



HAL
open science

Estimation des besoins en charbon de bois et en superficie forestière pour la sidérurgie wallonne préindustrielle (1750-1830). Première partie : Les besoins en charbon de bois

Brieuc Hardy, Joseph E. Dufey

► **To cite this version:**

Brieuc Hardy, Joseph E. Dufey. Estimation des besoins en charbon de bois et en superficie forestière pour la sidérurgie wallonne préindustrielle (1750-1830). Première partie : Les besoins en charbon de bois. *Revue forestière française*, 2012, 64 (4), pp.477-488. <10.4267/2042/48747>. <hal-03446934>

HAL Id: hal-03446934

<https://hal.science/hal-03446934v1>

Submitted on 24 Nov 2021

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



HAL Authorization

ESTIMATION DES BESOINS EN CHARBON DE BOIS ET EN SUPERFICIE FORESTIÈRE POUR LA SIDÉRURGIE WALLONNE PRÉINDUSTRIELLE (1750-1830)

PREMIÈRE PARTIE : LES BESOINS EN CHARBON DE BOIS

BRIEUC HARDY – JOSEPH E. DUFÉY

La sidérurgie fut longtemps une activité industrielle florissante en Wallonie comme en témoignent les nombreux sites industriels du passé encore visibles dans nos régions. Le combustible traditionnellement utilisé pour cette activité était le charbon de bois produit en abondance dans nos forêts, et dont l'utilisation n'a fait que croître au fil des siècles, surtout à partir de la construction des premiers hauts-fourneaux qui ont révolutionné les techniques anciennes de transformation du minerai de fer en fonte.

Les premiers hauts-fourneaux seraient apparus en Europe à la fin du XIV^e - début du XV^e siècle dans la région de Namur-Liège (Gillard, 1971 ; Houbrechts et Petit, 2004). Certaines sources font état de la construction du premier haut-fourneau dans cette région en 1345, mais il est vraisemblable qu'il s'agisse d'une déduction erronée de la charte des *ferons* de Marche-sur-Meuse, actuellement Marche-les-Dames, édictée cette année-là. La construction de hauts-fourneaux se généralise au XVI^e siècle et la sidérurgie wallonne préindustrielle connaît son apogée à partir des années 1750. Le dernier haut-fourneau au charbon de bois de Wallonie aurait été éteint vers 1860 à Gérouville en province de Luxembourg, mais une grande partie des autres hauts-fourneaux au bois sont signalés inactifs vers 1830 (Évrard, 1956). C'est à cette époque que le charbon de terre, la houille, a pris le pas sur le charbon de bois en Wallonie alors que les fourneaux au coke (combustible produit par distillation de la houille en vue d'en éliminer les matières volatiles) étaient déjà bien présents en Angleterre dans la seconde moitié du XVIII^e siècle, permettant à ce pays de sortir d'une grave crise d'approvisionnement en charbon de bois (Wagner, 1921).

L'adoption de la technique au coke en Wallonie, et plus encore en France (Heuschling et Van der Maelen, 1838) où un fourneau au bois a encore fonctionné jusque 1894 à Vireux à 2 km de la frontière belge (Hoyois, 1953), tarda à s'imposer pour des raisons d'éloignement des houillères et de qualité du métal produit. La fonte au coke était jugée cassante à l'affinage, et les fers à la houille n'avaient pas, disait-on, la qualité des fers au bois (ministère du Commerce et des Manufactures, 1829 ; Woronoff, 1994). Finalement, c'est l'épuisement des ressources forestières, l'augmentation du coût du charbon de bois, l'amélioration des transports, le transfert des tech-

nologies de sidérurgie au coke mises au point en Angleterre, et les besoins croissants en métal notamment suite à l'expansion des chemins de fer qui eurent raison de la réticence des maîtres de forges wallons à renoncer au charbon de bois au bénéfice de la houille, charbon de terre.

Les sites d'établissement des fourneaux et des forges devaient répondre à plusieurs conditions liées à la proximité des ressources naturelles nécessaires. Presque tous les fourneaux se situaient logiquement à l'endroit même de l'extraction du minerai, même si certains ont dû faire appel à des sources plus éloignées à mesure de l'augmentation de la demande en fonte et en fer. Le charbon de bois était nécessaire non seulement pour fondre le minerai, mais aussi dans les opérations subséquentes pour réchauffer et travailler le métal. La proximité d'un cours d'eau était une autre condition indispensable, l'énergie hydraulique étant requise à tous les stades de production, pour actionner les soufflets des fourneaux et des forges, pour concasser le minerai au bocard⁽¹⁾ et le purifier avant de charger le fourneau par le gueulard⁽²⁾, pour actionner les martinets et les makas⁽³⁾ dans les affineries et dans les platineries⁽⁴⁾. Des digues étaient aménagées sur les ruisseaux et petites rivières pour réguler le débit de l'eau actionnant de grandes roues hydrauliques durant toute l'année. Actuellement, il ne subsiste quelquefois que ces étangs comme témoins d'anciennes activités sidérurgiques. La disponibilité de castine, pierre calcaire utilisée comme fondant, était aussi recherchée, mais son usage ne semble pas avoir été généralisé dans les régions à substrat non carbonaté telles que l'Ardenne.

La forêt fut de plus en plus sollicitée à l'époque préindustrielle. Outre la sidérurgie, d'autres activités faisaient aussi un large appel aux ressources forestières, ressources qui paraissaient infinies quelques siècles auparavant en Wallonie. Les verreries, les fours à chaux et les briqueteries ont fonctionné également au bois avant de recourir à la houille. La question de savoir dans quelle mesure ces industries étaient alimentées au charbon de bois ou simplement au bois n'est pas aussi claire que pour la sidérurgie. En effet, le haut pouvoir réducteur du charbon de bois est nécessaire pour transformer le fer oxydé du minerai en fer métallique. Ce n'est pas le cas de la fusion de la silice et de la décarbonatation du calcaire, ni de la cuisson des briques. La forêt constituait aussi la ressource de combustible quasi exclusive pour la cuisson et le chauffage domestique. Elle devait aussi répondre aux besoins en bois d'œuvre pour la construction, l'outillage agricole et industriel et la fabrication de meubles. Des sels de potasse, utilisés comme matière savonneuse et comme engrais, étaient extraits du cendrilla de ramilles et de bois mort. Les tanneries, qui connurent une grande extension en Ardenne dans la seconde moitié du XVIII^e siècle, utilisaient l'écorce des jeunes chênes. Et il faut y ajouter l'exploitation de surfaces forestières pour l'agriculture avec les pratiques d'essartage⁽⁵⁾, d'écobuage⁽⁶⁾, et d'exportation de matière organique forestière vers les terres de culture, ainsi que pour le pacage et la litière des animaux. Toutes ces pratiques recourant abondamment aux ressources forestières sont décrites en détail par Hoyois (1953).

L'objectif de notre étude est d'évaluer les besoins en charbon de bois au plus fort de l'activité sidérurgique wallonne dans la période préindustrielle, avec comme corollaire d'estimer les surfaces forestières nécessaires à cette industrie. La littérature contient peu de données fiables

(1) Le bocard est appareil broyant le minerai à l'aide de pilons groupés le plus souvent en batteries.

(2) Le gueulard est l'ouverture supérieure du haut-fourneau pour le chargement du minerai et du combustible, et pour le dégagement des gaz.

(3) Le maka est un lourd marteau hydraulique de fonte ou de fer fixé à un manche en bois d'environ 3 mètres qui pivote sur un axe d'oscillation ; le martinet est un marteau similaire plus léger que le maka.

(4) L'affinerie est l'atelier où la fonte est chauffée pour en éliminer le silicium et le carbone ; les barres de fer sortant de l'affinerie sont généralement martelées en bandes ou tôles dans les platineries.

(5) L'essartage consiste en l'arrachage et la coupe de toutes les broussailles et arbrisseaux d'une terre forestière, du séchage et du brûlis de ces matières en vue de fertiliser le sol par les cendres.

(6) L'écobuage consiste en un pelage de la couche humifère et de la strate herbacée ; après séchage, ce mélange organo-minéral est brûlé à l'étouffée en petites meules et les cendres sont répandues sur la parcelle.

à ce sujet, et les estimations vont d'un bon millier à près de 10 000 hectares de forêt qui auraient été nécessaires aux besoins en combustible d'une seule forge. Encore faut-il connaître le nombre de forges et hauts-fourneaux actifs en Wallonie à l'apogée de la sidérurgie au bois. Dans le présent article, nous évaluerons les besoins en charbon de bois et en bois, et un deuxième article (Hardy et Dufey, 2012) sera consacré à l'estimation des surfaces forestières nécessaires à cette production. Les données rapportées ici pour la Wallonie peuvent être mises en perspective avec plusieurs études comparables pour le territoire français, notamment avec les recherches historiques très détaillées publiées dans l'ouvrage *Forges et Forêts* sous la direction de Woronoff (1990).

Cette étude s'intègre dans une recherche sur les aires de faulde en Wallonie, sites où se pratiquait la carbonisation du bois par la technique de la meule charbonnière, méthode très ancienne relevant de « l'Art du Charbonnier » selon les termes de Duhamel du Monceau (1761). Ces aires de faulde, également appelées fouées en certaines régions (Mille-Réault, 1994), sont aisément repérables, sous forme de taches noirâtres circulaires ou elliptiques de quelques dizaines de mètres, dans de nombreuses régions de Wallonie où la forêt du XVIII^e siècle a été défrichée pour la mise en culture. Mais la plus grande partie des aires de faulde se situe dans les forêts actuelles, où elles sont repérables par un œil expérimenté sous forme de cercles en léger bombement sur terrain plat ou de terrasses aménagées sur terrain en pente. Leur diamètre est le plus souvent voisin d'une dizaine de mètres, avec des valeurs extrêmes de 5 et 15 mètres selon nos observations. L'évaluation des besoins en charbon de bois devrait permettre d'en estimer l'abondance en Wallonie.

MÉTHODOLOGIE

Les documents historiques relatifs à bon nombre de forges anciennes de territoires recouvrant partiellement la Wallonie actuelle font assez souvent état de la production annuelle de fonte, voire aussi de la production de fer, mais plus rarement de la consommation de charbon de bois ou de bois. L'approche choisie fut dès lors de partir de la production de fonte par les hauts-fourneaux en Wallonie à cette époque, et d'en évaluer ensuite les besoins en combustible sur la base des besoins en charbon de bois pour produire une tonne de fonte, pour en assurer l'affinage en fer, et pour diverses opérations d'usage.

Le livre d'Évrard (1956) répertoriant les sites sidérurgiques anciens dont il reste des traces actuelles en Wallonie et au Luxembourg fut une excellente source bibliographique de départ pour estimer le nombre de forges et fourneaux actifs en Wallonie selon les époques. Par ailleurs les ouvrages de Wagner (1921) et de Hansotte (1980) nous ont fourni de nombreuses informations quantitatives sur la sidérurgie préindustrielle dans nos régions. Un intérêt particulier du répertoire dressé par Évrard (1956) est qu'il est focalisé spécifiquement sur le territoire de la Wallonie actuelle, outre le grand-duché de Luxembourg. Les données quantitatives détaillées rapportées par d'autres sources se réfèrent au découpage territorial de l'époque qui a connu bien des vicissitudes, de la période des Pays-Bas autrichiens jusque 1795 avec de larges enclaves de la principauté de Liège, suivie de la période française et puis de la période hollandaise à partir de 1815 jusque l'indépendance de la Belgique en 1830.

Ayant évalué ainsi les besoins en charbon de bois, il restait à estimer les surfaces forestières requises pour faire face à cette demande. Il faut pour cela connaître la quantité de bois nécessaire à la fabrication du charbon de bois, la production de bois carbonisable par surface unitaire de forêt, et la révolution des coupes forestières utilisées pour la fabrication du charbon de bois.

L'équation générale suivante permet d'estimer la superficie forestière nécessaire en Wallonie, S_{for} (ha) :

$$S_{for} = \frac{C_{cb,ft} R_{ft,fr} N_{fr} N_{rot}}{R_{cb,bs} R_{bs,for}}$$

où $C_{cb,ft}$ est la consommation moyenne de charbon de bois pour la production d'une tonne de fonte et pour les opérations subséquentes (tonnes charbon de bois/tonne fonte)

$R_{ft,fr}$ est le rendement moyen annuel en fonte par fourneau (tonnes fonte/fourneau)

N_{fr} est le nombre de fourneaux actifs en Wallonie

$R_{cb,bs}$ est le rendement moyen en charbon de bois à partir du bois (tonne charbon de bois/stère de bois)

$R_{bs,for}$ est le rendement moyen en bois carbonisable de la forêt (stères de bois/ha de coupe)

N_{rot} est le nombre moyen d'années de la révolution du taillis forestier.

Il est évident que des incertitudes affectent chacun de ces paramètres. Nous tenterons d'en fixer les limites tout en étant conscients que l'évaluation finale des surfaces forestières wallonnes où se pratiquait le charbonnage à des fins sidérurgiques ne peut, *in fine*, que porter sur un ordre de grandeur plausible.

RÉSULTATS ET DISCUSSION

Répertoire des forges et fourneaux

Évrard (1956) répertorie 75 anciens sites sidérurgiques en Wallonie (figure 1, p. 481) dont 11 en province de Liège, 30 en province de Luxembourg, 22 en province de Namur et 12 en province du Hainaut. De nombreuses données historiques sont fournies pour la plupart de ces sites. D'autres sources nous ont permis de compléter la description de certaines forges notamment celles d'Orval (Orval, 2003), de la région lorraine (Feltz et Incourt, 1995), de la vallée mosane (Joanne, 1881), de la vallée de la Molignée (Dereine et Goffaux, 2001) et de la région de Chimay (Dussart et Wilmet, 1970 ; Duquesne et Devillez, 1989). De nombreux documents sont accessibles par internet, notamment à l'initiative de cercles d'histoire locaux ou d'offices de tourisme, mais la rareté de la citation des sources bibliographiques empêche le recoupement des informations et leur utilisation requiert donc beaucoup de circonspection.

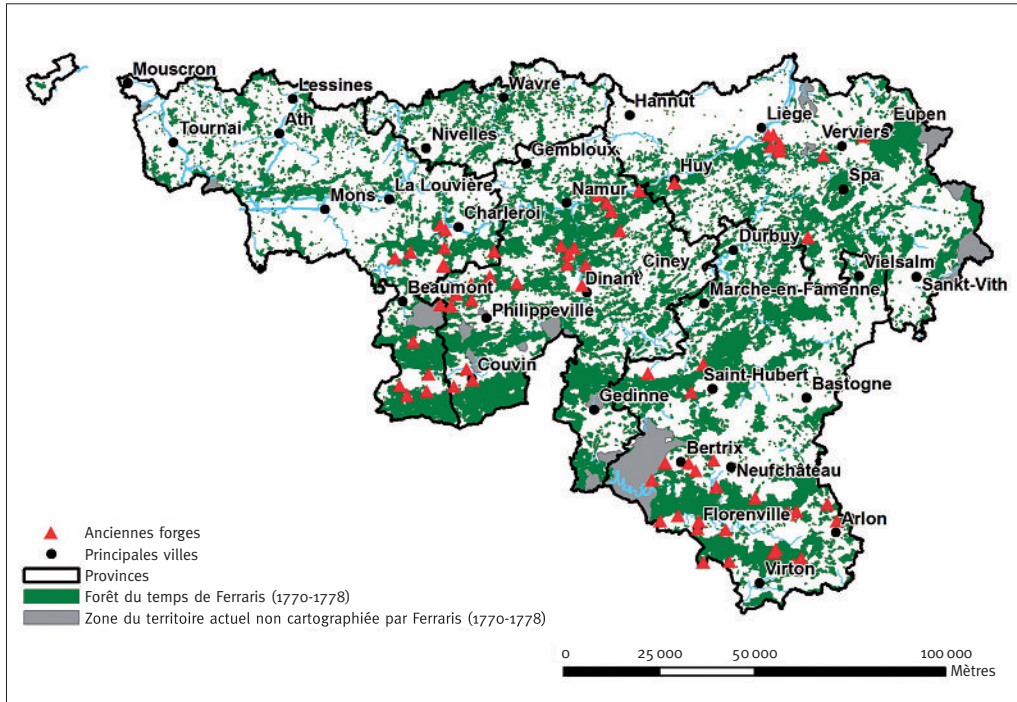
Nous avons ainsi pu estimer le nombre de hauts-fourneaux vraisemblablement actifs dans les années 1750-1830, avec une valeur minimale et une valeur maximale selon la fiabilité des données historiques. Cette fourchette d'estimation va de 53 à 82 fourneaux actifs, voire davantage si nous prenions une hypothèse vraiment maximaliste. Le nombre de fourneaux en provinces de Liège (5 à 10) et du Hainaut (5 à 7) n'est pas très élevé, l'activité sidérurgique dans la région de Charleroi et surtout de Liège étant largement orientée vers la production de produits finis à partir de la fonte et du fer fournis par les autres provinces (Leboutte, 1997 ; Hansotte, 1980). Un grand nombre de fourneaux se situaient en province de Namur (25 à 37), surtout dans l'Entre-Sambre-et-Meuse, territoire à propos duquel Heuschling et Van der Maelen (1838) disaient « *Il n'est aucun pays en Europe qui renferme plus de minerais de fer que l'Entre-Sambre-et-Meuse* ».

D'autres sources bibliographiques nous ont permis de conforter nos estimations personnelles du nombre de fourneaux en Wallonie. Ainsi, à la période française, Emmanuel Pérès de Lagesse, préfet du département de Sambre-et-Meuse, publie, à la fin de l'an X de la République (1803), une description de son département qui deviendra, après quelques modifications territoriales,

FIGURE 1

ANCIENNES FORGES DE WALLONIE RÉPERTORIÉES PAR ÉVRARD (1956)
ET SUPERFICIES FORESTIÈRES CARTOGRAPHIÉES PAR FERRARIS

(Kervyn *et al.*, 2011)



l'actuelle province de Namur. Il y dénombre « 26 hauts-fourneaux, 8 fonderies, 14 affineries, 8 martinets et 37 forges » (Joanne, 1881). Notre estimation minimale ne diffère que d'une unité de ces statistiques d'époque. Sachant que le département de Sambre-et-Meuse englobait aussi la région de Saint-Hubert, nous pourrions ajouter 2 fourneaux à nos estimations pour la comparaison, le fourneau Saint-Michel et le fourneau de Neupont.

Par ailleurs, Hansotte (1980) dresse un tableau détaillé des usines métallurgiques des Pays-Bas autrichiens, et des pays de Liège et de Stavelot en 1760 et 1790. Il y dénombre 88 fourneaux en 1760 et 89 en 1790. La distribution régionale s'accorde bien avec nos estimations, hormis les chiffres relatifs aux duchés de Luxembourg et de Bouillon qui auraient compté 38 fourneaux alors que nos estimations pour la province de Luxembourg se situent dans une fourchette de 18 à 28 fourneaux. Cette différence vient du fait que le duché du Luxembourg à la fin du XVIII^e siècle incluait le grand-duché de Luxembourg et quelques enclaves au sud de la province de Liège. Dorban *et al.* (1997) relèvent 14 fourneaux au grand-duché dans la seconde moitié du XVIII^e siècle. Dès lors, en déduisant des 89 fourneaux dénombrés par Hansotte (1980) en 1790, les 14 fourneaux du grand-duché, et 2 fourneaux du Limbourg, nous arrivons à une estimation de 73 fourneaux en Wallonie.

En conclusion, nous pouvons considérer que notre estimation de **53 fourneaux** actifs est vraiment une hypothèse minimale, et que l'estimation de **73 fourneaux** tirée des données de Hansotte (1980) est certainement réaliste pour les calculs ultérieurs des besoins en charbon de bois.

Production annuelle de fonte par fourneau

Nous avons relevé la production annuelle de fonte de 14 fourneaux parmi les 53 répertoriés ci-dessus, répartis sur 8 sites industriels. La production moyenne de fonte est de 528 tonnes par an (écart type de 120 tonnes), avec un minimum de 335 tonnes au fourneau du Dorlon (ce fourneau appartenait aux forges d'Orval ; il se situe actuellement en France à quelques kilomètres de la frontière) et un maximum de 750 tonnes au fourneau de la Trapperie à Habay-la-Neuve. Les valeurs relevées font référence à diverses années dans la période d'étude, et il est bien établi que le rendement s'est accru au fil du temps notamment par le perfectionnement des soufflets. Ainsi le rendement du fourneau du Dorlon est relevé peu après 1750, époque à laquelle les forges d'Orval qui ont fonctionné avec 3 fourneaux durant une dizaine d'années occupaient le premier rang des producteurs de fonte en Europe, alors que celui de la Trapperie se réfère à l'année 1805. Ces chiffres s'accordent bien avec d'autres données historiques faisant état du nombre de "gueuses" de fonte produites par les fourneaux. La gueuse résulte de la coulée du minerai en fusion au bas du fourneau dans un moule de sable préparé sur le sol. Le poids d'une gueuse est de l'ordre de 800 à 900 kg, voire un peu plus. Il fallait une vingtaine d'hommes pour amener une gueuse à l'affinerie. Au début de la sidérurgie par haut-fourneau, on ne coulait qu'une gueuse tous les 4 à 5 jours, alors qu'à l'apogée de la sidérurgie au bois qui fait l'objet de notre étude, plusieurs sources mentionnent la coulée d'au moins 2 gueuses par jour, ce qui est bien de l'ordre de grandeur du rendement le plus élevé mentionné ci-dessus.

Dans les calculs ultérieurs, il nous semble donc raisonnable de considérer un rendement moyen par fourneau de l'ordre de **500 à 550 tonnes de fonte par an**. Cette estimation cadre parfaitement avec les données de Hansotte (1980) qui rapporte que « *La capacité de production annuelle de nos fourneaux varie ainsi entre un peu plus de 350 et un peu moins de 800 tonnes, mais généralement entre 400 et 650 tonnes* », valeurs relevées durant les années 1760-1790.

Besoins en bois et en charbon de bois

Selon notre méthodologie, les besoins en charbon de bois sont évalués sur la base de la quantité de fonte produite et transformée. Une estimation rapportée dans quelques sources consultées sur internet est attribuée à Bouchayer (1956) selon lequel « *Pour faire une tonne de fonte, il fallait 1 200 à 1 600 kg de charbon de bois et pour transformer le minerai de fer en acier par la méthode wallonne, 3 200 à 5 000 kg de charbon de bois étaient nécessaires à la tonne* ». La « méthode wallonne » fait référence à la fabrication du fer en deux temps (coulée de fonte à la sortie du fourneau suivie de son affinage pour en éliminer le carbone et le silicium), alors que la technique de l'aciérie qui n'émergera qu'à la fin du XIX^e siècle permettra d'épurer la fonte à la sortie du haut-fourneau, quand elle est encore en fusion (Feltz et Incourt, 1995 ; Hansotte, 1980 ; Wagner, 1921). L'estimation rapportée ci-dessus est importante dans la mesure où elle se démarque de plusieurs études n'ayant considéré que les besoins en charbon de bois des fourneaux pour en évaluer l'impact sur les besoins en ressources forestières, alors que l'affinage et l'usinage du fer dans les forges doivent bien évidemment être également pris en compte. Nous aurions souhaité retrouver les données originales ayant permis d'établir ces besoins en combustible par tonne de fonte et de fer en vue d'en évaluer la pertinence pour le contexte régional et temporel qui nous intéresse. Il s'est avéré que ces chiffres ne figurent pas dans l'article de Jacques Bouchayer (1956), ni dans l'ouvrage d'Auguste Bouchayer (1927) auquel se réfère Jacques Bouchayer dans sa communication à Nancy en 1955. Nous n'avons pas réussi à identifier l'auteur effectif de cette estimation.

Nous avons cependant pu élaborer nos propres estimations à partir d'une très large enquête de 1811 rapportée par Wagner (1921) pour la sidérurgie de l'ancien département des Forêts qui

s'étendait sur les territoires actuels du grand-duché de Luxembourg et d'une bonne partie de la province de Luxembourg. Cette enquête distingue les besoins des fourneaux, des feux d'affinerie, des platineries et des fenderies. Ces besoins en combustible sont rapportés en stères de bois ou en kilogrammes de charbon de bois, considérant qu'un stère de bois donnait 80 kg de charbon de bois. Il paraît donc opportun de vérifier le bien-fondé de ce chiffre de conversion, en remontant à des mesures effectives, avant d'examiner les statistiques de 1811.

Nous avons trouvé dans la littérature des mesures expérimentales nombreuses et détaillées dans les départements français des Ardennes et de la Meuse publiées en 1837 (Ingénieurs des mines, 1837), départements frontaliers de la Wallonie où les pratiques sidérurgiques étaient très semblables à celles de nos régions. Cette étude porte spécifiquement sur le bois utilisé pour la carbonisation, détail qui n'est pas sans importance vu que la circonférence des bûches peut influencer le coefficient de remplissage lors de l'empilement. De la compilation des mesures rapportées dans cette étude, il est bien établi que la production de charbon de bois se situe dans une fourchette de **60 à 80 kg par stère de bois**. La masse sèche d'un stère de bois varie dans une gamme de 300 à 400 kg, selon les essences, avec une valeur repère la plus souvent citée de 375 kg. Le rendement en masse est ainsi de l'ordre de 16 à 21 %, avec une valeur repère avoisinant les **20 %** si l'on examine les mesures détaillées à l'échelle des arrondissements. Le rendement en volume est également rapporté pour chaque arrondissement étudié ; il se situe dans une fourchette de 0,3 à 0,4 stère de charbon de bois par stère de bois. La masse volumique apparente du charbon de bois mesurée par les auteurs est de l'ordre de 180 à 240 kg de charbon de bois par stère selon les essences forestières et le degré de siccité. Une valeur repère de 200 kg par stère pour le charbon de bois "rendu à la halle" (magasin de charbon de bois des forges) est retenue par les auteurs de l'étude.

Ces données expérimentales s'accordent très bien avec les valeurs repères de rendement reprises dans de nombreux documents, et semblent peu variables selon les époques. La technique de la meule forestière aurait atteint rapidement son optimum de rendement, et on peut supposer que le succès d'une meule de carbonisation relevait essentiellement de l'art du charbonnier transmis de génération en génération. Il est aussi intéressant de noter que Schenkel *et al.* (1997) rapportent des rendements du même ordre ou à peine supérieurs dans plusieurs pays du Sud pratiquant encore actuellement la technique de la meule charbonnière.

Revenant à l'enquête de 1811 portant sur 30 hauts-fourneaux, 51 forges ou feux d'affinerie, 8 fenderies et 21 platineries, nous relevons que la consommation totale de bois par les activités sidérurgiques dans le département des Forêts se répartissait comme suit : 68 % par les hauts-fourneaux, 31 % par les affineries, 0,6 % par les fenderies et 0,8 % par les platineries. Nous pouvons donc baser nos calculs ultérieurs sur les seuls besoins des hauts-fourneaux et des affineries.

Les statistiques de production de fonte et de consommation de combustible permettent de calculer que les besoins pour les hauts-fourneaux étaient en moyenne de 24,8 stères de bois par tonne de fonte produite ou, en considérant un rendement de 80 kg de charbon de bois par stère de bois, **1,98 tonne de charbon de bois par tonne de fonte produite** (avec 0,4 tonne sèche de bois par stère). Et pour l'affinage, les besoins étaient en moyenne de 13,2 stères de bois, ou **1,05 tonne de charbon de bois, par tonne de fonte passant à l'affinage**. Ces valeurs peuvent être comparées à celles qui sont citées par Noirot (1843) pour une période légèrement postérieure à celle de notre étude. Selon cet auteur, la production d'une tonne de fonte nécessitait 18 à 20 stères de bois, et la production d'une tonne de fer par affinage de la fonte nécessitait 18 stères de bois, soit 13,3 stères de bois par tonne de fonte affinée, en considérant un rendement d'affinage de 1 tonne de fer pour 1,35 tonne de fonte selon les données de cette étude. La valeur légèrement plus élevée que nous avons calculée pour la production de fonte peut être mise en perspective avec l'augmentation constante du rendement d'utilisation du charbon de

bois pour la fusion du minerai ; les multiples améliorations techniques réduisant la consommation de charbon de bois par tonne de fonte produite et affinée sont décrites en détail par Benoît (1990) pour la sidérurgie française des XVIII^e et XIX^e siècles. Cet auteur fait également état d'une enquête de Grignon en 1778 pour la province de Bourgogne où la consommation moyenne de charbon de bois s'élevait à 2 167 kg par tonne de fonte produite, avec des écarts allant de 1 376 à 3 100 kg selon les hauts-fourneaux ; les besoins pour l'affinage ne sont pas mentionnés.

Les données de l'enquête de 1811 permettent aussi de rapporter la consommation de combustible à la tonne de fer produite. Ainsi, pour l'opération d'affinage, il fallait en moyenne 18,7 stères de bois, ou 1,50 tonne de charbon de bois, par tonne de fer. On peut aussi calculer les besoins totaux en combustible par tonne de fer incluant la production de la fonte et son affinage, sachant que, selon les données de l'enquête, il fallait 1,42 tonne de fonte pour produire une tonne de fer, soit un rendement de 70 %. Ce calcul donne 53,8 stères de bois, ou 4,31 tonnes de charbon de bois, par tonne de fer produit, ce qui se situe bien dans la fourchette de 3 200 à 5 000 kg de charbon de bois attribuée à Bouchayer (1956) pour autant que cette citation se rapporte à la tonne de fer et non pas de fonte, détail non mentionné, mais qui a induit en erreur certains auteurs s'étant basés sur ces chiffres à diverses fins.

Disposant de valeurs repères pour la production et l'affinage d'une tonne de fonte, les besoins totaux en combustible ne peuvent être strictement établis que si l'on connaît la proportion du tonnage de fonte qui passait à l'affinage. En effet, certains hauts-fourneaux produisaient de la fonte de moulage pour la fabrication de diverses pièces (chenets, plaques de foyer, poteries, canons et boulets...) selon des technologies nettement plus délicates à mettre en œuvre que la simple production de gueuses destinées à l'affinage. La production de fonte destinée au moulage était cependant plus consommatrice de charbon de bois que la production de fonte destinée à l'affinage. Ainsi, pour les fourneaux de Berbourg et de Lasauvage, dans l'actuel grand-duché de Luxembourg, qui selon l'enquête de 1811 produisaient pour moitié fonte de moulage et fonte d'affinage (Wagner, 1921), la consommation de charbon de bois était de 2,7 tonnes par tonne de fonte, ce qui permet de calculer que la production et l'usinage d'une tonne de fonte de moulage nécessitait de l'ordre de 3,4 tonnes de charbon de bois. Ces estimations nous amènent à ne pas différencier fonte d'affinage et fonte de moulage dans le calcul des besoins en combustible.

Selon les estimations ci-dessus, nous pouvons déjà calculer qu'un fourneau produisant 500 à 550 tonnes de fonte par an consommait annuellement, affinage compris, de l'ordre de 1 600 tonnes de charbon de bois, soit environ 20 000 stères de bois. Une comparaison ponctuelle peut être faite avec l'étude très détaillée de Arnould (1978) portant sur l'usine de Naix, proche de la frontière belge, dans le département de la Meuse. Cette usine avec deux hauts-fourneaux consommait environ 3 000 bannes de charbon de bois par an dans les années 1780-1790 ; considérant qu'une banne représente environ 5 m³, et qu'il faut de l'ordre de 3 stères de bois pour un m³ de charbon de bois, la consommation de cette usine avoisinait les 45 000 stères de bois pour 2 hauts-fourneaux.

Sur une base de 1 600 tonnes de charbon de bois par haut-fourneau, les besoins annuels de la sidérurgie wallonne, selon nos hypothèses minimaliste et réaliste de nombre de fourneaux actifs, seraient donc de l'ordre de 85 000 à 117 000 tonnes de charbon de bois, ou 1 060 000 à 1 460 000 stères de bois.

CONCLUSIONS

Cette première partie de notre étude historique nous a permis d'établir les besoins en charbon de bois par tonne de fonte produite sur la base d'une enquête détaillée de 1811 dans l'ancien

département des Forêts, époque à laquelle la Wallonie se trouvait sous tutelle française. Cette source présente l'avantage de distinguer les besoins en combustible pour les différentes opérations sidérurgiques : fusion du minerai, affinage de la fonte et usinage du fer dans les platines et fenderies, alors que très souvent les études de ce type n'ont considéré que les besoins en charbon de bois relatifs à la production de fonte brute. Nos propres calculs de production moyenne de fonte par haut-fourneau et de nombre de hauts-fourneaux actifs ont été confortés par les données d'une étude historique approfondie de la métallurgie et du commerce international du fer dans les Pays-Bas autrichiens et la principauté de Liège pendant la seconde moitié du XVIII^e siècle. Le rendement en charbon de bois par la technique de la meule forestière de carbonisation établi sur la base de données expérimentales recueillies dans les départements des Ardennes et de la Meuse permet d'estimer avec une bonne précision les quantités de bois correspondantes. La deuxième partie de notre étude tentera, sur ces bases, d'évaluer la superficie forestière wallonne requise pour l'approvisionnement en combustible des fourneaux et forges.

Brieuc HARDY – Joseph E. DUFÉY
 Assistant UCL Professeur UCL
 Earth and Life Institute – Soil Science
 UNIVERSITÉ CATHOLIQUE DE LOUVAIN
 Croix du Sud 2, boîte L7.05.01
 B-1348 LOUVAIN-LA-NEUVE (BELGIQUE)
 (joseph.dufey@uclouvain.be)

Remerciements

Les auteurs remercient la Direction générale opérationnelle de l'Agriculture, des Ressources naturelles et de l'Environnement (DGO3) du Service public de Wallonie pour le soutien apporté à la présente recherche.

BIBLIOGRAPHIE

- ARNOULD (É.). — Métallurgie au bois et utilisation de la forêt. — *Revue forestière française*, vol. XXX, n° 6, 1978, pp. 459-477.
- BENOÎT (S.). — La Consommation de combustible végétal et l'évolution des systèmes techniques. *In* : Forges et forêts : recherches sur la consommation proto-industrielle de bois / D. Woronoff. — Paris : Éditions de l'École des Hautes Études en Sciences sociales, 1990. — pp. 87-150.
- BOUCHAYER (A.). — Les Chartreux Maîtres de Forges. — Grenoble : Ed. Didier & Richard, 1927. — 245 p.
- BOUCHAYER (J.). — Les Chartreux Maîtres de Forges. *In* : Le fer à travers les âges. Hommes et techniques. Actes du colloque international, Nancy 3-6 octobre 1955. — *Annales de l'Est*, Mémoire n° 16, Université de Nancy, 1956, pp. 143-159.
- DEREINE (G.), GOFFAUX (J.). — Établissements industriels mus par l'énergie hydraulique. *In* : Bassin hydrographique de la Molignée. Volume 1 : Facteurs abiotiques. — Jambes (Belgique) : Comité scientifique de la Conservation de la nature et de la protection des eaux asbl, Publication du Ministère de la Région wallonne / Direction générale des ressources naturelles et de l'environnement (DGRNE), 2001. — 206 p.
- DORBAN (M.), YANTE (J.-M.), LEHNERS (J.-P.). — Quatre siècles de sidérurgie luxembourgeoise (1380-1815). *In* : Mutations de la sidérurgie du XVI^e siècle à 1960 / P. Wynants (Ed.). — Namur : Facultés universitaires Notre-Dame de la Paix, 1997. — pp. 113-138 (Colloques Meuse-Moselle).

- DUHAMEL DU MONCEAU (H.-L.). — Art du charbonnier ou manière de faire le charbon de bois. — Descriptions des Arts et Métiers, Académie royale des Sciences. — Paris : Ed. Desaint & Saillant, 1761. — 43 p.
- DUQUESNE (M.), DEVILLEZ (F.). — Évolution de l'équilibre agro-sylvo-pastoral en Fagne de Chimay. — Louvain-la-Neuve : Université catholique de Louvain - Unité des Eaux et Forêts, 1989. — 56 p.
- DUSSART (F.), WILMET (J.). — Les "aires de faude" dans les défrichements du XIX^e siècle en Thiérache (Entre-Sambre-et-Meuse). Leur repérage par photo-interprétation. — *Bulletin de la Société Géographique de Liège*, n° 6, 1970, pp. 169-178.
- ÉVRARD (R.). — Forges anciennes. — Liège : Éditions Solédi, 1956. — 225 p.
- FELTZ (C.), INCOURT (A.-F.). — Itinéraire de la sidérurgie du XVI^e au XX^e siècle en Sud-Ardenne et Gaume. — Hommes et Paysages, Société royale belge de géographie, Coédition Fondation universitaire luxembourgeoise, 1995. — 57 p.
- GILLARD (A.). — L'Industrie du fer dans les localités du comté de Namur et de l'Entre-Sambre-et-Meuse de 1345 à 1600. — Bruxelles : Éditions Crédit communal, 1971. — 216 p. (Collection Pro-Civitate, Histoire, n° 29).
- HANSOTTE (G.). — La Métallurgie et le commerce international du fer dans les Pays-Bas autrichiens et la Principauté de Liège pendant la seconde moitié du XVIII^e siècle. — Bruxelles : Académie royale de Belgique, 1980. — 419 p.
- HARDY (B.), DUFÉY (J.E.), — Estimation des besoins en charbon de bois et en superficies forestières pour la sidérurgie wallonne préindustrielle (1750-1830). Deuxième partie : Les besoins en superficie forestière. — *Revue forestière française*, vol. LXIV, n° 6, 2012 (à paraître).
- HEUSCHLING (X.), VAN DER MAELEN (Ph.). — Essai sur la statistique générale de la Belgique. — Bruxelles : À l'Établissement géographique, Faubourg de Flandre, 1838. — 416 p.
- HOUBRECHTS (G.), PETIT (F.). — Évolution des techniques sidérurgiques préindustrielles et aperçu des critères de localisation de la métallurgie en « Terre de Durbuy ». — *Terre de Durbuy*, n° 89, 2004, pp. 3-29.
- HOYOIS (G.). — L'Ardenne et l'Ardennais. L'évolution économique et sociale d'une région. Tome 2. — Bruxelles-Paris : Éditions universitaires ; Gembloux : J. Duculot, imprimeur-éditeur, 1953. — pp. 444-983.
- INGÉNIEURS DES MINES. — Annales des mines. Troisième série. Tome XI. — Paris : Carilian-Goery, éditeur Libraire, 1837. — 734 p.
- JOANNE (A.). — Géographie du département de la Meuse. — Paris : Hachette, 1881. — 58 p. [Extraits en ligne] : <http://meuse-histoire-balade.e-monsite.com/pages/vie-en-meuse-wallonne-en-1800.html>
- KERVYN (T.). — Mutation de la forêt wallonne depuis la carte de Ferraris. In : Milieux ouverts forestiers, lisières et biodiversité – de la théorie à la pratique / V. Fichet, E. Branquart, H. Claessens, L.-M. Delescaille, M. Dufrene, E. Graitson, J.-Y. Paquet, L. Wibail. — Gembloux : Publication du Département de l'étude du milieu naturel et agricole, 2011. — 182 p. (Série "Faune – Flore – Habitats" n° 7).
- LEBOUTTE (R.). — La Métallurgie dans la région liégeoise du XV^e siècle à l'aube du XIX^e siècle. In : Mutations de la sidérurgie du XVI^e siècle à 1960 / P. Wynants (Ed.). — Namur : Facultés universitaires Notre-Dame de la Paix, 1997. — pp. 57-83 (Colloques Meuse-Moselle).
- MILLE-RÉAULT (S.). — Fer et forêt. Rapport entre la protoindustrie du fer et le milieu forestier en forêt de Paimpont. — *Revue forestière française*, vol. XLVI, n° 3, 1994, pp. 263-271.
- MINISTÈRE DU COMMERCE ET DES MANUFACTURES. — Enquête sur les fers. Commission formée avec l'approbation du Roi sous la présidence du Ministère du Commerce et des Manufactures pour l'examen de certaines questions de législation commerciale, octobre 1828. — Paris : Imprimerie royale, 1829. — 368 p.
- NOIROT. — De l'influence de l'entrée des fers étrangers sur les produits des forêts. — *Annales forestières*, 1843, pp. 626-634.
- ORVAL. — Les forges d'Orval. Catalogue des journées du patrimoine 2003. — Ed. Aurea Vallis et Villare... Les Amis du Patrimoine asbl, 2003. — [En ligne] : http://www.orvalpatrimoine.infoperform.eu/FI_Telechargements/Publications/Orval_Forges_Fonte.pdf
- SCHENKEL (Y.), BERTAUX (P), VANWIJNBERGHE (S), CARRÉ (J.). — Une évaluation de la technique de la carbonisation en meule. — *Biotechnologie, Agronomie, Société et Environnement - BASE*, vol.1, n° 2, 1997, pp. 113-124.
- WAGNER (J.). — La Sidérurgie luxembourgeoise avant la découverte du gisement des minettes. Histoire technique du bon vieux temps. — Diekirch (G.-D. de Luxembourg) : Imprimerie Paul Schroell, 1921. — 209 p.
- WORONOFF (D.). — Forges et forêts : recherches sur la consommation proto-industrielle de bois. — Paris : Éditions de l'École des Hautes Études en Sciences sociales, 1990. — 263 p.
- WORONOFF (D.). — Histoire de l'industrie en France : du XVI^e siècle à nos jours. — Paris : Éditions du Seuil, 1994. — 664 p.

ESTIMATION DES BESOINS EN CHARBON DE BOIS ET EN SUPERFICIE FORESTIÈRE POUR LA SIDÉRURGIE WALLONNE PRÉINDUSTRIELLE (1750-1830). PREMIÈRE PARTIE : LES BESOINS EN CHARBON DE BOIS (Résumé)

Comme dans les régions voisines, la forêt wallonne fut mise à forte contribution pour fournir le charbon de bois nécessaire à la sidérurgie avant l'adoption du charbon de terre, la houille, au cours du XIX^e siècle. L'apogée de la sidérurgie au bois en Wallonie se situe dans les années 1750 à 1830. Le charbon de bois était utilisé non seulement pour la fusion du minerai mais aussi pour l'affinage de la fonte produite, et, en quantité nettement moindre, pour le façonnage du fer dans les forges. Des données statistiques anciennes ont permis d'établir qu'il fallait de l'ordre de 3 tonnes de charbon de bois pour la production et l'affinage d'une tonne de fonte. Un haut-fourneau produisant en moyenne à cette époque 500 à 550 tonnes de fonte par an, les besoins en charbon de bois sont estimés à environ 1 600 tonnes par an et par fourneau, soit l'équivalent de quelque 20 000 stères de bois. Avec une bonne septantaine de hauts-fourneaux actifs en Wallonie, les besoins en charbon de bois sont ainsi évalués à environ 115 000 tonnes par an, soit plus de 1 400 000 stères de bois.

AN ESTIMATION OF CHARCOAL AND FOREST SURFACE AREA NEEDS FOR THE PRE-INDUSTRIAL WALLON STEEL SECTOR (1750-1830). PART I – CHARCOAL NEEDS (Abstract)

Just as in neighbouring areas, huge demands were made on the Walloon forests to supply the charcoal required by the steel sector prior to the switch to coal during the 19th century. Steel production using wood reached a peak in Wallonia between 1750 and 1830. Charcoal was used not only to melt the ore but also to refine the cast iron produced, and to a far lesser extent, to craft iron in the forges. On the basis of very early statistics, it has been established that some three tons of charcoal were required to produce and refine one ton of cast iron. At that time, a furnace could produce between 500 and 550 tons of cast iron per year. Charcoal needs are estimated to be roughly 1 600 tons per year and per furnace, i.e. the equivalent of 20 000 steres of wood. With over 70 furnaces in production in Wallonia, overall charcoal requirements came to approximately 115 000 tons per year, i.e., more than 1 400 000 steres of wood.
