

L'AMOUR DE L'INDUSTRIE

TOME 2- TRAVERSÉES

Recherche pour l'industrie



DENIS CLODIC

Denis Clodic

L'Amour de l'industrie – Tome 2

Recherche pour l'industrie

© Denis Clodic, 2025

ISBN numérique : 979-10-405-7384-5

Librinova”

www.librinova.com

Le Code de la propriété intellectuelle interdit les copies ou reproductions destinées à une utilisation collective. Toute représentation ou reproduction intégrale ou partielle faite par quelque procédé que ce soit, sans le consentement de l’auteur ou de ses ayants cause, est illicite et constitue une contrefaçon sanctionnée par les articles L335-2 et suivants du Code de la propriété intellectuelle.

Portraits d'actions de recherche

Le tome I décrit l'étudiant en ethnologie que je suis en 1969. Je décide début 1970, de m'établir¹ comme ouvrier spécialisé. Une fois la « lutte de partisans » arrêtée en fin 1973, je deviens chaudronnier-soudeur. Je me qualifie continûment, deviens technicien de bureau d'études puis ingénieur du CNAM².

Dans ce tome II, je dresse des portraits d'actions de recherche menées pour différentes industries comme chercheur en énergétique à l'École des Mines de Paris. L'organisation de cette recherche contractuelle est originale, elle est orientée par les besoins d'industries et se revendique comme telle. Le mode de recrutement est ouvert par des contrats de travail à durée limitée sur ARMINES (association qui gère les centres de recherche des École des Mines). Ainsi les portraits d'actions de recherche menées de 1986 à 2010 présentent des sujets liés aux besoins industriels qu'ils soient sophistiqués ou non, délaissés ou très concurrentiels, incités par la puissance publique ou suscités par des difficultés particulières d'une entreprise, développés par les chercheurs eux-mêmes. Ce parcours montre aussi la désindustrialisation des énergies mécaniques en France, avec un tissu industriel morcelé. Une France qui devient de plus en plus une terre d'accueil de groupes multinationaux étrangers dont la R & D se passe ailleurs.

Le mode de fonctionnement des laboratoires ARMINES associe la novation technique et le développement de nouvelles connaissances scientifiques. Les actions de recherche décrites dans ce texte, sont en prise avec des sujets du moment : changements de technologies liées à l'interdiction des molécules chlorées, développements multiples pour l'efficacité énergétique, décarbonation des systèmes thermiques et thermodynamiques en allant du réfrigérateur domestique aux fours verriers, du sèche-linge au captage de CO₂ sur les fumées.

Première recherche contractuelle : un sauvetage urgent

Le 19 décembre 1985, alors que je préparais ma sortie du Centre de Recherche pour entrer dans l'industrie comme ingénieur. Je reçois un coup de téléphone de mon ancien professeur Maxime DUMINIL qui m'annonce qu'un M. René MARTIN cherche à résoudre des difficultés majeures apparues lors de la production de réfrigérateurs à absorption. René MARTIN est venu au CNAM pour chercher désespérément une solution. DUMINIL indique que ce n'est pas au CNAM que son problème pourra être résolu, « *mais qu'au Centre d'Énergétique de l'École des Mines, CLODIC est la personne sachant quelque chose de pratique sur l'absorption et pouvant régler ce type de problèmes.* »

Vendredi 20 décembre, René MARTIN 78 ans, élégant, grand, costaud, un peu voûté, pied bot qui se voit à peine, arrive avec son fils qui a la cinquantaine passée et qui reste silencieux. Ils sont impressionnés par le prototype de froid solaire à absorption que je leur présente rapidement. Je les invite en salle de réunion et les écoute. L'entreprise MARTIN est implantée à Châtelleraut depuis les années trente. Cette entreprise a d'ailleurs produit des réfrigérateurs ménagers pour leur homonyme : la marque Arthur MARTIN. L'entreprise s'est spécialisée depuis plusieurs années dans les caves à vin sous la marque EUROCAVE, leader de ce marché de niche. René MARTIN a toujours été intéressé par les réfrigérateurs à absorption diffusion, c'est aussi un marché de niche, mais René MARTIN est certain du développement de ce type de réfrigérateurs dans les pays où la fourniture d'électricité est inconstante. Deux ans auparavant, il s'est rapproché d'un consultant espagnol ayant travaillé pour une firme brésilienne produisant des réfrigérateurs à absorption diffusion. Le consultant lui a assuré qu'il maîtrisait la conception des agrégats (c'est le nom d'origine allemande utilisé pour ce système à absorption) pour de petits réfrigérateurs de 70 litres de volume, assurant une température de 4°C, avec une petite production de glace. René MARTIN me fait voir une photo d'un agrégat qui ressemble à celle de la figure 1. Ces petits réfrigérateurs se trouvaient dans de nombreux hôtels du fait du silence de fonctionnement du fait de l'absence de compresseur.



Figure 1 : Agrégat à absorption de petite taille (groupe Dragon)

Il me dit « les plans de cet expert ont été suivis, et après étude du marché africain, j'ai créé une usine en Tunisie avec un industriel local, la chaîne de fabrication fonctionne, la production a commencé et les agrégats « pleurent » au lieu de produire une fine couche de glace ». J'apprends que cette image de l'agrégat en train de « pleurer » est à la base du contrôle en fin de chaîne de production de ces agrégats. Après mise en fonctionnement de l'agrégat, si une couche de glace se forme sur l'évaporateur, l'agrégat est validé, sinon si simplement de la vapeur d'eau atmosphérique perle en gouttelettes, il « pleure » et il est mis au rebut. Au figuré, René MARTIN aussi, car tous les agrégats fabriqués pleurent, et il a fallu arrêter la production.

Après l'avoir écouté attentivement, je lui indique que sur la base d'essais, je pourrai caractériser ces agrégats et fournir un diagnostic sur le sauvetage éventuel de la production. Je propose de vérifier la puissance frigorifique en intégrant l'agrégat dans un réfrigérateur, précaution qui aurait dû être prise avant la mise en place de la chaîne de production.

Je m'engage à rédiger une proposition d'étude pour le lundi 23 décembre, René MARTIN se réjouit et indique qu'il faut « tout de suite » tester l'agrégat nu et tester un réfrigérateur selon les conditions de la norme d'essais. J'approuve et indique que pour mesurer de si petites puissances frigorifiques vraisemblablement inférieures à 50 W, une cellule d'essais bien isolée est indispensable. René MARTIN est ravi, c'est comme s'il attendait que je propose cela pour vérifier ma compétence. Les MARTIN disposent de telles cellules dans leur usine de Châtellerault et proposent d'en reconstruire une dans le laboratoire

du Centre d'Énergétique.

Je vais annoncer la nouvelle au professeur DEHAUSSE qui a supervisé mon mémoire d'ingénieur, il est déjà parti. Je rédige ma première proposition d'étude. Je prends pour modèle des propositions déjà écrites au Centre que je trouve auprès de la secrétaire du Centre. Ce vendredi 20 décembre, l'effectif est très clairsemé, pas de relecture possible. Je propose que l'étude se déroule sur trois mois, l'entreprise MARTIN doit fournir les matériels et la cellule d'essais, le Centre fournit les dispositifs de mesures, l'analyse des résultats d'essais et bien sûr le diagnostic. Le rapport final est structuré par « livrables » comme on dit dans le jargon des centres de recherche que je suis en train d'assimiler.

Lundi matin 23 décembre, dès 8 heures, je vais voir DEHAUSSE qui est toujours matinal, DEHAUSSE est ravi et quand il est vraiment content il se frotte les mains, à la vue du mouvement de ses mains, il est très content. Il me dit d'aller valider la proposition auprès de Jérôme ADNOT qui va prendre la direction du Centre d'Énergétique en janvier 1986. Je trouve Jérôme qui est à la fois surpris et souriant, il signe la proposition d'étude de 15 000 francs HT.

Jérôme me dit : « *Ton contrat de travail de trois mois a été validé et cet indépendamment de l'étude pour l'entreprise MARTIN. D'autre part, comme tu t'y étais engagé, tu mèneras à bien l'étude sur l'utilisation de l'infrarouge dans l'industrie* ». Cette étude financée par GDF, était un serpent de mer, le responsable scientifique en charge n'ayant aucune intention d'aller sur le « terrain ». Je récupère donc cette étude laissée-pour-compte. Je remercie et fonce chez René MARTIN qui habite Boulevard du Montparnasse. René MARTIN valide instantanément et paye 50 % du contrat d'entrée de jeu, en libellant le chèque à ARMINES, l'association qui gère les centres de recherche de l'École des Mines qui est aussi l'entité qui finance mon CDD³. Le contrat MARTIN est un des premiers contrats industriels du Centre, obtenu sans aides d'agences comme l'ANVAR⁴ ou l'AFME⁵. Contrat signé, chèque en poche, je rayonne !

Rendez-vous est pris pour le jeudi 26 décembre pour que le fils et le petit-fils MARTIN viennent installer la cellule d'essais. Ils amènent plusieurs agrégats et un réfrigérateur de 70 litres avec agrégat intégré. Je demande à DEHAUSSE s'il valide le démontage du prototype de froid solaire qui occupe toute la salle d'essais. DEHAUSSE répond : « *ce prototype a été conçu pour faire des mesures*

et déterminer ce que serait l'éventuel prototype n° 2, ce prototype a vécu, vous pouvez le démonter ». Ce prototype j'étais parvenu à le faire fonctionner alors qu'il était en déshérence depuis plusieurs années, il m'avait permis de monter en compétence, de devenir ingénieur thermodynamicien et maintenant chercheur.

Ce démontage marque la transition vers mon nouveau métier. Ce 23 décembre, je signe mon CDD avec la mention « ingénieur de recherche » enfin ! Cette qualification boucle cinq ans de cours du soir au CNAM dont la dernière année dans ce Centre de Recherche des Mines de Paris. Je téléphone à DUMINIL et lui raconte la succession incroyable d'évènements et lui exprime ma reconnaissance pour avoir aiguillé René MARTIN vers le Centre.

Je commence immédiatement le démontage du prototype. Plusieurs tirages au vide sont nécessaires pour évacuer l'odeur d'ammoniac qui imprègne tous les composants. L'installation reste sous vide toute la nuit et le lendemain, 24 décembre, l'École presque déserte, ouverte jusqu'à 17 heures, est propice à ce démontage potentiellement odorant. Je commence dès l'ouverture à 7 h 30, bleu de travail, chaussures de sécurité, gants, je démonte avec soin les tubes bouilleurs, puis la colonne, puis toutes les tuyauteries de liaison. Coup de chance, une benne pour déchets métalliques se trouve dans la cour arrière, en six heures l'essentiel du prototype se retrouve dans la benne. Je récupère les instruments de mesures et quelques échangeurs. Je modifie une palette en bois, la découpe pour qu'elle bouche le trou que j'avais fait creuser 15 mois avant, afin de vider la solution ammoniacale autant que de besoins, j'ajuste une plaque métallique de 4 mm par-dessus, Il est 17 heures. L'essentiel est fait, le 26 la cellule de mesures pourra être installée, même si échangeurs, instruments, réservoirs doivent encore être rangés. La salle est vide, le trou est bouché, je jette un coup d'œil, la vie intense de ces 15 derniers mois m'a transformé. Le vide provisoire de cette salle marque les pages à écrire.

J'étudie au grand galop l'absorption-diffusion qui est un cas extrême de système frigorifique puisqu'apparemment entièrement thermique, alors que la théorie requiert de l'énergie mécanique, la théorie a raison et je vais découvrir le rôle du « tube de pompe », plus précisément une pompe à bulles.

Les réfrigérateurs à absorption-diffusion - le rêve de René MARTIN

L'absorption-diffusion fonctionne avec un mélange eau-ammoniac et tout le volume libre est occupé par de l'hydrogène, il n'y a donc plus une haute et une basse pression comme dans tout système frigorifique, une seule pression constante de 15 à 18 bars et des pressions partielles d'ammoniac dans l'hydrogène. L'agrégat est entièrement soudé avec une queue de charge pour charger le mélange et l'hydrogène.

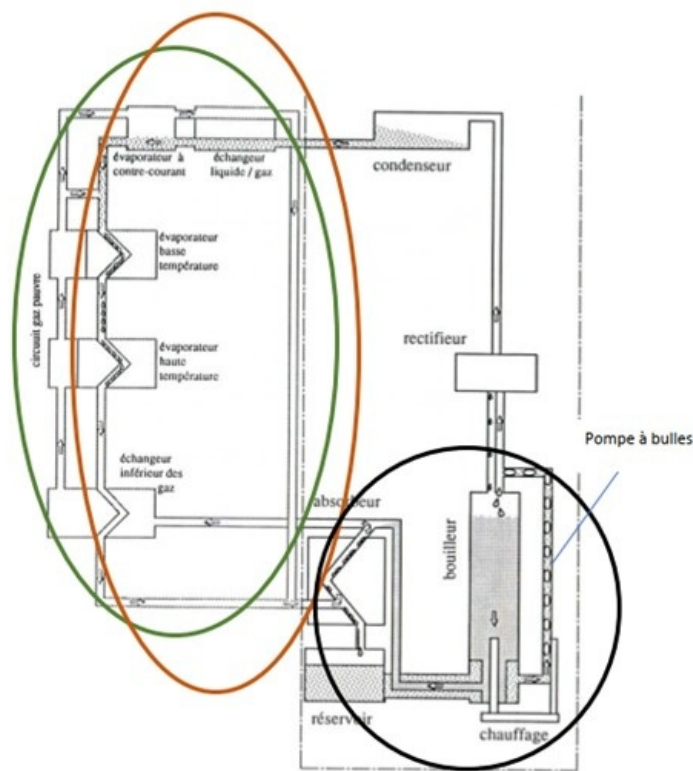


Figure 2 : schéma des circulations, ammoniac, solutions, gaz (Thèse D. CLODIC EMP-1990)

Ce système semble contrevenir au deuxième principe de la thermodynamique : « *il ne peut y avoir de transfert de chaleur du froid vers le chaud sans injection d'énergie mécanique* ». La présence de l'hydrogène homogénéise la pression dans tout le système et permet la réduction drastique

de l'énergie mécanique nécessaire au fonctionnement. Cette énergie mécanique est limitée à quelques dizaines de milliwatts, et ce par l'ébullition contrôlée du mélange eau-ammoniac dans un tube de diamètre très précis de 3,2 à 4 mm. Ce tube est une « pompe à bulles », c'est-à-dire que les bulles remontent le liquide sur la hauteur géométrique du bouilleur (cf. Figure 2).

Un circuit frigorifique à compression comporte une seule boucle, celle du réfrigérant, un circuit à absorption comporte 2 boucles : celle du réfrigérant : l'ammoniac et celle des solutions eau-ammoniac. Un circuit à absorption-diffusion, comporte 3 boucles celle du réfrigérant, (boucle orange sur la figure 2) l'ammoniac s'y évapore par diffusion dans l'hydrogène, celle de la solution eau-ammoniac (boucle noire) et enfin celle du mélange hydrogène ammoniac (boucle verte). L'ammoniac liquide circule par gravité, la solution eau-ammoniac par la pompe à bulles, l'ammoniac gazeux par gravité entre une colonne « légère » hydrogène-ammoniac pauvre en ammoniac (après absorption de l'ammoniac dans la solution pauvre) et une colonne « lourde » d'hydrogène-ammoniac (là où l'ammoniac s'est entièrement évaporé avant d'arriver en contact avec la solution pauvre). La figure 2 montre que les trois boucles sont couplées et le couplage clé est celui de la boucle hydrogène-ammoniac et de la boucle eau-ammoniac. En résumé plus l'énergie mécanique est faible plus la complexité s'accroît.

Les seules mesures faciles d'accès sont les températures, la pression constante n'apprend rien. L'information complémentaire indispensable demande de faire des prélèvements de solution liquide riche et pauvre en ammoniac, pour en déduire les conditions de la circulation du mélange hydrogène-ammoniac. J'établis une table de la masse volumique du mélange hydrogène-ammoniac (H_2-NH_3) en fonction de la concentration en ammoniac, table indispensable pour le calcul de la force motrice de cette boucle H_2-NH_3 . Le diagnostic repose sur les mesures de compositions via les prélèvements de solution liquide riche et pauvre et sur la mesure de la puissance frigorifique.

Notre Noël familial est joyeux, la barrière du diplôme est passée, la validation du poste d'ingénieur par le contrat de trois mois est un commencement, je suis dans le métier de la recherche et il m'enthousiasme. Anne mon épouse, est contente et me demande si je vais continuer à ce rythme ? Je ne sais pas répondre, la prévision ne va pas de soi, je pressens que la réussite ira avec une