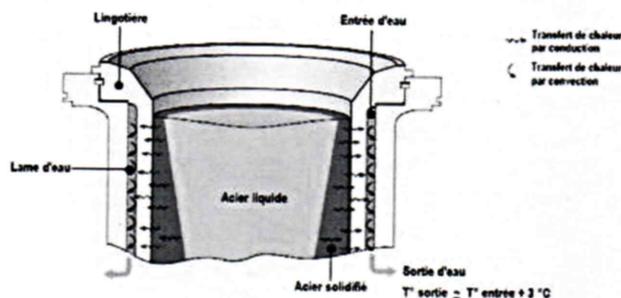


Fig. 2 : schéma du transfert de chaleur entre la lame d'eau et la lingotière⁹. Notons que l'écoulement d'eau actuel est dans le sens contraire indiqué par L. Babel.

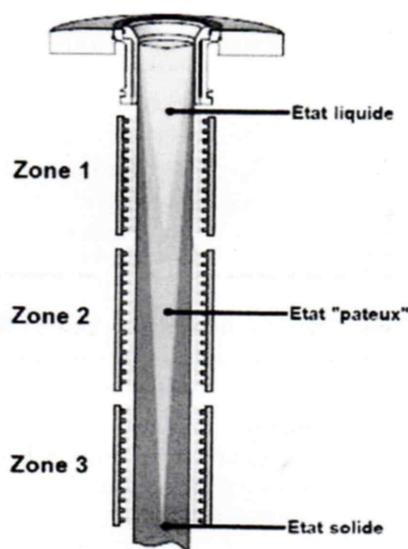


Fig. 3 : schéma du refroidissement secondaire de la coulée continue centrifuge⁹.

⁹ Module de formation, Encyclopédie de la coulée continue, Aperam Alloys Imphy.

Une accélération du projet en 1972 :

L'exploitation des machines de coulée à Decazeville et à Anzin a connu des difficultés. Dans le même temps, des commandes sont enregistrées pour les Etats-Unis (Michigan Seamless Tubes (MST)) et pour le Japon (Nikon Kokan à Keihin (NKK)). Cela a conduit à une réflexion sur la simplification des machines et sur le changement rapide d'éléments mécaniques.

Les paramètres nécessaires sont manquants ou erronés.

Ci-dessous, Tab. 1 Description des différentes installations de coulée continue centrifuge avec pour chacune, l'indication de la société d'engineering et du constructeur¹⁰.

Implantation Société Date de mise en service	Nombre de lignes Alimentation	Diamètres produits (mm) Hauteur métallurgique Hm (m) Longueur de coupe (m)	Moyen d'élaboration Capacité (t)	Engineering (E) Constructeur Machine (Cm)
Anzin (France) Vallourec 1969	2 lignes 1 seul tundish	90 à 165 7,5 3,6 à 6	Four à arc 20 t	E : Vallourec Cm : Montbard - ACM (Vallourec)
Decazeville (France) SMI - AUMD 1970	3 lignes 1 tundish par ligne	90 à 165 7,5 3,6 à 6	LD ou CLU 15 t 3 fours à maintien 17 t	E : SMI - AUMD - DTPM Cm : Montbard - ACM - Imphy
NKK (Japon) Nippon Kokan Mars 1974	4 lignes 1 seul tundish	120 à 250 16,5 5,5 à 11,5	LD 80 t Four à arc 40 t	E : KHI - Vallourec Cm : KHI
MST (Etats-Unis) Michigan Seamless Tubes Juillet 1974	2 lignes 1 seul tundish	90 à 180 12 8	Four à arc UHP 40 t	E : Vallourec - MST Cm : DMS - Montbard
Saint Saulve (France) Vallourec Juillet 1975	4 lignes 1 seul tundish	120 à 210 14 9	Four à arc UHP 60 t	E : Vallourec Cm : DMS - Nord

L'émergence de la deuxième génération de machines de coulée continue centrifuge : 1972 à 1975 :

Les essais d'Imphy à Decazeville ont permis de compléter la transposition des acquis de l'équipe d'Imphy à la machine de Decazeville. Il s'agissait en particulier de couler des nuances inoxydables qui requièrent une protection complète de l'air, protection acquise via un sas à argon développé à Imphy.

Cette avancée majeure n'a pas été partagée facilement par les opérateurs. L. Babel mentionne : « Il faut une certaine pratique du pocheur pour s'accoutumer au sas à argon. Si en 1970, à Decazeville, il avait fallu imposer cette contrainte supplémentaire, à l'époque c'eut été un refus inconditionnel : le personnel était insuffisamment entraîné. Par contre, depuis 1975, l'opinion est tout autre : pocheurs et pêcheurs à la ligne ont demandé que le « sas à argon » reste à demeure (aciers ordinaires et faiblement alliés compris) »⁷.

Ce passage illustre le nécessaire partage entre les équipes techniques et les exploitants pour mettre en œuvre naturellement les évolutions de procédés. Nous y reviendrons ultérieurement car il s'agit d'un des facteurs de réussite de tels projets industriels.

Fin 1975, force est de constater l'existence de deux générations de machines de coulée continue centrifuge. La première génération avec Anzin et Decazeville et la deuxième génération avec les machines installées chez NKK au Japon, chez MST aux Etats-Unis et à Saint Saulve en France.

La différence entre les deux repose essentiellement sur :

- les hauteurs métallurgiques accrues permettant une meilleure maîtrise de la solidification et une capacité horaire plus élevée
- une augmentation significative du diamètre des ronds de sortie et des longueurs de billettes produites
- des facilités de réglage d'alignement, d'accès aux organes essentiels et d'intervention en cas de panne ou d'incident, par un changement standard d'un ensemble complet

Le tableau 1 donne le détail de la situation de l'époque¹⁰.

¹⁰ L. Babel, Coulée continue tournante – Procédé SCEC et procédé « Eichweiler + IRSID », février 1976.

La solution en 1976 : le procédé de la Société Civile d'Etudes de la Centrifugation

L'organisation – les missions :

La tactique des pilotes industriels successifs a été doublée en permanence par une organisation dédiée avec la création d'une société, la Société Civile d'Etudes de la Centrifugation (SCEC), qui deviendra la Société d'Etudes de Centrifugation (SEC).

Cette société dépendait pour 50% de Vallourec et de 50% de Creusot-Loire. Les politiques et les stratégies des deux sociétés mères n'étant pas forcément les mêmes, la position de la SEC a été parfois délicate.

La SEC était alors dépositaire d'une part des brevets et plans, et d'autre part des techniques et procédés Coulée Continue Rotative (CCR). A ce titre, la SEC avait pour missions de prospecter et de vendre le procédé, de négocier des licences et royalties, d'organiser des visites des usines licenciées, d'être un conseil pour la clientèle, d'assurer une liaison permanente entre les différents licenciés.

La SEC était chargée de percevoir « cash » et « royalties » et en contre partie d'assurer le know-how c'est-à-dire, la formation du personnel, la mise en route de l'installation CCR, les garanties de productions horaires.

La négociation des licences et royalties impliquait l'accord des deux sociétés mères Vallourec et Creusot-Loire, sans compter celui du troisième partenaire : la société Dujardin Montbard Somenor (DMS) qui vendait alors la mécanique.

La question de la responsabilité de la SEC s'était posée très précisément lors de la vente des machines de coulée continue. M. BABEL¹⁰ précisait « cette responsabilité débute sans aucun doute avec la répartition du métal en lingotière, puisque l'alimentation tangentielle fait partie des brevets SCEC ... et se termine à la sortie des barres tronçonnées. Le refroidisseur, le stockage et le transport des billettes sont à la charge du client ou de DMS, selon le choix du client. La formation du personnel est du ressort de DMS. ».

Le projet d'Imphy :

La volonté d'offrir au marché des familles de produits spécifiques, les tubes sans soudure pour Vallourec et le fil machine et les barres pour Imphy, volonté exprimée dès 1957, s'est confirmée d'année en année. Cela s'est traduit par la mise au point progressive des divers prototypes industriels développés sur les différents sites, Imphy recourant à la sous-traitance pour évaluer certains outils et solutions industriels.

En 1975 on assiste à une nouvelle accélération du projet, accélération consécutive à une succession d'évènements techniques et organisationnels.

Le contexte et les décisions :

L'évènement le plus marquant qui va constituer l'élément décisif est la production en 1975 d'aciers inoxydables satisfaisant les critères de qualité. Cette production étant réalisée à Decazeville, Imphy décide alors d'investir. La coulée d'Anzin ne fonctionne qu'épisodiquement et elle constitue une réponse possible au besoin d'Imphy qui propose de la racheter. Vallourec, propriétaire d'Anzin, manifeste son accord puis finalement refuse de vendre. Imphy va donc adresser une demande à DMS, filiale de Vallourec, pour la fourniture d'une coulée continue neuve.

Fin 1975, Michigan Seamless Tube (MST), licencié SCEC aux Etats-Unis, demande une réunion avec Vallourec. Cette réunion a lieu lors d'un voyage du 13 au 18 octobre 1975, avec MM. Laballarie (Directeur Général de Vallourec), Guesné (Directeur Adjoint de Vallourec) et Mola (Directeur du site de Saint Saulve). Ce voyage est suivi d'une réunion le 23 octobre chez Vallourec – à la demande de Vallourec – entre MM. Laballarie, Guesné, Leclerc (Responsable Engineering), Mola représentant Vallourec et MM. Fourt, Nousbaum représentant Creusot Loire. Les orientations sont claires et décisives :

- Le bureau Engineering situé au rond point Bugeaud, dirigé par M. Leclerc est dissout.

- Le site de Montbard ne fabriquera plus de coulée continue centrifuge, M. Ruer – Directeur de Montbard – va à Saint Saulve. Seul DMS fabriquera dans une seule usine.

- Michigan Seamless Tube a toute liberté pour développer ses affaires, sachant que cette décision avait déjà été actée quelques jours auparavant lors du voyage aux Etats-Unis sans que Creusot Loire en soit informée.

- La position de Creusot Loire exprimée par M. Fourt est alors claire : Vallourec se débrouille comme il l'entend avec les tubes sans soudure « c'est son fief et c'est son job », Creusot Loire en contre partie fabrique comme il l'entend les barres et les fils, c'est son domaine.

- Creusot Loire poursuit régulièrement des travaux à façon avec l'Arbed. L'Arbed a opté pour une coulée continue non centrifuge (type Eichweiler) avec participation active de l'IRSID dans sa mise au point. L'ARBED a également accès à un laminoir planétaire oblique Schloeman Siemag chez Buderus. Creusot Loire – Decazeville et Imphy – font ainsi transformer les ronds de coulée continue centrifuge sur ce laminoir. Cette relation Creusot Loire – Arbed permettait de garder un œil sur les développements et les capacités des différents procédés de coulée et de transformation à chaud.

Cette stratégie prendra tout son sens quand Vallourec exprimera une fin de non-recevoir à une association avec l'Irsid sur la coulée continue. Creusot Loire intensifie alors ses liens avec l'Arbed en

multipliant les activités en sous-traitance avec celle-ci : transformation des brames d'Invar Méthanier M63 en bobines (coils), ébauchage de lingots méplats de 8t pour donner in fine des coils en aciers et alliages spéciaux. Cela permettait de comparer en permanence les différents procédés concurrents qui se mettaient alors en place.

Le procédé Eichweiler ou le procédé SCEC ? :

Fin 1975, deux procédés existent : le procédé Eichweiler et la coulée continue centrifuge. Une analyse comparative du potentiel des deux procédés est formulée par L. Babel¹⁰. Il serait plus juste de parler de procédé Eichweiler modifié IRSID (MM. Vaissières, Trentini et Albery) qui consiste à assurer la rotation électromagnétique du métal liquide en lingotière. La coulée continue centrifuge, quant à elle, se caractérise par la rotation mécanique de la lingotière entraînant celle du métal liquide.

La rotation du métal liquide en lingotière est alors LA condition reconnue comme étant nécessaire et suffisante pour garantir la qualité de peau des produits de coulée continue. Dès lors, les deux procédés concurrents avaient leurs chances.

Une analyse plus fine montrait un avantage certain du procédé Eichweiler pour les diamètres inférieurs à 300 mm du fait d'un encombrement moindre, d'une plus grande simplicité mécanique et donc d'un coût d'investissement et d'exploitation plus faible. Les améliorations évoquées pour le procédé SCEC consistaient alors à mieux maîtriser le refroidissement secondaire et à améliorer la structure des billettes en installant sous lingotière un brassage électromagnétique, soit transversal en sens inverse de la rotation mécanique, soit longitudinal. L'impact serait positif sur la productivité, la santé interne et la distribution inclusionnaire des produits.

La réussite métallurgique du procédé réside donc dans la qualité de peau obtenue et dans une moindre mesure dans la santé interne. Le cumul des deux procédés CCR et Eichweiler permettrait une amélioration majeure selon L. Babel¹⁰ selon les mécanismes suivants, tels qu'évoqués à l'époque :

- Écrêter les dendrites – les premiers cristaux de métal solide - en cours de formation dans la lingotière
- Éliminer le « marais » qui existe lors de la solidification, magma liquide – solide très mauvais conducteur thermique. Cela revient à favoriser les échanges, liquide – peau solide - refroidissement secondaire.
- Emulsionner dans une section droite le mélange liquide résiduel, c'est-à-dire homogénéiser la température du liquidus dans une section droite et la répartition des inclusions centre – peau

- Enfin et par conséquence, réduire de façon sensible les retassures en chapelet ou ce qu'il en reste
- Laminer dans la foulée : les produits CCR ne nécessitant aucune réparation

La proposition de fusionner les deux procédés en un seul amélioré n'a cependant pas eu de suite, Vallourec et Creusot Loire ayant alors des objectifs fondamentalement différents.

Le point des fabrications début 1976 :

Au début 1976, 1 million de tonnes avaient été produites en coulée continue centrifuge, la majeure partie pour les tubes sans soudure en aciers au carbone doux, demi-doux et demi-durs. D'autres nuances avaient été testées avec succès : la production d'aciers fins au carbone (fil Michelin), d'aciers alliés pour roulement et enfin des aciers inoxydables. Début 1976, il n'y avait pas d'expérience industrielle concernant les aciers pour décolletage, les alliages Fe-Ni et Ni purs, les aciers à outils, les alliages dits super-réfractaires (résistants à la corrosion, base nickel à hautes teneurs en éléments d'alliage chrome, molybdène, niobium ...), les alliages pour résistances électriques (base fer à hautes teneurs en chrome, aluminium ...).

A ce stade L. Babel¹⁰ exprimait clairement ses doutes quant aux perspectives de développement « Si la fabrication peut être envisagée pour un certain nombre de ces nuances, elle apparaît bien délicate pour les super-réfractaires corsés type « UDIMET 500 » et pour les alliages Fe-Cr-Al type « KANTHAL », c'est-à-dire : RCA33 et RCA44 IY ».

Les essais préparatoires d'IMPHY :

« Le laminage dans la foulée des produits de coulée continue constitue un autre point important du procédé. Une première remarque s'impose : alors que la peau des produits bruts des coulées continues classiques est quelconque ce qui conduit pour un laminage dans la foulée à un produit de qualité douteuse, il en va tout autrement pour les produits de coulée continue centrifuge qui ne nécessitent aucune réparation »¹⁰.

Imphy avait donc déployé des efforts pour capitaliser les résultats de la première transformation à chaud des billettes de coulée continue. Ces résultats issus de travaux en sous-traitance restaient difficiles à obtenir. En dépit de ces difficultés, les points acquis étaient très incitatifs : pour des billettes de diamètre compris entre 50 et 220 mm un taux de corroyage de 4 à 5 suffisait pour garantir la même structure que la filière lingot – blooming – laminoir (selon les exigences du cahier des charges ½ produit classique). Cela permettait d'envisager de nouveaux débouchés pour des applications exigeantes de l'automobile et de l'aviation. Le laminage direct devenait lui-même un moyen de contrôle pour des défauts très rares et difficiles à détecter.

En 1975, 1000 tonnes d'aciers inoxydables affinés selon le procédé Creusot Loire Uddelhom ont été laminés : 60% constitués par des nuances ferritiques (12, 14% et 17% de chrome) et des nuances martensitiques (12 à 14% de chrome) ; 40% constitués par des nuances austénitiques (304, 316, 302, 304L, 316L) et austéno-ferritiques (309 et 309). 800 t ont été laminées en fil machine au train à petits fers (TPF) d'Imphy. Le fil machine a ensuite été tréfilé soit à Imphy, soit à l'Ondaine pour les applications frappe à froid, fil très fin pour ressort... applications qui prendront leur essor industriel 10 ans plus tard ! Aucune réparation, aucun meulage n'a été nécessaire : c'étaient des ronds bruts de coulée continue rotative (CCR) ! Des conditions supplémentaires spécifiques aux aciers inoxydables ont été définies pour garantir ce résultat : l'inertage du métal liquide lors de la coulée avec de l'argon, permettant qualité et productivité (12 t/h). Le problème de la reprise carbone lors de la coulée lubrifiée à l'huile de colza est évoqué avec une solution du moment : le substitut à l'huile de colza « Crodocast Mw 1125 » produit par Farbest Croda à Quesnoy sur Deule 59890. Ce produit « mythique » reste encore le graal de tout exploitant d'une coulée continue rotative.

Le choix d'Imphy dans un environnement en croissance rapide :

Fin 1975, la production des coulées continues rotatives (Tab. 2) continue donc de s'accroître rapidement.

Dès lors, la question de l'exploitation industrielle avec des ratios de productivité acceptables était posée. Les corollaires de cette problématique sont immédiats : une alimentation de métal liquide en continu 24h sur 24h sur des durées atteignant la semaine, la tenue en conséquence des réfractaires vis-à-vis du métal liquide.

La conclusion s'imposait pour Imphy¹⁰ : « Quoiqu'il en soit, dès maintenant, cette coulée continue a prouvé, dans son exploitation, que c'était un moyen sûr, pour produire dans de bonnes conditions de nombreuses nuances avec une économie notable d'énergie, une mise au mille réduite et une qualité rarement atteinte par une coulée continue classique. » La phase d'avant projet était close.

Début 1976, IMPHY attendait la réponse de DMS à sa demande de fourniture d'une coulée continue centrifuge.

Le projet : La coulée continue rotative à Imphy

La production d'aciers inoxydables en coulée continue a été le résultat d'efforts constants tant dans la maîtrise de l'élaboration que dans la maîtrise de la coulée. Nous devons sans conteste cette réussite à J. Morlet qui a directement mené et supervisé les études préparatoires durant toute cette période. La définition de l'installation d'Imphy, en intégrant la finalisation des gammes des alliages d'Imphy, a donc fait l'objet d'un travail de plusieurs années.

L'offre DMS – L'accélération du temps – La demande de crédit global :

Fin 1976, DMS a répondu positivement à la demande d'Imphy avec le devis n° 2622/19D du 15 septembre 1976. Il se montait à 11 289 800 FF pour les deux lignes de CCR « type S8 », c'est-à-dire pour des diamètres de barres compris entre 125 et 205 mm⁶. A cela il fallait ajouter le montage, les éléments amont et aval à la machine CCR, le génie civil avec les postes : démolition, fondations, pistes, voies ferrées, les bâtiments et les charpentes métalliques, les bâtiments et tour de coulée, les bâtiments annexes, les ponts de coulées, le matériel de manutention ... La demande de crédit global s'élevait donc à 28 300 000 FF.

« Le 16 décembre 1976, la décision d'installer d'emblée deux lignes de coulée continue rotative vient d'être prise par M. Collas, Directeur Général Métallurgie à Creusot Loire. Suite à sa demande, les Acieries d'Imphy ont fait une demande de crédit global de l'installation. Le feu vert devrait parvenir à Imphy sous peu »⁶.

Les axes du cahier des charges :

L. Babel⁶ rappelle « Bien entendu, mais ceci entre nous, pour les gens qui produisent de « l'acier à ferrer les ânes » une telle installation de machines CCR qui est coûteuse, n'est pas nécessaire. Une coulée continue type « Concast », construite par Demag, est bien suffisante... Enfin, la machine CCR est la seule actuellement, qui avec un nombre de lignes réduit, est

Installation	Production mensuelle (t)	Remarque
Anzin	?	Pas de production régulière En moyenne - En avril 1975 - Converge vers 30 000 t Nette progression en cours En cours de mise au point
Decazeville	10 000	
NKK	24 000	
MST	5 000 à 6 000	
Saint Saulve	5 000	

Tab 2 : Production des machines de coulée continue rotative fin 1975

capable de sortir des barres de faibles sections (carré de 50 mm), jusqu'aux ronds de 250 mm, ceci grâce à une transformation à chaud « dans la foulée » ... Quand il s'agit d'élaborer des aciers fins au carbone jusqu'aux alliages inoxydables évolués, en passant par les aciers alliés de construction et de cimentation, les machines CCR sont nécessaires. Dans l'état actuel des choses, ce sont les seules qui malgré le coût de l'achat sont susceptibles de produire un demi-produit de départ (rond) correct, qui conduit à un produit final de qualité requise, avec le meilleur prix de revient, amortissement compris. ».

L'exigence des aciers inoxydables était spécifique à Imphy. La nécessité de la protection du jet en lingotière était connue par DMS et la SEC. Il s'agissait clairement d'une réalisation à la demande d'Imphy, selon les plans et instructions d'Imphy, moyennant un surcoût.

On retrouve les motivations d'un processus industriel court, donc économique, pour des alliages de niche destinés à des applications particulières, dans une gamme de sections inférieures à 250 mm de diamètre.

Les atouts de la machine CCR :

Les atouts mécaniques : avec la simplification des machines, l'accessibilité, l'interchangeabilité, les montages et démontages rapides d'ensembles mécaniques, la facilité de la vérification et de l'exécution du centrage en cours d'exploitation, l'efficacité, la fiabilité et la finesse du système de coupe. Ce sont de solides arguments garantissant une exploitation robuste. Les exigences économiques sont parfaitement intégrées.

Les atouts métallurgiques : la qualité de peau, la santé interne des billettes avec un large éventail de nuances testées, l'homogénéité des refroidissements primaire et secondaire, enfin, le peu de variations dimensionnelles et d'ovalisation, de coulée à coulée participent à la meilleure réponse métallurgique du moment aux exigences d'Imphy.

De multiples essais ont prouvé l'excellente qualité de peau. Quelques exemples relatés par L. Babel⁶ nous le rappellent car « ce qui est moins connu, c'est le nombre d'autres fabrications, qui nécessitent comme produit de départ, des produits présentant un très bel état de surface, produits écroutés, meulés ... etc. . Dans de telles applications, les ronds bruts de CCR conviennent très bien, et les remplacent avantageusement (qualité et prix de revient). Par exemple, le demi-produit pour le laminage, le cas du fil Michelin. En 1971 – 1972, un millier de tonnes de ronds bruts de CCR, diamètre 120 mm en XC70 provenance Decazeville et pour essais, ont été laminés au train à petits fers (TPF) d'Imphy. Le détecteur de défauts restait sans réponse à tel point que le personnel du TPF a cru que l'installation était hors d'usage. Il n'en était rien car deux ou trois

billettes du Creusot prouvèrent qu'il marchait très correctement, car immédiatement sont apparus des défauts légers, plus graves ... Un tel test prouve bien une peau de qualité ! ». On observe à ce moment les mêmes résultats qualité pour les fabrications de petits ronds pour l'automobile pour des pièces de sécurité, par exemple, les crémaillères en CD4.

L'atout économique : les mêmes constats sont effectués pour les fabrications de fil machine en acier inoxydable, par exemple pour l'application frappe à froid. Dans ce cas, « il y a trois opérations supprimées sur cinq, dont un meulage complet supprimé sur les quatre faces de billette et la qualité obtenue sur frappe à froid est au moins équivalente sinon supérieure : essais entrepris par Kanthal et conclusions Kanthal – Bultenfabrik confirmées à Imphy »⁶.

Enfin, pour les applications fil machine inoxydable, on confirme alors la suppression de trois opérations de fabrication sur cinq, avec la suppression du meulage des billettes et un gain de près de 30% de métal nécessaire pour obtenir le métal bon pour livraison.

La conclusion économique s'impose « du point de vue prix de revient, il y a une diminution d'au moins 500 F par tonne dans l'état actuel des choses. C'est cette dernière constatation qui étant donnée la conjoncture présente a motivé courant novembre 1976 un revirement du directeur général de la métallurgie de Creusot-Loire quant à son opinion sur les machines CCR.

L'atout développement « potentiel d'applications » : « Les machines CCR pouvaient fabriquer économiquement et avec succès autre chose que des ronds à tubes sans soudure. A savoir des ronds bruts corrects en inox Fe-Cr et Fe – Ni – Cr pour un de ses débouchés privilégiés en produits longs (note de l'auteur : débouchés de Creusot Loire). Seules les machines CCR, dans l'état actuel des choses, sont capables de le faire, et ce débouché là, Creusot Loire ne veut pas le perdre. Par ailleurs, il est indispensable pour les Acieries d'Imphy, qui sont réputées pour un grand nombre d'alliages spéciaux et très spéciaux, d'avoir une production de base qui constitue la majeure partie du tonnage mensuel sorti. Autrefois, c'était les aciers alliés. Mais depuis 15 ans environ – début des années soixante -, il a fallu effectuer une reconversion et ce sont les aciers inoxydables qui ont pris la relève. Dans cette fabrication spéciale de produits longs, Imphy entend avoir une position de leader et la consolider »⁶. La diversité des autres applications en intégrant également la fabrication de pièces matricées, estampées et forgées obtenues à partir des ronds de CCR permettait d'envisager les pièces de sécurité destinées à l'automobile (Citroen et Unic), les cages à roulement en 100 C6, les essieux de camions.

Enfin, l'application « ronds à tubes » a sans doute été envisagée au moins dans son potentiel « car s'il

a été prouvé que le rond inox CCC écrouté se prête parfaitement aux opérations de filage, ce serait tellement mieux et plus économique d'obtenir les mêmes résultats avec un rond brut CCC juste chanfreiné à une extrémité (il s'agit de garantir l'engagement du rond dans la presse à filer côté filière) »⁶.

Pourtant, il est remarquable de constater qu'en réalité, le cheminement a été inverse. L. Babel⁶ rappelle « Au départ les machines CCR ont produit et produisent ce pourquoi elles ont été construites c'est-à-dire du rond pour tubes sans soudure. Les diverses nuances, destinées à cette fabrication, ont été testées puis généralement mises au point.

Et puis avec quelques hésitations, sinon avec quelques réticences, la question s'est posée « et pourquoi ce rond de « qualité » ne pourrait-il pas servir à d'autres choses ? ». C'est ainsi que petit à petit, il est apparu que son emploi pouvait se faire avantageusement pour des fabrications très variées, et que de plus ces machines CCR pouvaient couler avec succès des nuances de plus en plus nombreuses. »

Les responsabilités :

Les responsabilités dans un tel projet devaient naturellement être précisées. Cette discussion a été formalisée par L. Babel⁶ en distinguant la construction et le montage de la machine CCR : « Dujardin – Montbard – Somenor (DMS) est le constructeur de la machine. Sa responsabilité commence donc à la partie supérieure de la machine c'est-à-dire bloc lingotière inclus, arrivée de métal en lingotière exclue ; elle se termine au convoyeur inclus c'est-à-dire l'équipement qui permet l'introduction et la sortie du mannequin (*). En d'autres termes, l'ensemble mécanique livré forme un tout, c'est-à-dire une machine qui doit parfaitement fonctionner à froid, c'est-à-dire qui a subi chez DMS un essai satisfaisant avant expédition. Tout ensemble usé devra être remplacé à titre onéreux par DMS par un ensemble neuf correct et livré rapidement. Il est souhaitable que le montage ait lieu sur place par les soins de DMS ou tout au moins sous la responsabilité de DMS. ». Une machine complète comprend la partie mécanique, la partie électrique, le graissage et l'hydraulique.

() mannequin : il s'agit de la pièce qui permet le démarrage de la coulée. Sa fonction consiste à recevoir le premier métal liquide qui doit se marier totalement pour obtenir après refroidissement l'amorce de la première billette de métal. Le mannequin initie donc la coulée via l'extraction du premier métal. Le mannequin a aussi une fonction de centrage de la machine lors de son positionnement avant la coulée du métal liquide.*

Le montage de la machine CCR est aussi sous la responsabilité de DMS. A la fin du montage machine

sur place chez l'utilisateur, un essai à blanc a lieu. C'est un essai sans métal liquide qui constitue la réception provisoire du matériel d'un point de vue mécanique, électrique, hydraulique.

La formation du personnel d'entretien, désigné et destiné à la nouvelle installation, peut être prise en charge par DMS lors du montage de la machine, moyennant un surcoût.

La partie brevets et plans, techniques et procédés CCR sont sous la responsabilité de la Société d'Etudes de Centrifugation (SEC) qui assure le savoir-faire.

Nous disposons également de quelques éléments concernant des thèmes permettant d'affiner le cahier des charges : l'implantation, les conditions d'essai à chaud, les conditions de démarrage, la formation et le choix des hommes à partir d'une analyse des métiers.

L'implantation :

Les initiateurs du projet étaient bien conscients de l'exigence d'espace. Cet impératif est un classique pour tous les investissements dans l'industrie sidérurgique. Cette donnée de base est d'autant plus critique que l'usine d'Imphy est située dans une agglomération avec la situation particulière de l'aciérie qui est bordée au Sud par la Loire et au Nord par la ligne de chemin de fer Nevers – Dijon.

Nous pouvons ainsi lire « Encore faut-il prévoir dès le départ sur le plan implantation « machines CCR aciérie » le volume et les espaces, qui permettent surtout la libre circulation des produits, entrées et sorties correctes des machines à forger et laminoir oblique, les machines à forger et laminoir oblique constituant un matériel compact »⁶. Nous constatons donc que le projet initial allait bien plus loin que la simple installation de la coulée continue. Le projet d'implantation évoque explicitement les moyens de transformation à chaud en ligne avec la coulée continue de façon à offrir au marché une gamme complète de dimensions et de formes à structure parfaitement maîtrisée.

Les conditions d'essai à chaud :

Il s'agit des conditions de « garanties de production ». « La SEC doit choisir le métal qui servira aux essais, l'équipe qui réalisera les essais. Le choix du métal devrait se faire sur une nuance facile, pour fixer les idées : un acier ½ doux. L'équipe serait à recruter parmi les licenciés privilégiés SEC. Il faut non seulement des gens habiles et confirmés, mais qui possèdent en outre un « flegme imperturbable »⁶. Nous pouvons noter que la notion de nuance facile à la CCR a perduré jusqu'à nos jours. Le carnet de fabrication est ainsi caractérisé par les nuances dites faciles et les nuances dites difficiles, classement effectué à l'aide

des critères de réussite de production. Il est clair que l'évolution naturelle du carnet a toujours été vers les nuances haut de gamme, de niches, généralement plus difficiles à maîtriser.

L. Babel ajoute une notion que les aciéristes connaissent bien sous le vocable « environnement ». « Encore que pour que ça marche bien il faut que le métal qui arrive au tundish soit en « état de grâce » (fluidité, température) et c'est là ce qui met et ajoute un peu de piquant à la religion CCR »⁶. Cette interaction entre le métal liquide et la machine de coulée est constamment présente. Cela recouvre une réelle difficulté pour évaluer la conformité de l'attendu d'un équipement. Cela passe maintenant par la précision la plus exhaustive possible des conditions physiques du métal liquide pour s'affranchir au mieux de conditions exceptionnelles. Ces précautions imposent de pouvoir exprimer au fournisseur la variabilité quantifiée du produit entrant dans l'installation industrielle, l'installation devant permettre alors, dans de bonnes conditions, l'opération industrielle prévue.

Les conditions de démarrage :

Les équipes partageaient alors des expériences assez récentes de démarrage d'installations industrielles puisqu'au moins les machines C31, C32 et plus récemment Saint Saulve avaient été mises en exploitation industrielle.

Nous disposons de témoignages concernant le démarrage à Decazeville de la machine C32⁷ : « Toute mise en route présente plus ou moins de difficultés, mais c'est bien celle de Decazeville qui me laisse le plus mauvais souvenir. Les difficultés d'approvisionnement puis de construction des machines suite aux événements de mai 1968. Le début de l'implantation et du montage des machines en plein mois de décembre 1968 dans un bâtiment non couvert, non bardé, dans un vent glacial ... Puis le démarrage imposé à quatre postes, ce qui est, et reste une erreur, par une chaleur torride en juin et juillet 1969, avec un personnel, dont plus de 50% voyait du métal liquide pour la première fois. ».

C'était sans compter les difficultés liées à la mise au point simultanée de l'élaboration avec des difficultés de maîtrise de la manutention du métal liquide : percées de garnissage de four, des busettes à tiroir qui n'ouvraient ou ne fermaient plus ... « N'empêche que c'est dans une telle ambiance, où de jour comme de nuit, il fallait couler, réparer, mettre au point ... Le métal giclait de partout et il ne faut pas demander si les percées n'étaient pas nombreuses. J'ai rarement vu une aciérie dans un tel état de saleté : coulures, briques réfractaires en vrac et en morceaux, eau, huile et j'en passe ... Et c'est là dedans qu'il fallait faire de la mécanique précise. Les pièces lourdes passées à bout de bras, le personnel perché sur des échelles en

équilibre plus ou moins stable. A la vôtre ... ».

De nombreuses actions visaient à améliorer les conditions de sécurité tout au long de la mise au point des différentes installations. Par exemple, une mise au point avait été faite pour protéger efficacement le personnel du rayonnement du métal liquide lors de l'installation du contrôle de niveau et de la régulation automatique de niveau en lingotière. Ces expériences marquantes ont alors permis d'améliorer sensiblement les conditions de travail en particulier en ce qui concerne la sécurité au travail dans des milieux difficiles et exigeants.

La formation et le choix des hommes à partir d'une analyse des métiers :

Le pocheur gère l'écoulement du métal liquide dans la lingotière qui permet ensuite d'obtenir la section finale du produit sortant de l'aciérie, que ce soient des lingots ou des ronds de coulée continue. La coulée continue impose une exigence de débit de métal liquide parfaitement constant. Ceci impose donc une maîtrise parfaite du niveau en lingotière.

De nombreuses innovations participaient à l'amélioration de l'exploitation et du niveau de qualité obtenu : la régulation automatique de niveau en lingotière, le sas à argon⁶... « Ceci étant, il ne faudrait cependant pas croire que cet équipement remplace ipso facto tous les pocheurs (les opérateurs de la coulée continue qui veillaient au bon déroulement de la coulée au niveau de la lingotière). Le pocheur de coulée continue est un spécialiste difficile à trouver et à former et sur qui repose la réussite ou la non-réussite de cette coulée continue. Son métier nécessite une attention de tous les instants et consiste à :

- préparer et démarrer la coulée
- faire le tampon dès le début de coulée
- régler le niveau en lingotière pendant plus d'une heure
- parer dans les plus brefs délais aux incidents tels que percées, débordements, incidents de réfractaires
- arrêter la coulée en fin d'opération, c'est-à-dire à l'arrivée du laitier en lingotière

C'est dire que sans régulation automatique, il y a deux pocheurs par ligne l'un prenant le relai de l'autre tous les ¼ d'heure environ. Avec la régulation automatique il y a un pocheur par ligne capable en cas d'incident de reprendre à la volée le réglage manuel (nécessaire en début et fin de coulée), de limiter les dégâts dans le minimum de temps ; toutes ces opérations que ne savent pas faire le rayonnement conjugué à l'électronique !

Ainsi au démarrage d'une coulée continue il faudra toujours former des pocheurs et des pocheurs habiles. Au bout d'un certain temps, la régulation automatique diminuera le nombre de pocheurs mais il faudra en conserver certains et les meilleurs ! »⁶.

La description du métier en termes d'activités et de tâches à effectuer est tout à fait moderne. La formation de pocheurs est essentielle pour toute l'équipe d'aciéristes. Une solution envisagée pour des raisons de commodité consistait alors à apporter un complément de formation aux pocheurs qui coulaient des lingots⁶. Or, « les pocheurs confirmés qui coulent des lingots réussissent généralement mal en coulée continue : pas assez de soins, réflexes trop lents, pas assez minutieux, manque de souplesse dans le poignet. Par contre, ils ont toujours du sang froid, résistent à la chaleur Mais c'est trop tard ! ». Ceci explique une tradition d'excellence quant à la formation de ces opérateurs d'aciérie, formation basée sur les expériences partagées avec le « parrain de formation », collègue d'expérience qui accompagne et forme le nouvel entrant.

Le pêcheur à la ligne élimine continûment le film d'oxyde ou voile qui se forme à la partie supérieure de la lingotière, dans sa partie centrale. Cette opération de décrassage est dite de pêche à la ligne. L'intérêt du sas à argon est la limitation de la pêche à la ligne car il n'y a plus ou presque plus de laitier à décrasser pour autant bien entendu que la pression d'argon à l'intérieur du sas soit suffisante, et que les réfractaires de coulées (busette, quenouille, tundish ...) aient une tenue suffisante à la réaction continue avec le métal liquide⁶.

1978 - Le démarrage de l'exploitation industrielle de la coulée continue rotative à Imphy

J. Morlet a donc su construire avec toute une équipe les différents morceaux d'un puzzle qui s'est concrétisé ensuite par un démarrage extrêmement rapide de l'installation définie progressivement. La structuration du projet sur plusieurs années avec la participation des mêmes acteurs a permis ensuite une réelle appropriation rapide par tous les membres de l'équipe projet et par les opérationnels.

Les premiers résultats d'exploitation :

Les deux lignes de coulée continue rotative (CCR) ont été mises en service le 1^{er} septembre 1978 avec la réalisation de la première coulée^{11,12}. Le calendrier était ambitieux. Il a été respecté avec les réglages mécaniques terminés à la fin de 1978 et une

11 J.L. Chassagne, J.D. Martin, M. Gard, Coulée continue de barres en aciers inoxydables austénitiques sur machine rotative mécanique, Revue de Métallurgie - CIT, Octobre 1980, pp. 799 - 806.

12 Lettre de M. Babel à M. Maloigne, du 20 octobre 1978, Archives départementales de la Nièvre, Fonds Louis Babel, ingénieur à Imphy, Cote : 136 J1 à 136 J43.

exploitation industrielle en trois postes dès janvier 1979. La première année avait permis de produire 19 504 tonnes, production en ligne avec l'objectif qui tenait compte d'un premier semestre ralenti par les homologations pour les applications les plus sévères. 21 000 tonnes ont ensuite été produites en 1980 et plus de 22 000 tonnes l'ont été en 1981.

Une évolution de plus en plus rapide de l'environnement économique :

Creusot Loire et Ugine, fin 1978, concluent un accord créant la Société Sprint Métal qui regroupait alors leurs tréfileries¹². Le fil d'inox était fourni par Ugine et c'était là une véritable difficulté pour Imphy dont la production inox pouvait s'en trouver affectée. Ce n'était que la première péripétie d'une suite ininterrompue d'événements affectant les marchés fournis par Imphy. La solution a été et reste encore la recherche rapide d'une montée en gamme pour des produits de niche, des produits que les concurrents ne savent pas produire ou produisent à un coût non compatible avec le marché. C'est la voie qui a été suivie jusqu'à maintenant.

Comment cela a-t-il été possible sur une période de près de soixante ans ?

Les bases d'une réussite collective ou les conditions du succès

Les résultats obtenus de 1957 à 2015 traduisent une réussite collective obtenue grâce à un passage continu de témoins, passage souvent inconscient, à travers des équipes avec un véritable savoir faire métallurgique, opérationnel et technique. Comme le rappelle G. Raison¹³, l'apport de J. Morlet a porté, dès 1978, sur la volonté de modéliser la solidification des aciers inoxydables avec notamment les travaux de M. Bobadilla au Centre des Matériaux de l'Ecole des Mines de Paris et de M. Gaye à l'Institut de Recherches de la Sidérurgie. Ces efforts de recherches ont contribué à la réussite de la coulée continue des nuances dont seule, jusqu'alors, la coulée en lingot était réalisable.

Une offre pilotée par des marchés nouveaux :

Le renouvellement continu de l'offre a été et est possible grâce à un socle métallurgique fort. Cela s'est traduit par la production de demi-produits pour fil machine, pour barres et aussi pour tubes sans soudure.

13 G. Raison, « La modélisation comme outil de décision dans l'investissement industriel. L'exemple de Jean Morlet » Symposium Jean Morlet. Journées d'Automne 2001, Science et Génie des Matériaux, Février 2003.

Dans certains cas, des pièces ont été produites directement à partir du demi-produit issu de CCR dans des gammes de nuances de plus en plus sophistiquées. La métallurgie de précision répondant à ces marchés concerne des quantités annuelles faibles au regard d'un groupe sidérurgique. C'est cependant une fenêtre sur l'avenir qui permet d'anticiper et de préparer l'offre future.

Une organisation rapide et efficace :

Quel que soit le choix de l'organisation, la concentration géographique des différents services sur le site d'Imphy a toujours permis des ponts rapides entre l'aciériste et le client final. L'analyse des résultats chez le client a ainsi toujours été réactive, créant les conditions d'une relation privilégiée pour offrir la meilleure solution métallurgique. Cela se traduit par des routes industrielles courtes, intégrées et donc économiques.

Un centrage constant sur les hommes et la formation :

Nous avons pu constater qu'à toutes les étapes du projet CCR, la formation des hommes constituait une préoccupation constante. Le travail du métal liquide reste très particulier avec des exigences liées aux conditions de travail. La difficulté physique du métier liée à la chaleur et aux dangers inhérents au métal liquide impose une vigilance de tous les instants, une capacité à travailler en collectivité, une compréhension des phénomènes physiques qui mettent en jeu des énergies considérables. Ces différentes facettes du travail conduisent à un processus de formation sur plusieurs années. Cette formation était et est dispensée par les collègues (les parrains) pour les activités quotidiennes. L'encadrement intervient pour la compréhension des phénomènes physiques et des différentes opérations métallurgiques liées au métal liquide. Ces formations soudent la collectivité d'aciéristes qui sont très solidaires.

La notion de défi est également ancrée dans l'inconscient collectif avec toute la fierté qui s'y rattache. C'est donc tout naturellement que chaque aciériste cherche toujours à savoir « A quoi le métal sert ? », surtout quand il s'agit d'une nouvelle production ou de l'évolution d'une production déjà existante. Cet état d'esprit facilite l'acquisition des connaissances et un réel partage des exigences.

Pourtant, une difficulté s'est constamment manifestée avec une périodicité relativement longue, près de deux décennies. Les cycles économiques étant ce qu'ils sont, la pyramide des âges des aciéristes est souvent dotée de plusieurs « bosses » causée par des départs et des intégrations de personnel par vagues. On assiste alors à des situations telles qu'à Decazeville en 1969 où 50% des opérateurs d'aciérie n'étaient

pas familiers avec le métal liquide. Cela a toujours constitué un véritable challenge, toujours relevé, quelles que soient les classes d'âges et les époques.

Des méthodes permanentes d'optimisation et d'amélioration continue :

Une collectivité, même solidaire, a besoin de méthodes pour atteindre ses objectifs, d'autant plus que l'ambition est en rapport direct avec la pérennité de l'activité. Fournir des alliages pour des applications de niche, des alliages à propriétés physiques particulières, requiert une compétence métallurgique partagée mais ce n'est pas suffisant.

La formation par les collègues fait évidemment partie de la méthode, avec des supports de formalisation attachés à chaque activité. Il est intéressant par exemple de constater que l'écriture des barèmes de coulée à la CCR (Fig. 4) est restée très voisine sur près de 40 ans

De fait, les paramètres clés du process ont été définis et ceux-ci ont été et restent suivis par des générations d'aciéristes. C'est d'ailleurs un des requis des normes actuelles les plus exigeantes, par exemple : normes pour les marchés aéronautique, militaire et automobile. Les paramètres critiques ou clés, les caractéristiques spéciales, sont tout simplement enregistrés et suivis depuis des décennies ! C'est la systématisation de l'exploitation de ces données qui reste un point de travail impératif.

La réussite de l'aciériste au quotidien est difficile car le métier consiste à élaborer et à couler du métal liquide pour qu'il se solidifie dans la forme et la structure voulues. Or, la solidification débute à une température dépendant de la composition et, quel que soit l'environnement, ce phénomène est inéluctable. Il ne peut être avancé ou retardé. L'aciériste va en permanence lutter contre le temps ou en d'autres termes, il va garantir un point de rendez-vous où la composition du métal liquide et sa température seront conformes à la cible. Cela éclaire sous un autre angle l'absolue solidarité exigée par le métier. La qualité vue de l'aciérie est la conjonction correcte et minimale de ces facteurs. La bonne communication en temps réel avec des prises de décision, parfois difficiles, sont les ingrédients quotidiens d'une bonne marche de la collectivité. Ces prises de décision à la coulée sont souvent faites directement par les opérateurs car le temps se compte alors en seconde, « le métal liquide n'attend pas ! ».

A une maille de temps plus longue, il s'agit d'améliorer les performances du procédé, en particulier les gains sur la matière en minimisant les pertes lors de la mise en œuvre des produits coulés. La recherche des meilleures conditions de coulée est

II - REGLAGE THERMIQUE :

- T° liquidus 1528°
- T° au four 1600° - 1610°
(à titre indicatif)
- T° en tundish 1550°
- T° en continu : NON Type de couvercle : Fcc₃

III - REGLAGE MACHINE :

- Débit d'huile de Colza : 21 cm³/mm
- Vitesse de rotation : 100 tours/mm
- Réglage des rampes de gicleurs : 50 mm
- Oscillation lingotière : 98 coups/mm
- Longueur de la barre chaude : 6,20 m
- Longueur du multiple à froid : 1,22 m
- Echantillon + cm sur èze barre

Réglage VE en fonction T° tundish.	T° tundish °C				1540	1550	1555	1565
		V/ extraction m ³ /mm	+ 0	+ 1 mm	+ 3 mm	1555	1565	1565
		2,200		2,400	3,000	2,900	2,800	2,600
Réglage du refroidissement en fonction de la vitesse d'extraction	Lingotière m ³ /h	50	50	50	50	50	50	50
	1ère zone m ³ /h	9		10	12	11,5	11	
	2ème zone m ³ /h	4		6	8,5	8	7,5	
	3ème zone m ³ /h	4		4	7,5	7	6,5	
	4ème zone m ³ /h			4	4	4	4	
	Extracteur m ³ /h			4	4	4	4	

Si la température de la barre :> 1130 °C diminuer la VE de 0,100 m³/mm

Le Responsable Q.D.S.P. Le Chef de Service ACIERIE.

Fig 4 : exemple de barème appliqué à la coulée continue rotative de Decazeville ¹⁴

permanente et elle est d'autant plus efficace que le lien entre l'aciérie et les clients internes aval est assuré. Là encore, la structure du site d'Imphy consolide ce lien en permanence. Nous avons pu le constater avec l'exemple de la CCR.

Conclusions

La machine de coulée continue rotative du site d'Imphy illustre la qualité d'un projet industriel avec des évolutions remarquables :

- Par les aciers envisagés, en particulier une culture des aciers à hautes performances : « une telle installation n'est pas nécessaire pour de l'acier à ferrer les ânes »
- Par la forme et la dimension des produits finaux envisagés
- Par les métiers d'aciérie dont les activités ont été adaptées
- Par le compromis continûment recherché entre le gain matière et la productivité

L'évolution est toujours en cours par les équipes en place, avec des relais constants depuis 1978, avec la machine actuellement en place et dont les principaux organes ont été travaillés de façon à obtenir :

- Le renouvellement de l'offre
- Le renouvellement en conséquence des nuances et des formats coulés
- Un renouvellement continu des métiers du fait des technologies nouvelles mises en œuvre et des nouvelles exigences qualité
- Une amélioration continue de la qualité pour les applications les plus sévères

Remerciements :

Mes remerciements vont en particulier à F. Duffaut et P. Legendre pour leurs attentions, suggestions et propositions d'amélioration d'un texte qui reste un hommage à toutes les générations d'aciéristes qui se succèdent sur le site d'Imphy. Merci également à tous les aciéristes qui, en relisant le texte, ont contribué à rendre vivant cet exercice de mémoire collective.

¹⁴ Archives départementales de la Nièvre, Fonds Louis Babel, ingénieur à Imphy, cote 136 J1 à 136 J43