

Les réseaux en fonte :

150 ans d'expérience et d'innovation

P. Alexandre – G. Nouail – A. Tournier
Saint-Gobain PAM

Résumé : Depuis 1856, les fonderies installées à Pont-à-Mousson (France) par Saint-Gobain PAM produisent des systèmes complets de canalisation en fonte (tuyaux, raccords, accessoires) pour les marchés du cycle de l'eau.

Les besoins du marché ayant connu depuis cette époque une forte croissance au niveau mondial, les métiers et l'offre de produits de Saint-Gobain PAM ont évolué corrélativement au développement sans précédent des sciences et techniques ; remplacement de la coulée des tuyaux dans des moules en sable par la technique de la centrifugation à grande cadence, substitution de la fonte grise à graphite lamellaire et cassante par la fonte ductile à graphite sphéroïdal, introduction des joints en élastomères et des revêtements anti-corrosion intérieurs et extérieurs, etc.

Le retour d'expérience de 150 ans de la solution "fonte" pour les réseaux d'adduction confirme la pertinence de cette solution : rusticité, longévité, étanchéité, sécurité, préservation de la qualité de l'eau transportée mais également facilité de pose et richesse de l'offre (plus de 50 000 références) constituent quelques unes des qualités reconnues à la solution "fonte".

Fort de cette expérience et d'une politique de R & D dynamique, l'offre de systèmes de canalisations en fonte de Saint-Gobain PAM continue à s'enrichir et à toujours mieux répondre aux problématiques des acteurs du marché ; de nouvelles gammes de tuyaux, raccords, robinets-vannes, ... en fonte sont ainsi régulièrement proposées au marché pour essayer de relever les nouveaux défis tels que par exemple la préservation de l'environnement ou une meilleure gestion d'une ressource de plus en plus rare et précieuse : l'eau.

1856 : Au début il y avait déjà la fonte

Il y a 150 ans exactement débutait l'aventure industrielle de Saint-Gobain PAM, à l'époque Société des Hauts-Fourneaux et Fonderies de Pont-à-Mousson puis Pont-à-Mousson SA.

Suite à la découverte fortuite en 1854 d'un important gisement de minerai de fer sur les coteaux de Marbache lors des travaux de terrassement de la ligne de chemin de fer Nancy-Metz, quelques notables mussipontains s'associèrent pour exploiter localement cette ressource.

Rapidement une fonderie est créée, alimentée par un premier haut-fourneau. Après des débuts chaotiques et quelques tâtonnements, en 1863 les dirigeants de l'entreprise font un premier choix stratégique, le tuyau en fonte, et acquièrent peu à peu la conviction qu'au-delà du tuyau, leur croissance reposera sur le concept de système complet de canalisation pour lequel la fonte se révélera un matériau presque idéal.

C'est le début de la spécialisation en adduction et distribution d'eau potable, avec la volonté de couvrir le circuit complet de l'eau de la station de pompage au compteur d'eau domestique, puis plus tard jusqu'à la station d'épuration.

1883 : A la conquête du monde

Une fois assumé le choix du marché du cycle de l'eau, la croissance de l'entreprise sera rapide. Mais au début du XX^e siècle, avec les faiblesses persistantes du marché français absorbé par d'autres préoccupations en matière d'équipement du territoire (électrification, construction de routes, ...), la société comprend que sa prospérité sera assise sur deux grands principes :

- la conquête de marchés les plus vastes possible, hors des frontières nationales,
- des prix de revient les plus bas possible pour affronter tous les concurrents.

Se développer à l'exportation se révélera un choix stratégique fort, avec la création d'un important réseau mondial avec des comptoirs et des agents mais également avec des implantations industrielles (Brésil 1937) ou des acquisitions (Allemagne).

1929 : La force centrifuge

Saint-Gobain PAM, soucieux de qualité et de productivité avait développé la technique de coulée verticale statique des tuyaux pour la porter à un haut niveau de performances. La société vient de terminer la construction d'une nouvelle halle de fabrication de tuyau selon ce procédé lorsque fin 1928 les dirigeants de l'époque signent un accord de licence avec M. Sanson De Lavaud, l'un des inventeurs de la coulée par centrifugation.

Le procédé de centrifugation consiste à répartir la fonte liquide à l'intérieur d'une coquille métallique en rotation et d'utiliser la force centrifuge pour former le tuyau, sans avoir à introduire de noyau dans le moule sauf pour former le profil de l'emboîtement et la gorge du joint. Ce procédé était en développement depuis de nombreuses années sans connaître véritablement de succès.

Après avoir hésité, Saint-Gobain PAM va se lancer avec succès dans l'industrialisation de ce procédé pour en devenir l'un des leaders mondiaux, et en 1935 un premier atelier de production sera inauguré.

1934 : Place à la Science

En pleine dépression économique, face à une concurrence commerciale exacerbée avec des prix toujours plus bas et à des clients toujours plus exigeants, Saint-Gobain PAM est confronté au besoin de conception de nouveaux systèmes de canalisation en fonte ainsi qu'aux premières difficultés liées à la fragilité de la fonte grise.

La société décide alors de créer un Centre de Recherches et lui confie trois grandes missions : la conception de nouveaux systèmes de canalisation pour renouveler ses produits, l'amélioration de la qualité des matériaux de jonction et des revêtements contre la corrosion et enfin l'amélioration de la qualité du métal.

La science va progressivement remplacer le tour de main et le coup d'œil et avec le développement des moyens d'investigation scientifique telle l'observation microscopique, la fragilité du métal liée à l'eutectique phosphoreux va commencer à être comprise ; des améliorations seront proposées comme la réduction de la teneur en phosphore par l'ajout de ferrailles au haut-fourneau, mais les progrès seront fatalement limités du fait de la forme lamellaire du graphite de la fonte.

1948 : Les mystères de la fonte ductile

Dans ce contexte, Saint-Gobain PAM accueille avec beaucoup d'intérêt l'annonce simultanée par le BCIRA et par International Nickel de la possibilité d'obtenir la graphitisation des fontes sous forme de sphères (ou nodules) par ajout au métal liquide de très faibles quantités soit de cérium soit de magnésium. Cette fonte fût baptisée "ductile" par ses inventeurs (A.P. GAGNEBIN, K.D. MILLIS et N.O. PILLING) eu égard aux changements extraordinaires des caractéristiques mécaniques : une résistance en traction presque doublée et un allongement quasi inexistant avec la fonte grise cassante et qui devient supérieur à 15 % avec la fonte ductile. La cristallisation du graphite sous forme de petites sphères au lieu de longues lamelles élimine les lignes de propagation de ruptures possible et rend le métal résistant et ductile.

Aussitôt des contacts furent pris avec la Société International Nickel et rapidement la décision de passer l'ensemble des fabrications (tuyaux, raccords, accessoires, vannes) à la fonte ductile était acquise ; le Centre de Recherches se vit alors confié cette mission.

Début 1950, Saint-Gobain PAM était le premier fabricant de canalisations en fonte à signer un contrat de licence avec Mond Nickel, filiale britannique de International Nickel, pour la production de fonte ductile. Les problèmes techniques à résoudre furent nombreux : nécessité du passage à une fonte hématite, besoin de désulfuration très poussée, mise au point du traitement au magnésium en poche, adaptation des machines à centrifuger, allongement du four de traitement thermique, etc... et la première centrifugation de tuyau en fonte ductile eut lieu en 1951. Le véritable lancement commercial fut plus tardif, vers 1956, et le succès commercial aidant, le marché poussa l'entreprise à accélérer la conversion qui malgré tout ne se termina qu'en 1970 pour l'ensemble des productions.

L'amélioration des caractéristiques mécaniques du métal se traduisit par un allègement des tuyaux volontairement limité à 30 % donc avec un bénéfice de surcroît de sécurité pour le client.

Pour accompagner cet allègement, la société développa de nouveaux revêtements intérieur et extérieur : lancement en 1958 de la gamme RAPID avec un revêtement intérieur en ciment de haut-fourneau pour éviter les corrosions intérieures (phénomène des "eaux rouges") et un revêtement extérieur constitué d'une couche de zinc métallisé (130 g/m²) et d'une peinture de brai de houille pour éviter la corrosion de la fonte au contact des sols.

Globalement le saut technologique du passage à la fonte ductile constituera un formidable moteur de croissance pour l'entreprise et la fonte ductile deviendra un matériau de référence en matière de réseau d'adduction d'eau potable.

2006 : A la recherche de l'excellence

Au cours de ces 150 ans, l'offre de produits de Saint-Gobain PAM s'est considérablement améliorée et diversifiée : des gammes plus complètes et plus étendues en diamètre, de nouveaux revêtements, de nouvelles jonctions plus efficaces et plus faciles à poser, etc. Cette offre est le résultat d'une expérience de 150 ans acquise sur les cinq continents et partagées avec tous les acteurs du marché de l'eau via des participations actives aux travaux de normalisation. Ce partage d'expérience a permis, entre autres, d'établir des règles de conception, de dimensionnement et de pose pour sécuriser l'exploitation des réseaux en fonte ductile et globalement conférer à ces réseaux la fiabilité et la sécurité nécessaires à la gestion d'une denrée de plus en plus rare, l'eau potable.

Des gammes complètes et homogènes

Par sa très grande diversité (plus de 50 000 références), la solution "fonte" permet d'offrir des solutions techniques adaptées à chaque besoin et à presque toutes les situations rencontrées par les acteurs du marché. Il s'agit de gammes complètes de tuyaux, raccords, vannes et accessoires en fonte ductile couvrant de vastes domaines de diamètres, de pressions de fonctionnement, de caractéristiques d'eaux et de sols : ces différents composants disposent de performances compatibles et homogènes que ce soit en résistance à la pression, en durabilité, mais également en dimensions et facilité de montage.

Un système à fort coefficient de sécurité

Les règles de calcul pour le dimensionnement des canalisations en fonte ductile utilisent des coefficients de sécurité très élevés. Pour le calcul de l'épaisseur des tuyaux, ce coefficient est au moins égal à 3 vis-à-vis de la pression de service de la canalisation en régime hydraulique permanent : il est au moins égal à 2,5 vis-à-vis de la pression interne maximale, y compris les coups de bélier.

Ces règles prennent ainsi en compte :

- les risques sur le matériau et le produit,
- les risques sur les conditions d'installation (dommages sur le terrain),
- les risques sur les conditions de design et de service (surpression accidentelle, surcharges de service, évolution des conditions d'exploitation, ...)

Conformément à la norme EN 545, tous les éléments de canalisation en fonte ductile (tuyaux, raccords, vannes) sont soumis individuellement à une épreuve de pression en usine, ce qui offre de solides garanties de performance.

Sachant que les caractéristiques de la fonte ductile ne varient pas avec le temps et que les pressions de fonctionnement admissibles sont souvent fortement supérieures aux pressions de service réelles, les réseaux en fonte disposent d'une importante réserve de sécurité.

Un système étanche

Le matériau de canalisation est par nature étanche puisque résistant à des pressions internes très élevées, mais également imperméable aux polluants externes (hydrocarbures, pesticides, solvants, ...) éventuellement présents au voisinage de la canalisation.

La jonction est un des points clés d'une canalisation sous pression et ne doit pas en constituer le point faible.

L'étanchéité des jonctions était initialement réalisée par des systèmes associant filasse et plomb fondu dans une gorge de l'emboîtement du tuyau ; dans la deuxième moitié du XX^{ème} siècle, Saint-Gobain PAM a fait évoluer ses jonctions en substituant le plomb fondu par des bagues en élastomère dont la fonction étanchéité est obtenue par mise en compression soit radiale (jonction automatique) soit axiale (jonction mécanique avec contrebride et boulons). Dans un premier temps, l'élastomère était du caoutchouc naturel puis à partir de 1980, suite à des problèmes potentiels de croissance bactérienne, de l'EPDM.

L'élastomère donne aux jonctions des canalisations en fonte ductile une certaine flexibilité qui maintient l'étanchéité lors de petites déviations angulaires (à la pose ou en service) et qui constitue un élément de sécurité lors de la traversée de terrains instables : la canalisation suit librement les mouvements imposés par le terrain sans rupture ni fuite.

Les performances des jonctions de toutes les gammes de canalisation sont vérifiées lors d'essais de type prévus par la norme EN 545 : ces essais sont particulièrement complets et exigeants car réalisés aux extrêmes des tolérances de fabrication (jeu annulaire maximum), dans des situations de pose limites (déviations angulaires maxi, effort tranchant important) et dans toutes les conditions de pression (pression interne maximale, pression hydrostatique interne négative, pression hydrostatique externe positive, etc...). Le résultat de ces essais est certifié conforme aux exigences de la norme par des organismes tiers.

Un système durable

La durabilité des réseaux en fonte dépend principalement du vieillissement de certains matériaux, comme par exemple les élastomères des jonctions, et de l'adéquation des protections anticorrosion intérieure et extérieure de la fonte respectivement vis-à-vis de l'agressivité des eaux transportées et des sols traversés.

Les élastomères utilisés par Saint-Gobain PAM pour le transport de l'eau potable sont en EPDM sélectionnés pour conserver leurs caractéristiques physico-chimiques au cours du temps et assurer la pérennité des fonctions d'étanchéité en évitant les phénomènes de fluage et de relaxation. Ces EPDM vieillissent moins vite qu'un élastomère satisfaisant exactement aux exigences des normes ISO 4633 et EN 681.

Le ciment utilisé pour le revêtement intérieur des tuyaux est un ciment de haut-fourneau à haute teneur en laitier ($\geq 65\%$). Il permet le transport d'eau dont le degré d'agressivité peut atteindre la classe A3 de la norme NF P18-011, c'est-à-dire notamment les eaux douces agressives.

L'adoption par Saint-Gobain PAM depuis bientôt 50 ans du revêtement extérieur à base de zinc métallisé complété par une peinture bitumineuse a constitué une étape décisive pour la protection anti-corrosion des tuyaux en fonte : placé dans un sol corrosif, ce métal se recouvre d'une couche protectrice de sels de zinc insolubles et protège par effet galvanique les zones de blessures du revêtement.

L'efficacité reconnue de cette solution l'a fait unanimement adopter par les autres fabricants de tuyaux en fonte et elle sera finalement recommandée par les normes européennes et internationales. Saint-Gobain PAM fera constamment évoluer cette protection au-delà des exigences normatives, d'abord en augmentant en 1992 les épaisseurs de zinc (200 g/m^2 au lieu de 130 g/m^2) puis en proposant en 2000 pour sa gamme NATURAL un revêtement constitué d'un alliage zinc-aluminium 85-15 déposé en forte quantité (400 g/m^2) et d'une couche de peinture époxyde. Cette nouvelle solution est le résultat de vingt ans de recherches, avec des essais de corrosion menés au laboratoire et en terrains naturels. Il a été ainsi établi que cette protection est particulièrement efficace et convient à la presque totalité des sols y compris les terrains naturels mélangés : elle permet de s'affranchir de toute étude de sols, une simple étude documentaire suffit.

La conformité sanitaire

Depuis très longtemps, l'entreprise s'est préoccupée des éventuelles interactions entre les matériaux de canalisation et les eaux transportées susceptibles de dégrader la potabilité de ces eaux. En anticipant les réglementations sanitaires, l'entreprise a collaboré activement avec des organismes extérieurs compétents pour développer des procédures d'essais de migration et évaluer les risques sanitaires liés à l'utilisation de certains matériaux.

Ainsi tous les matériaux de canalisation de Saint-Gobain PAM en contact avec de l'eau destinée à la consommation humaine (revêtement intérieur en mortier de ciment, élastomères constituant les bagues de joint ou recouvrant les opercules de vannes, revêtements extérieurs des tuyaux, revêtements de raccords, pâte lubrifiante, ...) bénéficient d'Attestations de Conformité Sanitaire issues des pays disposant d'une telle réglementation. La conformité de l'ensemble des matériaux pour les zones de vente concernées est attestée par tierce partie.

Facilité de pose

Par leur qualité de robustesse, les canalisations en fonte ductile s'accommodent d'une pose rustique et économique : disposant d'un large éventail de possibilités de hauteurs de couverture, elles permettent la réutilisation totale ou partielle des déblais pour le lit de pose, l'enrobage de la canalisation et son remblaiement, ce qui économise les opérations de mise en décharge et d'approvisionnement en matériaux d'apport.

Une grande partie des gammes de tuyaux et raccords bénéficient aujourd'hui de nouveaux systèmes de verrouillage avec lesquels la décision de verrouiller une canalisation peut être prise au dernier moment tout en évitant la réalisation de butées en béton. Pour les gammes Standard à joint automatique et pour les gammes Express à joint mécanique, il suffit de remplacer la bague de joint normale par une bague de joint équipée d'inserts métalliques qui assureront le verrouillage.

La fonte ductile et le développement durable

La fonte (ductile ou pas) est recyclable sans limite ni dégradation de propriété : elle est effectivement réutilisée à 100 % comme matière première dans les différentes filières de fusion métallurgiques classiques.

Les progrès techniques et scientifiques réalisés à la fois sur le matériau et le procédé de centrifugation ont abouti à de très fortes réductions d'épaisseurs de fonte tout en conservant aux réseaux en fonte les mêmes performances et les mêmes coefficients de sécurité : l'épaisseur des tuyaux est maintenant fonction des besoins en performances exprimés par le client et non plus liée à des contraintes de procédés.

Les très fortes économies de métal ainsi réalisées (supérieures à 50 % dans les petits diamètres) se traduisent directement en économies de matières premières (minerai de fer, charbon) et en réduction des productions de déchets (laitiers, CO₂, ...).

La fonte, un matériau éternel

Ainsi tout au long de ses 150 ans d'existence, Saint-Gobain PAM a construit son succès sur des choix stratégiques simples avec un marché, le cycle de l'eau, un matériau, la fonte grise puis ductile, et un produit, la canalisation. S'il y a eu des écarts par rapport à ces choix comme les expériences industrielles dans les domaines des canalisations en acier, en béton, en amiante-ciment, en plastique, ... l'entreprise est toujours revenue à ses choix fondamentaux qui ont assuré sa pérennité.

L'expérience de Saint-Gobain PAM dans les réseaux en fonte s'est forgée par une observation continue des exigences du marché et la prise en compte des progrès scientifiques et techniques. L'entreprise a toujours su mener une politique active d'innovation en sachant associer habilement les matériaux pour tirer le meilleur parti de chacun d'eux, en mariant par exemple la robustesse de la fonte, les propriétés électrochimiques et bactériennes des alliages de zinc, l'inertie chimique des polymères, etc. Au cours de ces dernières années, le rythme de renouvellement des gammes de produits a connu une forte accélération : aujourd'hui, sur le marché français, plus de 40 % des produits vendus ont moins de cinq ans d'existence.

La fonte a traversé les siècles et a fait la preuve de son efficacité à traiter les problèmes du marché de l'eau : à chaque problématique posée par le marché, aussi complexe soit-elle en conditions de pose ou d'exploitation, il existe une solution technique en fonte.

Face au challenge de demain, distribuer l'eau potable à tous les habitants de la planète, la fonte continuera à évoluer, en s'adaptant aux contraintes futures, probablement en s'associant avec de nouveaux matériaux qui lui conféreront de nouvelles propriétés qui lui permettront d'améliorer encore les services rendus.