

LA MACHINE À VAPEUR DE BETANCOURT POUR L'INDUSTRIE SUCRIÈRE CUBAINE: UN ÉPISODE INÉDIT DE L'HISTOIRE DU MACHINISME (FIN XVIII^E SIÈCLE)¹

*La máquina de vapor de Betancourt para la industria
azucarera cubana: un episodio inédito de la historia
del maquinismo (finales del siglo XVIII)*

Irina GOUZÉVITCH
Centre Maurice Halbwachs, EHESS, París
irina.gouzevitch@ens.fr

Dmitri GOUZÉVITCH
Centre d'Études des Mondes russe, caucasien et est-européen, EHESS, París
dmitri.gouzevitch@ehess.fr

Fecha de recepción: 22/02/2022
Fecha de aceptación definitiva: 21/07/2022

RESUMEN: En este artículo, los autores relatan una historia poco conocida de la máquina de vapor para la industria azucarera cubana, un invento pionero cuya aventura transoceánica es un hito de la tecnología del siglo XVIII. Nuestro análisis se divide en tres partes: los perfiles de los protagonistas, la reconstrucción de la máquina de Betancourt y los imprevistos que debieron afrontar los aparatos fabricados. Para concluir, reflexionaremos sobre los problemas generales que este estudio plantea más allá de la historia de un invento abortado.

1. Este proyecto se ha desarrollado en el seno del Proyecto de Investigación I+D del Ministerio de Ciencia de Innovación «Agua y Luces. Tratados españoles de arquitectura hidráulica en la Ilustración» (PID2020-115477GB-I00).

Palabras clave: arte e ingeniería; Agustín de Betancourt; máquina a vapor; Ilustración cubana.

ABSTRACT: In this article, the authors tell a little-known story of the steam engine for the Cuban sugar industry, a pioneering invention whose transoceanic adventure is a milestone of eighteenth-century technology. Our analysis is divided into three parts: the profiles of the protagonists, the reconstruction of Betancourt's machine and the unforeseen events that the manufactured devices had to face. To conclude, we will reflect on the general issues that this study raises beyond the history of an aborted invention.

Key words: Art and engineering; Agustín de Betancourt; steam engine; Cuban Enlightenment.

1. LES PRÉALABLES

Les techniques de la vapeur font partie des thématiques privilégiées de l'histoire du machinisme, et pour cause. Une série d'inventions pionnières introduites dans ce domaine par le mécanicien britannique James Watt dans les années 1760-1770 a abouti à la création de la machine à vapeur à double effet considérée à juste titre comme l'un des pivots principaux de la révolution industrielle du dernier XVIIIe siècle. En 1804, un autre mécanicien britannique, Arthur Woolf, a patenté un autre dispositif promu à un grand avenir industriel au XIXe siècle: il avait utilisé la machine à double effet de Watt pour créer, sur sa base, un moteur universel de type plus performant, la machine *compound*, fondée sur le principe de l'usage réitératif de la vapeur par son expansion en cascade².

Le long cheminement de la pensée inventive qui a abouti à ces résultats spectaculaires a été scrupuleusement étudié et les parcours des inventeurs aux rôles impartis passés au crible. Mais aussi balisée soit elle, l'histoire des machines à vapeur réserve encore des surprises qui mettent à mal bien des idées reçues. En témoigne le cas de la machine à vapeur pour l'industrie sucrière cubaine qui sera analysé dans cet article. Evoquée principalement, à partir des années 1960, en lien avec l'essor des industries coloniales à la fin du XVIIIe siècle, cette machine

2. L'histoire des machines à vapeur est, évidemment, beaucoup plus ancienne, et les avancées de James Watt avaient, pour impulsion première, le perfectionnement de la machine atmosphérique de Thomas Newcomen (1712). Mais dans cet article nous allons nous intéresser à l'histoire d'une invention qui implique les deux dispositifs cités: la machine à vapeur à double effet et la machine *compound*. Abréviations: *AEA*: *Anuario de Estudios Atlánticos*; ANRC: Archivo Nacional de República de Cuba (La Havane); BA&H B&WC: Birmingham Archives and Heritage (Boulton & Watt collections), Library of Birmingham; BNJM. CM: Biblioteca Nacional José Martí. Colección de Manuscritos (La Havane); EP ParisTech: École des ponts ParisTech (Paris). Bibliothèque et archives. Fonds ancien; *QHE*: *Quaderns d'Historia de l'Enginyeria*.

aux caractéristiques floues est longtemps restée en marge des études classiques. L'intérêt que lui portent depuis quelques années les historiens métropolitains tient surtout à l'identité de son inventeur, l'ingénieur canarien Augustin Betancourt (1756-1824).

L'itinéraire européen de cet expert polyvalent est emblématique des Lumières. Sa culture technique hybride assise sur l'utilitarisme ibérique, le scientisme français et l'empirisme britannique a permis à cet employé de la Couronne espagnole à investir la plupart des domaines techniques de son temps et à en marquer certains. Les machines à vapeur dans leurs dimensions théorique (études sur les propriétés de la vapeur), empirique (modélisation et expérimentation) et pratique (conception des dispositifs destinés à l'usage industriel) en font partie.

Betancourt se fit un renom d'espion industriel à succès pour avoir percé à jour, ramené sur le continent et rendu public (1788-1789) le principe du double effet tenu secret par James Watt et Mathieu Boulton, détenteurs du privilège exclusif et principaux producteurs de ces dispositifs (Payen, 1967). Ses recherches pionnières sur la force expansive de la vapeur, publiées en 1790 et en 1796³, furent, à leur tour, espionnées par James Watt au stade du manuscrit (Maxime Gouzévitch, 2009: 142-143). Son projet de la drague à vapeur (1792), fondée sur le principe de la double injection, fut mis en application en 1808, en Russie ([González Tascón,] 1996a). En revanche, malgré les quelques propos de Betancourt que ses biographes certifiés ont eu du mal à étayer, l'implication du «héro du progrès» (Bogoliubov, 1973) espagnol dans le projet d'une machine à vapeur pour l'industrie sucrière cubaine est longtemps demeurée opaque.

Les quelques passages originaux qui font allusion à cette machine figurent dans la lettre de l'ingénieur du 10 décembre 1794 publiée par García-Diego en 1975 (203-205). Rumeu de Armas (1980: 183-184), dans sa biographie fondamentale de Betancourt, a abordé ce sujet brièvement. D'autres biographes de l'ingénieur l'ont ensuite enrichi de quelques éléments puisés dans des sujets connexes, telle l'expédition de Guantánamo (González Tascón, 1996b: 185-188; *Cuba ilustrada*, 1991). Enfin, les recherches menées dernièrement par Peter Jones ([2022] à paraître) dans les archives de Soho à Birmingham et quelques suggestions utiles formulées par Olga Egorova (2010a) dans une série de travaux issus de son séjour à La Havane, y ont apporté des éclairages inédits.

Ayant assemblé et analysé, à la lumière de nos propres recherches, menées en France, en Angleterre, en Espagne et à Cuba, les éléments épars de ce puzzle complexe, nous avons tenté une reconstitution synthétique de la machine cubaine. Notre démonstration s'organisera en trois temps. Elle comprendra les profils des

3. Betancourt y Molina, Agustín de [1790], *Mémoire sur la force expansive de la vapeur de l'eau, lu à l'Académie Royale des Sciences*, Paris: chez Laurent, 38 pp.; publication résumée et commentée: Prony, Gaspard de (1790), *Nouvelle Architecture Hydraulique*, vol. 1, Paris: Firmin-Didot, pp. 556-563, 67/2, n.°1318, 1322-1327, tab. 5; vol. 2, *ibidem*, 1796, pp. 5-34, 153-196, n.° 1358-1379.

protagonistes (inventeur, commanditaires, fabricants potentiels et effectifs, médiateurs) et leurs motifs; la reconstitution de la machine de Betancourt (approches et méthode) et son identification; les aléas des dispositifs fabriqués et les causes de l'échec de l'entreprise. Enfin, la conclusion nous servira pour réfléchir aux problèmes plus globaux qu'interpelle cette étude au-delà de l'histoire d'une invention avortée.

2. LE PROTAGONISTE ET SON TÉMOIGNAGE

Dans sa fameuse lettre du 10 décembre 1794, adressée à Abraham-Louis Breguet, Betancourt, alors en mission officielle à Londres, résume l'affaire cubaine en termes suivants:

Deux de mes amis de l'Amérique Espagnole ont été ici cet été, et je les [sic] ai proposé le projet d'établir dans leurs posesions des pompes à feu pour éviter le grand nombre de bœufs et de Negres dont ils ont besoin pour presser la canne à sucre; je leurs ai fait de calculs si clairs qu'il m'ont donné l'ordre de leurs faire executer deux de ces machines, que j'ai dessinées, et qui sont déjà en execution. Dans ce travail j'ai eu l'ocasion de m'informer de tous les defauts qui existent dans les machines qui sont en usage dans les Isles Angloises, Françoises et Espagnoles: j'ai taché de les éviter, et j'ai fini par inventer une machine composée de diferentés cilindres, la quelle 1.° employe trois negres de moins que la plus parfaite qui existe aujourd'hui; 2.° est moins couteuse; 3.° n'est pas sujete au moindre entretien; 4.° il ny a pas le moindre risque dans son usage [...]; 5.° Avec le même puissance on peut faire au moins le double d'ouvrage. Deux de ces Machines seront bien tôt finis et j'espere qu'aussitôt qu'on verra son effet dans les Isles, les proprietaires abandon(neront celles) qu'ils ont a present (cit. par García-Diego y Ortiz, 1975: 204)⁴.

Ce passage fournit la clé pour analyser la structure de la machine. Mais d'abord, intéressons-nous aux protagonistes de notre histoire et à leurs mobiles.

3. LES COMMANDITAIRES ET LEUR PROJET

L'identité des «amis de l'Amérique Espagnole» est connue. Il s'agit d'Ignacio Pedro Montalvo y Ambulodi (1748-1795) et Francisco Arango y Parreño (1765-1837), deux riches et influents planteurs créoles qui ont entrepris une longue tournée transatlantique en quête de nouvelles performances techniques susceptibles de dynamiser l'industrie sucrière cubaine. L'urgence de ce voyage se mesurait par la portée des enjeux commerciaux et politiques du projet réformiste censé promouvoir le nouveau statut de Cuba sur l'arène mondiale. En effet, la révolution en France et la déchéance consécutive de ses florissantes possessions agricoles

4. La lettre est citée en respectant l'orthographe originale.

d'outre-mer, Haïti et Saint-Domingue, dévastées par les esclaves insurgés en 1791, ont mis Cuba, jusqu'alors producteur de second rang, en position de briguer le rôle du principal exportateur mondial du sucre de canne. En revanche, l'état arriéré de ses manufactures sucrières qui peinaient à égaler leurs concurrentes françaises et britanniques, était un obstacle sérieux à ces ambitions des élites créoles et Arango, en vrai idéologue éclairé du mouvement réformiste, a proposé une série de mesures énergiques pour vaincre cette arriération. La veille technologique était un élément-clé de son programme du développement durable, seul vrai garant de la prospérité et de l'autonomie commerciale et politique de Cuba face à la métropole (Arango y Parreño, 2005: 153, 173-180).

L'Angleterre était une étape importante du trajet puisque les voyageurs espéraient s'y renseigner sur les machines à vapeur, cette nouvelle source d'énergie dont Arango, selon son propre témoignage, avait déjà entendu parler: «À La Havane les moulins à sucre sont actionnés au moyen de quatre leviers qui sont tirés par des bœufs, alors qu'en Jamaïque, [...] il y a des moulins qui le font par la force de l'eau, et d'autres par la pompe à feu» (p. 182)⁵.

Une fois à Londres, les voyageurs ont donc entrepris de contacter quelqu'un qui pourrait les instruire et se sont naturellement tournés vers leur compatriote Betancourt, expert reconnu en matière de mécanique. L'ingénieur, nous l'avons vu, a pris le problème au sérieux et a fait tout son possible pour s'assurer la direction des opérations. Sa gestion était extrêmement expéditive car quatre mois après les faits, deux machines de sa conception étaient déjà en chantier.

Curieusement, les sources cubaines ne parlent que d'une seule machine importée sur l'île. Le sort de la seconde, longtemps ignoré, a pu être établi grâce aux documents conservés dans les Archives des Indes à Séville, et nous y reviendrons. En revanche, les hypothèses émises sur le type de mécanisme inventé par Betancourt que nous avons collectées au fil de nos lectures s'appuient sur l'unique figuration de la machine cubaine et sur quelques témoignages épars.

4. BETANCOURT ET SON PROJET: HYPOTHÈSES

Les opinions sur la nature du dispositif importé à Cuba sont fixées: on parle de «Boulton and Watt engine» (Zogbaum, 2002: 41) ou de la «machine à double effet», ce qu'on peut considérer ici comme des synonymes. Egorova (2010a) apporte une nuance importante en affirmant qu'il s'agit de la «machine de Betancourt». Mais puisqu'elle utilise comme référence la fameuse planche produite par

5. Cette machine jamaïcaine, sans doute une Newcomen, est évoquée dans les travaux historiques à l'occasion des expériences avec les techniques de la vapeur tentées sur cette île antillaise entre 1768 et 1770 puis abandonnées pour cause du faible rendement de la machine. La même situation a eu lieu à la Barbade et à Saint-Dominique, mais on ignore si Arango a eu vent de l'échec des expériences. Voir Moreno Friginals (1964: 30).

l'ingénieur à son retour de l'Angleterre, en 1789⁶, on reste dans le flou car il s'agit toujours de la machine à double effet réinventée. C'est donc les conditions de sa fabrication qu'il fallait explorer en priorité pour trancher. Car quelle que soit la formule employée, elle peut renvoyer à l'une des trois réalités: 1er, une machine *fabriquée à Soho* par Boulton et Watt qui détenaient le privilège exclusif pour construire ce type de dispositifs –ce qui ne semble pas être le cas–; 2e, une machine produite *ailleurs et par un tiers*, en détournement dudit privilège et donc de façon frauduleuse –ce qui pourrait être le cas–; enfin, 3e, un dispositif qui, tout en étant inspiré du principe du double effet de Watt, «contenait des innovations suffisamment importantes pour que sa fabrication par un tiers n'enfreigne pas ou peu, le privilège exclusif de Watt et Boulton» –ce qui nous semble avoir été le cas–. Essayons d'étayer cette dernière hypothèse à la lumière des documents découverts aux Archives de Soho.

5. LES ASSOCIÉS DE SOHO FACE AU «PIRATE PHILOSOPHIQUE»

L'implication des partenaires de Soho dans l'affaire cubaine est longtemps restée inédite. On a pu l'élucider grâce aux courriers échangés entre juillet et octobre 1794 par Matthew Boulton, James Watt Sr, James Watt Jr et l'agent commercial espagnol Fermín de Tastet⁷.

La première lettre est celle du 2 (9?) juillet 1794 par laquelle Fermín de Tastet envoie à James Watt, à Birmingham, le *Memorandum. Questions of the Conde de Casa Montalvo, from Havannah*. Il y présente le solliciteur cubain comme «the richest planter at the Havannah», se propose comme intermédiaire pour recevoir une réponse rapide et ajoute: «this Gentleman says that if your Engines can be very useful in sugar mills, a vast number of them might be employed in the Island of Cuba»⁸. Le questionnaire joint contient huit points. Le comte souhaitait savoir si la machine nouvellement inventée avait été utilisée aux Indes occidentales pour fabriquer le sucre et si oui, quels avantages en résultaient? Quelle quantité de combustible à l'heure était nécessaire pour qu'elle fournisse le travail de huit chevaux ou bœufs? Quel serait le prix d'une telle machine livrée aux Indes occidentales étrangères? Serait-il difficile de rencontrer un bon ingénieur enclin de s'y établir pour installer et entretenir une telle machine et quel salaire il pourrait exiger?

La deuxième lettre, adressée par Matthew Boulton à James Watt Sr le 4 Septembre 1794 et portant au verso l'inscription «Chev[alie]r of Betancourt. West Indian

6. EP ParisTech, bibliothèque. FA. Ms 1258: Betancourt A. Mémoire sur une Machine à vapeur à double effet, 1789, 12 ff., 1 F. de pl.

7. Nous remercions Peter Jones et Fiona Tait pour leur aide à identifier ces documents dans les archives de Soho.

8. BA&H B&WC. Ms 3147/3/429: General Correspondence Dealt with By John Southern, 1788-1797, F°24a, b.

Engines», est consacrée à la requête de ce dernier sur les machines à vapeur pour Cuba, reçue à Soho la veille. Boulton semble inquiet, en proie à des souvenirs désagréables⁹:

I suppose it is the same Gent.n that came [...] at Soho & whom Monsieur Pronoy [sic] mentions in his Book. If so I think he should have General answers but not particular prices of either Cast or wrought Iron. [...]. As to the Steam Engines themselves I would ask one sum including all without entering into any Particulars [...]. But you should first know whether the Engines should be single or double [...] If we come to an agreement with him it will be necessary that some good house in England should agree to accept our draughts (?) – pray how long has Betancourt been a Chevalier – If our terms are accepted [...] both Engines might be ready for Shipping in 6 Ms [...] – But the greatest difficulty will be to find a Man to erect it¹⁰.

James Watt Jr a anticipé cette requête, ayant demandé à Tastet, par une lettre du 3 septembre 1794, s'il connaissait ledit chevalier et ses amis et quel crédit ils avaient. La lettre est dotée d'un post-scriptum: «The Chevalier lives No 35 Hans Place, Sloane Street; we formerly saw him here & have some reason to complain of his proceeding *as a philosophical pirate*»¹¹.

La longue réponse de Tastet datant du 5 septembre 1794 nous place au cœur de l'intrigue:

All we know of the Chevalier is that he is an Engineer officer in the Spanish Service, & men of fortune seldom serve in that corps in Spain. His two friends are [...] the Marquis de Casa Montalvo & Don Francisco de Arango, who have been recommended to us two gentlemen of large property in the Island of Cuba, [...] although we cannot say it with any certainty It was at the request of those identical two gentlemen that we lastly made some enquiries of you respecting an engine for the same purpose, & we imagine they have a [...] thought the Chevalier could manage [...] this enterprise much better than we, in which they certainly are in the right being objects that we do not understand at all, nor should we care much for such orders [...] was it not for the satisfaction of cultivating our connections with you [...] – «what degree of credit we think them entitled to», we shall observe [...] that we never grant any ourselves to persons out of trade [...] without the guarantee of some known merchant or banker [...] & if you cannot do foreign busyness in these terms, you will [...] do better not to undertake it¹².

9. Les raisons de cette prudence et rancune des associés de Soho harcelés par de nombreux visiteurs désireux de «forcer» leurs secrets techniques et particulièrement affectés par la visite de Betancourt en automne 1788, visite qui a eu pour résultat la redécouverte et l'introduction sur le continent du principe du double effet, sont détaillés dans Harris (1998). En ce qui concerne les visiteurs français et russes, voir aussi Irina Gouzévitch et Dmitri Gouzévitch (2007).

10. BA&H B&WC. MIV, Bunde B, Folder 14.

11. *Ibidem*. Timmins Collection, JW Jnr. to Firmin de Tastet, September 1794.

12. *Ibidem*. Ms 3147/3/524/120: Spanish Engineers.

Enfin, le 3 octobre, Fermín de Tastet informe Boulton que les planteurs cubains ont demandé qu'il leur fasse une lettre de recommandation pour commander deux machines à vapeur à la manufacture de Soho et qu'il les renseigne sur le mode de paiement. Tastet leur a répondu qu'une telle proposition devrait émaner du fabricant mais que le mode habituel était de se faire payer à la livraison par le truchement d'une solide firme anglaise qui devait servir de garante. En revanche, aucune maison londonienne ne voudrait donner un tel ordre au nom des «Gentlemen in America, unless they had the counter guarantee of some very solid home at Madrid or Cadiz». Sur ce point, les Cubains ont émis des avis partagés. Si le comte de Casa Montalvo estimait qu'il serait facile d'obtenir une telle garantie en Espagne, Arango penchait pour le versement direct au fabricant d'un dépôt de garantie à la hauteur de 400 livres. Tastet, pour sa part, a préféré laisser les intéressés régler ce problème entre eux¹³.

6. LES ÉCHANGES: UN ESSAI D'INTERPRÉTATION

Ce chassé-croisé d'échanges nous met au défi de donner une explication cohérente aux différentes démarches menées en parallèle. Pour commencer, ils apportent l'évidence de la détermination des Cubains qui ont activé tout un réseau de relations leur permettant d'atteindre leur but au plus vite et avec le maximum de garanties. De ce point de vue, Fermín de Tastet, tout autant que Betancourt, était l'homme de la situation. Propriétaire de la firme londonienne «Tastet et Co», spécialisée dans la promotion des produits industriels anglais en Espagne, entre 1789 et 1794, il avait coordonné de nombreuses transactions relatives à la vente des machines à vapeur de Watt et Boulton aux divers commanditaires espagnols (Torrejón Chaves, 1994). L'un d'eux avait probablement recommandé aux Cubains de solliciter la médiation de Tastet pour prospecter, en leur nom, sur la possibilité de commander les machines à vapeur à Soho. L'agent a rempli la commission et le *Mémorandum* du comte de Casa Montalvo a été reçu à Soho. Qui plus est, le questionnaire comporte des ébauches de réponse griffonnées au crayon. Toutefois, la réponse a dû traîner en longueur et les planteurs ont fait appel à leur deuxième recours, Augustin Betancourt. Vers la fin de l'été 1794, Betancourt a adressé à James Watt sa propre requête qui a mis les partenaires face à un dilemme difficile: donner suite à une affaire lucrative qui s'ouvrait sur de nouveaux marchés et traiter avec le «pirate philosophique» dont ils n'étaient pas prêts d'oublier les «écarts» à leur rencontre. Dubitatifs mais appâtés, Boulton et Watt ont opté pour une posture prudente en attendant d'obtenir de plus amples renseignements sur la crédibilité du démarcheur et la solvabilité des commanditaires potentiels. L'enquête menée auprès de Tastet s'est avérée tout sauf rassurante. Sans se montrer ouvertement

13. *Ibidem*. Ms 3147/3/524/121: Spanish Engineers.

dissuasif, l'agent a émis suffisamment de réserves pour que le doute raisonnable s'installe. La condition posée *in extremis* pour que la transaction puisse aboutir consistait donc à réclamer que les planteurs fournissent une lettre de crédit émanant d'un banquier anglais. Une fois cette décision prise, les deux parties n'ont plus dévié de leurs positions et tous les efforts des Cubains visant à trouver un arrangement se sont avérés vains. Après le 3 octobre 1794, la correspondance s'arrête: à l'évidence, l'affaire en est restée là (Tann, 1981: 368-369).

7. LES INTÉRÊTS DES UNS ET DES AUTRES

Cette échéance plutôt banale dissimule un scénario complexe où non moins de cinq parties se voient impliquées: les commanditaires (Cubains), deux intermédiaires (Tastet et Betancourt) et deux fabricants potentiels (les partenaires de Soho). Le jeu s'engage où chacune des parties cherche son compte. Les commanditaires souhaitent acquérir les machines et au fond, l'identité du fabricant leur importe peu. Leur démarche s'avère pourtant naïve puisque, d'une part, ils estiment que leur position sociale, leur richesse et leurs relations leur ouvriront toutes les portes en Grande Bretagne, et de l'autre, ils confient leur affaire à deux intermédiaires concurrents. Pour preuve, le comportement ambivalent de l'agent espagnol qui, agacé par l'irruption d'un tiers indésirable, a bel et bien «noyé» l'affaire en dépit des commissions miroitantes.

La posture de Boulton exprime la dualité de sa nature. Ses instructions sur les réponses à donner aux divers points de la requête de Betancourt oscillent entre les civilités d'un gentleman éclairé et les esquives d'un entrepreneur qui flaire une bonne affaire tout en craignant de se faire bernier. Mais au-delà de ces tiraillements, ses réflexions nous renseignent sur la teneur de la requête à proprement parler et font ainsi entrevoir les intentions de Betancourt. Or, ses questions s'avèrent de haut niveau et concrètes. L'ingénieur s'intéresse au coût des différents matériaux (fonte, fer forgé, tôle à chaudière, cuivre) et à la possibilité de fabriquer les divers éléments des moulins à sucre (malaxeurs de raffinage et roues dentées), mais surtout, il s'enquiert de la possibilité et du coût de fabrication de deux machines à vapeur sans toutefois spécifier leur système (à effet simple ou double) ni leur puissance. Venant de Betancourt, un questionnaire formulé de la sorte provoque la suspicion légitime de l'entrepreneur britannique. En effet, un commanditaire ordinaire agit d'habitude différemment: il formule l'objet de la commande et s'intéresse plutôt à son coût global, aux délais de fabrication, au rendement, aux modes de transport et d'assemblage, au coût de l'exploitation... Le *Memorandum* du comte de Casa Montalvo était justement de cette nature.

Face à la curiosité excessive de Betancourt, Boulton oppose des réponses générales sur les prix du fer et renvoie aux tiers pour celles de la tôle à chaudière et de la fabrication des éléments de moulin dont, de toute façon, il ne souhaite pas se charger. En revanche, il se dit prêt à s'occuper des machines à vapeur et dans le

cas où il s'agirait des machines à double effet, il précise leur puissance: 27 pouces (30 chevaux-vapeur) chacune. Quant à leur coût, Boulton déclare ne donner que le prix total de la fabrication des deux machines. Le message est clair: soit tout, soit rien et ce n'est pas au demandeur d'établir les règles.

La position de Betancourt était ambiguë. D'une part, il était conscient que tous ses efforts de gagner à sa cause les commanditaires cubains étaient vaines tant que Fermín de Tastet négociait en leur nom avec les associés de Soho. D'autre part, il se rendait compte que Soho n'était pas un endroit approprié pour réaliser son propre projet puisqu'il marchait sur les domaines réservés de Watt et Boulton. Il fallait donc trouver un fabricant discret auquel il pouvait révéler la teneur de son invention sans s'attirer d'ennuis. En même temps, qui mieux que Watt et Boulton connaissait les dessous du métier et l'univers de l'industrie mécanique? Que risquait Betancourt à s'adresser à eux pour tâter le terrain, s'enquérir sur les tarifs en vigueur et sur les possibilités de fabriquer tel ou tel élément de la machinerie? Dans le pire des cas, avoir une fin de non-recevoir; dans le cas contraire, obtenir des informations utiles pour établir un devis solide et quelques bons conseils pour placer son projet. Et peu lui importait que cette démarche autonome pût inciter Tastet à abandonner sa médiation. Si Betancourt ne cherchait pas à provoquer cet épilogue, il ne pouvait que lui être favorable. En tout cas, lorsqu'en octobre 1794, les négociations des Cubains avec Watt et Boulton ont abouti à l'impasse, Betancourt était déjà fin prêt à leur «vendre» son propre projet. Le marché a réussi au-delà de toutes attentes: il a reçu l'ordre de procéder à l'exécution immédiate de deux machines de son invention, s'est vu nommer ordonnateur principal des travaux et a obtenu qu'on mette à sa disposition des sommes conséquentes pour le mener à bien.

8. BETANCOURT ET SON PROJET: L'ARGUMENT DU PORTRAIT

Pour étayer son hypothèse sur la paternité de Betancourt en tant qu'auteur de la machine cubaine, Egorova avance l'argument du portrait¹⁴. Exposé à l'ancien Palais des Capitaines Généraux de La Havane (Museo de la Ciudad), ledit portrait, peint en février 1796, représente un homme d'âge mûr richement habillé qui se tient debout en pointant de sa main droite le dessin d'un dispositif technique figuré sur l'arrière-plan. L'identité de l'homme est attestée par l'inscription en bas du portrait: «El Sr. Don Ignacio Montalvo de Ambulodi Conde de Casa Montalvo, Gentil Hombre de Camara de S. M. con entrada Brigadier de los Reales Extos. Coronel de Regim.to de Dragones de Matanzas, Caballero en Orden de Sant.o y primer prior nombrado p.r el Rey del Real Consulado de esta Isla. Socio nume.rio de la

14. Le passage concernant ce portrait figure dans la plupart des publications de cette auteure (2010a: 9-10, 50-52; 2009: 26-33).

Real Soc. Economica». Quant au dispositif, l'historienne affirme avoir établi qu'il s'agit «du dessin de la machine à vapeur, ou de «la pompe à feu» [...] construite par le distingué ingénieur-mécanicien espagnol Augustin de Betancourt, fabriquée à Bristol en dépit des mesures les plus strictes prises par la Grande Bretagne en vue d'interdire la sortie de son territoire des [...] machines nouvelles, et appliquée pour la première fois à la production du sucre à Cuba» (Egorova, 2010b: 168)¹⁵.

Cette assertion s'appuie sur une somme de considérations et d'indices, pour la plupart indirects. Quant à la paternité de Betancourt, la démonstration se limite au constat que le dessin du tableau «est la *copie exacte* du dessin réel de la machine à vapeur qui, par ses caractéristiques, correspond au prototype figuré par Betancourt [...] et présenté par lui à l'Académie des sciences de France» (Egorova, 2012: 169).

Ayant, pour notre part, comparé les deux dessins cités, nous avons conclu que cette affirmation ne résistait pas à l'épreuve de l'identification. La figuration du portraitiste créole Juan del Río ne correspond pas au «prototype» réalisé par Betancourt en 1789. Dans la mesure où une peinture à l'huile peut être fidèle, elle évoque plutôt l'image standard de la machine à vapeur à double effet de Watt telle qu'on la fabriquait dans les années 1787-1800 (voir la reconstitution de J. Farey, 1827). Rappelons aussi que la machine de Betancourt, vue de l'extérieur, était quasiment identique à celle de Watt. Les éléments qui faisaient la différence, ceux que l'ingénieur n'avait pas vus et qu'il était obligé de réinventer, se trouvaient à l'intérieur de la machine. L'emplacement du condenseur et de la pompe à air mis à part, la seule différence sérieuse visible entre deux machines était l'absence du régulateur de vitesse dans celle de Betancourt¹⁶. Cet élément est aussi absent sur le dessin de la machine cubaine, ce qui fait pencher la balance en faveur d'une machine fabriquée ailleurs qu'à Soho et par un fabricant autre que Watt et Boulton. Mais à lui seul, cet indice ne suffit pas pour conclure que nous avons affaire à la machine de Betancourt: n'importe quelle machine piratée pouvait avoir cet aspect.

9. L'ARGUMENT D'UNE ÉTUDE COMPARÉE

Lorsqu'on aligne côte à côte les dessins des trois machines: celle de Watt (Farey, 1827), celle de Betancourt (1789) et celle du tableau cubain (1794/95?), on constate facilement que la machine cubaine est un composé des deux autres.

15. Traduit du russe par Irina Gouzévitch.

16. Cette question est analysée en détail par Irina Gouzévitch (2013).

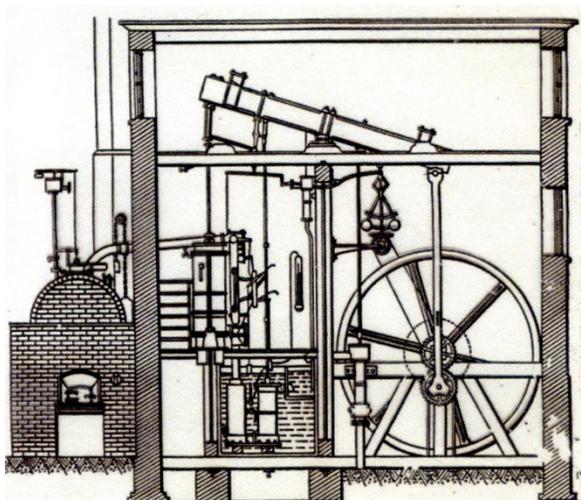


Fig. 1. Máquina de vapor de Watt (Farey, 1827).

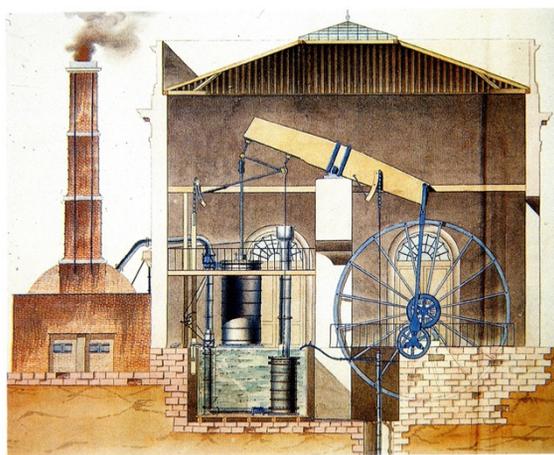


Fig. 2. Machine à vapeur de Watt, version Agustín de Betancourt (c. 1788).
École National des Ponts et Chaussées, Paris.



Fig. 3. Portrait de Ignacio Pedro Montalvo y Ambulodi, I Comte de Casa Montalvo, Juan del Río. Museo de la Ciudad, La Habana, c. 1795.

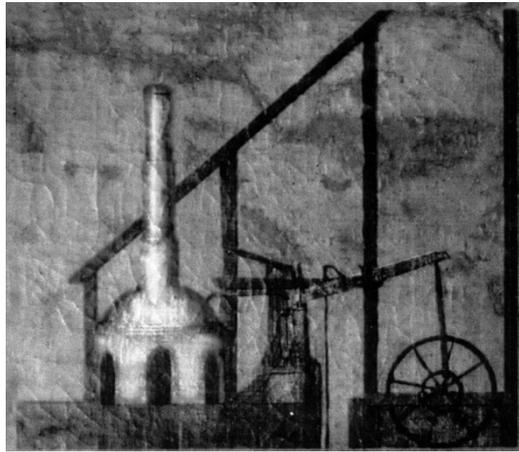


Fig. 4. Détail de la machine à vapeur dans le portrait de Ignacio Pedro Montalvo.

Ainsi, la roue volante de la machine de Watt compte 6 aiguilles, celle de Betancourt –16, celle de la machine cubaine– 8. Sur le dessin de Betancourt, le tube à vapeur horizontal qui relie la chaudière avec le cylindre passe verticalement à gauche du cylindre; sur le schéma de la machine de Watt –à droite du cylindre; sur le dessin cubain– derrière le cylindre. Le condenseur et la pompe à air sont disposés différemment par rapport au cylindre sur les trois dessins; etc. Le dessin cubain est, certes, moins précis: il n'est pas l'œuvre d'un ingénieur mais celle d'un artiste qui tâche de figurer aux coups de pinceau l'objet qu'il a sous les yeux, en

respectant ses contours, ses proportions et la disposition de ses principaux éléments. La machine figurée par Juan del Río est reconnaissable et c'est la meilleure preuve de son authenticité car nous doutons fort que le peintre créole pût être familiarisé avec les dispositifs de ce type. En admettant que l'artiste a reproduit ce qu'il voyait, sa peinture apporte, en effet, un argument en faveur de la paternité de Betancourt. Ainsi, pourrait-on dire que notre conclusion rejoint celle d'O. Egorova, à une nuance près: elle a eu la bonne intuition non pas grâce à mais plutôt *en dépit* de ses propres arguments. Car, loin de relever de la similitude à l'identique des deux images évoquées par l'historienne russe, cette preuve de la paternité de Betancourt réside dans un point de dissemblance que le dessin cubain possède par rapport à deux autres.

L'examen attentif de ce dessin, que nous avons, dans un premier temps, étudié à partir des reproductions¹⁷, a révélé une particularité: la machine à double effet de Watt qui y était représentée possédait deux cylindres de volumes différents.

En théorie, face à cette contingence, on a le choix entre deux possibilités. Soit, il s'agit d'une machine *compound* de type croisé avec deux cylindres; dans ce cas-là, il doit y avoir une tige de piston sortant du cylindre plus bas et plus volumineux figuré au premier plan du dessin. Soit, il s'agit d'une machine à double effet de Watt ordinaire dotée d'un collecteur de vapeur censé récupérer la vapeur de la chaudière et la relâcher sous une pression rigoureusement contrôlée. Le collecteur de vapeur a vocation d'assurer le travail régulier de la machine indépendamment des variations de la pression et de la température dans la chaudière. Il est muni de conduites de vapeur entrantes et sortantes mais ne possède guère de tige longue le reliant au balancier.

La probabilité d'avoir affaire à un collecteur de vapeur est toutefois relativement petite. Le besoin pour ce type de dispositif s'est fait vraiment sentir dans les années 1820, alors que se généralisaient la construction et l'usage des machines à vapeur à haute pression, sensibles aux sauts de la pression de la vapeur sortant de la chaudière. Mais au milieu des années 1790, ce problème n'était pas encore d'actualité puisque les machines de Watt généralement employées étaient les machines à basse pression.

Quant au système *compound*, Betancourt lui-même fournit des éléments en sa faveur. Sa lettre citée en début de l'article contient deux passages éclairants au sujet de la commande cubaine: «j'ai fini par inventer une machine composée de différentes cylindres» et «avec la même puissance, on peut faire au moins le double d'ouvrage» (García-Diego y Ortiz, 1975: 204). Mais la machine *compound* est un dispositif dans lequel la vapeur agit successivement dans plusieurs cylindres. Le mot «différentes» peut signifier «plusieurs» (au moins deux) cylindres mais il souligne surtout qu'ils ne sont pas pareils. Une telle caractéristique est en effet plutôt typique de la machine *compound*, basée sur le procédé de l'expansion de la

17. Notamment, dans Egorova (2010a).

vapeur en cascade dont les différentes moutures étaient en élaboration, à partir de 1781. Ainsi, en été 1794, lorsque Betancourt travaillait sur sa machine pour Cuba, l'idée était déjà connue.

Cependant, la reproduction du dessin de la machine cubaine était trop floue pour valider ou invalider notre hypothèse. Pour trancher, il fallait examiner le tableau original de Juan del Río et étudier les archives des commanditaires. Le passage suivant résume les résultats de cette partie de la recherche menée à La Havane en octobre 2013.

10. LES RÉVÉLATIONS DU TABLEAU

Le tableau, que nous avons examiné dans la salle mémorielle du Museo de la Ciudad de La Havane, possède quelques particularités qu'il convient de mentionner d'entrée de jeu.

D'abord, il s'agit d'un portrait posthume¹⁸. L'artiste n'avait pas peint le comte de Casa Montalvo d'après nature mais a créé une composition imaginaire selon les indications du commanditaire, Francisco de Arango y Parreño. Il pouvait donc avoir le dessin sous les yeux et en copier tous les éléments. En revanche, la probabilité de quelques erreurs n'était pas à exclure.

Le tableau est suspendu en hauteur et les possibilités de son examen sont limitées. En plus, le dessin de la machine est très sombre. Toutefois, on a pu voir l'essentiel: la tige de piston sortant du second cylindre et s'élevant à la même hauteur que celle du premier cylindre. Simplement, son contour du côté droit frôle celui qui délimite par la gauche le tuyau principal de la conduite de vapeur sortant de la chaudière. Sur le dessin original, on pouvait figurer l'une et l'autre distinctement par des lignes très fines. Sur la copie peinte au pinceau, ces lignes se confondent. Par ailleurs, celles qui dessinent le contour de la tige se prolongent au-delà de la conduite de vapeur.

Le schéma reconstitutif de la machine esquissée sur place a pu être affiné grâce aux photos à haute résolution soumises aux divers traitements d'image que permet le Microsoft Office Picture Manager (Fig. 5). On a pu ainsi voir les principaux détails du mécanisme et expliquer ses particularités.

En éclaircissant les photos à l'extrême, on a eu la surprise de découvrir, par-ci par-là, quelques chiffres, allant de 1 à 5 (8?). A l'évidence, les chiffres marquaient la plupart des éléments, et il devait y avoir une liste explicative associée. Ces chiffres attestent le caractère spécifique, *démonstratif*, du dessin qui sert à expliquer aux profanes les différents éléments de la machine à vapeur. Le peintre en a reproduit certains mais probablement pas tous.

18. ANRC. Real Consulado y Junta de Fomento, Años 1795-96 (10 de abril 1795 à 27 julio de 1796), Libro 161, Fº. 116v. ES EL FOLIO 116 VERSO

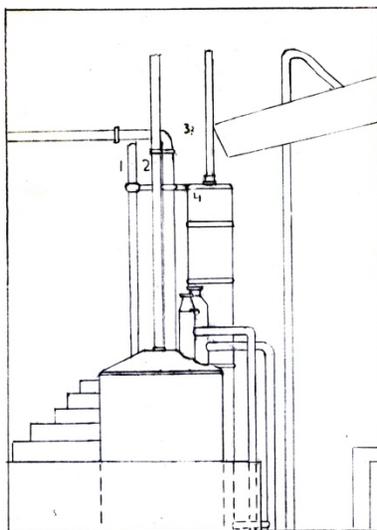


Fig. 5. Machine à vapeur cubaine. Dessin de Dmitri Gouzévitch.

Arango, dans son rapport du 14 octobre de 1795, fait état de quelques dessins de ce genre annexés au modèle à trois dimensions de la machine cubaine¹⁹. Pour mieux dégager les conduites de vapeur et les tiges, l'auteur a coupé sur le dessin l'aile gauche du balancier. En conséquence, on n'y voit non plus le système de raccordement de ces tiges avec le balancier. Ces éléments sont sans doute représentés sur un autre dessin. L'auteur a également renoncé à figurer la tringle suspendue au balancier près du point de sa fixation, à droite des cylindres. Sur le dessin de Betancourt de 1789, cette tringle régit la commutation automatique des soupapes, mais la façon dont elle se raccorde avec les soupapes n'est pas démontrée. L'absence de la tige de piston de la micro-pompe qui ajoute l'eau au condenseur et la disposition des conduits de vapeur et des tubes de raccordement témoignent, à leur tour, en faveur d'un système *compound*.

Ainsi, grâce à ce voyage, notre hypothèse sur la nature du projet cubain de Betancourt a trouvé confirmation: il s'agit bel et bien d'une *compound* croisée créée sur la base de la machine à double effet. Une invention pionnière qu'on associe habituellement avec la patente d'Arthur Woolf de 1804. Curieux d'en savoir plus sur le cheminement de la pensée qui a conduit Betancourt à cette invention d'avant l'heure, nous avons entrepris une autre recherche qui, cette fois-ci, nous a menés en Angleterre, sur les pas du fabricant avéré de la machine cubaine.

19. ANRC, Junta de Fomento de la Isla de Cuba, leg. 92, exp. 3923.

11. LE FABRICANT ET SES AMBITIONS

Le nom de cet homme apparaît dans les documents confidentiels cubains. Mais les chercheurs se réfèrent plutôt à l'ouvrage classique de Moreno Friginals qui cite un certain *Reinolds* (1976: 31-32). En revanche, d'une part ces auteurs ne respectent pas toujours la même orthographe²⁰, d'autre part ils ne font pas mention de Betancourt, à l'exception de Dolores González-Ripoll Navarro (2002) qui évoque les deux noms, mais les relie à des objets différents: Arango et Casa Montalvo auraient commandé un modèle à la maison ¿Reinolds?, tandis que Betancourt aurait indépendamment conçu un dispositif pour actionner par la vapeur un moulin à sucre, mais toujours pour le compte de Casa Montalvo. Enfin, Egorova (2010a) a rendu public un document inédit où les noms de Betancourt et Reynolds apparaissent en relation avec la fabrication et le transport vers Cuba d'une machine à vapeur commandée en Angleterre²¹. Mais personne ne semble avoir creusé la piste «Reinolds/Reinhold/Reinold/Reynolds».

Pourtant, dans l'Angleterre des années 1790, il n'y avait qu'un seul Reynolds possédant des compétences, l'expérience et la base matérielle nécessaires pour fabriquer une machine à vapeur qu'il s'agisse d'une Newcomen, des machines de Watt et Boulton ou de la machine compound: William (1758-1803), fils de Richard Reynolds et de Hannah Darby, maître de forges et, à l'époque des faits, partenaire et administrateur en puissance de l'imposant complexe sidérurgique de Coalbrookdale, au comté de Shropshire dans les Midlands, fondé en 1707 par son arrière-grand-père maternel, Abraham Darby I²².

Les réalisations professionnelles de William Reynolds en matière de sidérurgie, de mécanique, de transports, de travaux hydrauliques, d'exploitation minière et de céramique ont marqué de façon durable le panorama industriel de Shropshire²³. Sa passion pour les sciences a fait de lui un infatigable expérimentateur curieux des innovations qui ne reculait pas devant les défis intellectuels posés par les besoins de l'énorme entreprise dont il avait la charge.

Les éléments manquent pour savoir dans quelles conditions Betancourt et Reynolds se sont connus mais nous pouvons esquisser le contexte qui a rendu cette rencontre probable.

20. Par exemple: *Reynolds* (Ghorbal, 2009: 209); ou *Reinhold* (Bethell, 1985: 7).

21. BNJM, CM Pérez, n.º 968, f. 2r/v: «Instrucción que D. Francisco Arango dexa al Sr. D. Francisco de Enquino para mantener su correspondencia en todo lo que queda pendiente y lo demás que ocurra».

22. Voir «*The most extraordinary district in the world: Ironbridge and Coalbrookdale* / Introduction by Barrie Trinder. [2e ed.]. [Chichester]: Phillimore & Co.Ltd., 1988, xii, 138 pp.

23. *William Reynolds, 1758-1803: Proceedings of the Events held in June 2003 to commemorate his life and achievements*, [Telford]: Wrekin Local Studies Forum, 2004, 50 pp.

12. COALBROOKDALE, «LE PARTENARIAT DU FER ET DE LA VAPEUR»²⁴

Favorisée par les conditions naturelles, la manufacture de Darby a connu, à partir de 1709, un développement spectaculaire grâce à la coulée au coke, le procédé sidérurgique révolutionnaire qui a participé à l'essor des machines à vapeur perfectionnées par Thomas Newcomen en 1712 dans la région voisine de Staffordshire. À partir de 1718, sous Darby II, la Compagnie de Coalbrookdale s'est lancée, à son tour, dans la fabrication de ces engins. Vers 1758, elle a déjà réalisé plus de 100 cylindres à vapeur de tailles différentes et plusieurs Newcomen intégrales. Entre 1768 et 1789, sous Darby III, la Compagnie a étendu cette production, sous licence, aux nouvelles machines de Watt et Boulton. C'est pourtant un autre domaine d'excellence développé dans son giron qui a dû déclencher l'intérêt mutuel et favoriser la prise de contact entre Betancourt et Reynolds: les expériences avec la force expansive de la vapeur menées discrètement à partir des années 1780 dans l'ambition de créer une machine d'un nouveau genre, aux performances économiques supérieures à celle des associés de Soho.

L'idée de l'usage réitératif de la vapeur par son expansion en cascade appartenait à Jonathan Hornblower dont la patente prise le 13 juillet 1781 inaugure symboliquement l'ère des machines *compound*. C'était un système dit de «*compound* croisé» fait de cylindres alignés et connectés en série, à l'aide des tubes à vapeur croisés. Cependant, Hornblower utilisait à ces fins soit une Newcomen à balancier améliorée, soit les cylindres à effet simple de Watt. Cette invention était en grande partie tributaire des expériences menées à Coalbrookdale auxquelles l'inventeur pouvait assister lors de ses fréquentes visites aux entreprises de Darby-Reynolds en compagnie de son père, Jonathan Hornblower Sr, entrepreneur à Cornwall et leur fidèle client (Raistrick, 1989: 156). Toutefois, malgré son caractère heuristique, le potentiel technique de cette invention était extrêmement limité puisqu'il s'agissait d'une machine à la pression trop basse pour qu'on puisse l'utiliser sans condenseur qui était la propriété exclusive de Watt²⁵.

Ce problème a été résolu par Adam Heslop, mécanicien écossais employé alors à Ketley. En caractérisant son invention patentée en 1790, les historiens parlent tantôt d'un «engin atmosphérique à deux cylindres» (Walter, 2006: 17), tantôt d'un «engin amélioré de James Watt» (Fletcher, 1879). Chacune de ces définitions traduit à sa manière la nature hybride de l'appareil qui combinait deux cylindres, chaud et froid, de systèmes différents, rattachés à deux extrémités opposées du lourd balancier. Le premier opérait comme un cylindre à effet simple tandis que le second n'était autre qu'un condenseur doté d'un piston de la machine atmosphérique de Newcomen. Ce cylindre froid avait une fonction double: il condensait la vapeur tout en opérant une poussée additionnelle qui augmentait

24. Il s'agit d'une expression d'Emyr (1994: 19).

25. La machine de Hornblower et ses déboires avec Watt, voir, p. ex. Nuvolari (2004: 29-30).

le rendement de la machine. Protégées par cette astuce qui contournait la patente de Watt, les machines *compound* de Heslop, moins chères et plus compactes, ont été utilisées avec succès à Coalbrookdale.

La troisième invention avait pour auteur l'ingénieur chimiste James Sadler qui, en 1792, a amené de Bristol le projet d'un «*tandem single-acting compound engine*» mis en exploitation à Coalbrookdale (Raistrick, 1989: 158-159). Ce système avait ceci d'original que les deux cylindres à effet simple –un plus petit pour la vapeur haute pression et un plus grand pour la vapeur basse pression– étaient montés l'un au-dessus de l'autre et reliés entre eux par une seule tige. Le système était muni de condenseur mais le conflit avec Watt a pu être évité grâce à l'astuce de l'inventeur qui s'était arrangé à retenir l'injection en bas de ce cylindre et à traiter la pompe à air comme un cylindre séparé, avec l'injection également.

Ainsi, au début des années 1790, la Compagnie de Coalbrookdale avait dans son actif le savoir et l'expérience de la fabrication des machines à vapeur *compound* d'au moins deux systèmes différents (Heslop et Sadler) qui, à certains égards, défiaient la performance des machines de Watt et Boulton. Lorsque, en automne 1794, Betancourt cherchait un fabricant pour construire sa propre version d'une machine *compound* réalisée, cette fois-ci, sur la base d'une machine à double effet, pouvait-il souhaiter un meilleur endroit pour placer sa commande?

Pour un expert s'intéressant aux techniques de la vapeur, c'était aussi une opportunité d'en apprendre plus sur le principe «*compound*» perfectionné par ses pairs britanniques. Le potentiel heuristique de cette idée novatrice avait de quoi stimuler la pensée inventive de Betancourt qui avait déjà, de son côté, réfléchi à «la pompe à feu sans injection» évoquée dans sa lettre à Breguet du 6 janvier 1795: «il y a long tems que j'en ai fait les plans d'une pareille machine, et celle de mon projet pour netoyer les ports de mer, est de cette espece»²⁶.

Dans la mesure où l'injection sert à introduire l'eau dans le condenseur, on peut en déduire que Betancourt a proposé une machine sans cet élément protégé par le privilège exclusif de Watt, tout à fait dans l'esprit des solutions alternatives proposées par Heslop et Sadler suite aux déboires juridiques de Hornblower. À cette différence près que Betancourt, armé des connaissances théoriques et pratiques en matière d'expansion de la vapeur, a appliqué cette solution à la machine à double effet ayant transformé le condenseur en un second cylindre par l'ajout du piston. Un tel exercice ne saurait pas être très différent de celui qui l'avait amené à élaborer sa version de la machine à double effet en 1789. Si en arrivant en Angleterre, il ruminait déjà le projet d'une drague à vapeur fondée sur le principe de la «pompe sans injection», la visite des installations de Coalbrookdale devait l'inciter à le mettre en exécution. La fusion des divers intérêts était ici à l'œuvre: d'une part, un engin mécanisé à l'usage des travaux publics, mais de l'autre, un moteur aux performances nouvelles permettant des usages multiples. Un moteur qu'on

26. Archives de la Maison Breguet, Betancourt à Breguet, 1795, 6.04, de Londres.

pouvait appliquer à plusieurs machines différentes, et pourquoi pas aux moulins à sucre puisque l'occasion se présentait?

13. LE SORT DE LA SECONDE MACHINE

Si dans la lettre de Betancourt du 10 décembre 1794 il est question de deux machines en cours d'exécution, l'ensemble des documents cubains font clairement mention d'une seule machine arrivée à Cuba suite à cette commande²⁷. Qu'est-il donc advenu de la seconde?

On peut supposer que sa fabrication a pu être compromise par les tensions qui montaient alors au sein de la Compagnie de Coalbrookdale, devenue peu gouvernable en raison d'un trop grand nombre de descendants des trois familles apparentées, les Darby, les Reynolds et les Rathbones (Raistrick, [1959]: 11). Face à cette situation difficile, les partenaires ont opté pour le partage des biens, et en 1795, alors que l'une des deux machines au moins était encore en chantier, la réorganisation de l'entreprise était lancée, ce qui aurait empêché Reynolds de tenir son engagement jusqu'au bout.

Cependant, la seconde machine semble avoir bel et bien existé. C'est du moins ce que suggèrent deux lettres, du 6 décembre 1802 et du 26 avril 1803, adressées à Arango par son homme de confiance à Londres, Francisco de Equino²⁸. Il y est question d'une «Bomba» des «S.res Reynolds», une vieille affaire pré-occupante qu'il importe enfin de boucler... Par la première lettre, l'agent invite Arango à faire les démarches nécessaires pour obtenir auprès des héritiers du comte de Casa Montalvo l'acquiescement du montant cumulé du solde (£1368) et des intérêts dus depuis l'achèvement des pompes remises par «S.res Reynolds» le 20 août 1796 à raison de 5 % annuels, auquel il faut ajouter les frais du stockage, sans commissions (£150) «depuis le débarquement de la machine à Bristol, au moment de la déclaration de la guerre, [...] jusqu'à ce jour» afin de «sortir de cette affaire si désagréable pour tous»²⁹.

Le bilan des comptes établi dans la seconde lettre fait mention des frais suivants: le 1 avril 1796: «de la Machine remise par la Persévérance à la Jamaïque» –£340 et «de ce qui correspond au paiement de la Machine aux MM. Reynolds selon les instructions de don Augustin de Betancourt» –£855³⁰. Le montant total

27. Citons, pour preuve, le compte rendu de la session de la Junte du Gouvernement du Consulat de La Havane tenue le 14 octobre de 1795 durant laquelle Arango «a communiqué à l'Assemblée le projet de la machine à vapeur qu'avait commandée en Angleterre le Comte de Casa Montalvo pour actionner les *trapiches*, et a présenté [...] un petit modèle et les différents plans qui démontraient le mécanisme de la machine». ANRC, Junta de Fomento de la Isla de Cuba, leg. 92, exp. 3923. Publié dans Arango y Parreño (2005: 257).

28. BNJM, CM Pérez, n.º105, 4 doc.

29. BNJM, CM Pérez, n.º105, doc. 1, f. 1r/v.

30. BNJM, CM Pérez, n.º 105, doc. 2, ff. 2v-3.

des intérêts s'élève à £445 et représente deux sommes dues «aux S.res Reynolds»: £153 pour la période écoulée du 1 avril 1796 au 23 juin 1803 et £292 pour celle du 20 août 1796 au 23 juin 1803³¹. La différence en date entre les deux paiements correspond à six mois qui se sont écoulés «après la vérification de la livraison de la Pompe remise par le Navire Persévérance à la Jamaïque»³².

Soucieux d'éviter que les intérêts n'augmentent, Equino propose que les héritiers de feu le comte de Casa Montalvo lui paient leur dette en marchandises –sucre et autres produits– à condition qu'ils soient transportés sur des navires anglais. Pour en calculer la quantité, il communique le prix auquel se vend un quintal de sucre cubain en Angleterre. Il semble que l'affaire s'est terminée ainsi. En témoigne l'état des comptes du comte de Mopox avec Francisco Arango qui contient à la fin une note suivante «Que ne soient pas inclus dans ce compte les cent caisses de sucre remises à Bordeaux avec D.n Simon Poey, p[ou]r le compte d'une pompe à feu que doit le S.r Comte à Londres»³³.

Reynolds a donc rempli les clauses du contrat ayant fabriqué et livré à Bristol les deux machines destinées à Cuba. La première, déposée le plus probablement en mars 1796, a pu être embarquée sur le navire *Perseverance* en direction de Jamaïque. Quant à la seconde, son envoi à Cuba a été compromis par la guerre qui avait opposé l'Espagne et la Grande Bretagne suite au traité de San Idelfonso signé le 18 août 1796, deux jours avant l'arrivée de la machine dans le port d'embarquement anglais.

14. LE SORT DE LA MACHINE CUBAINE

Fiers d'une réussite pressentie, les illustrés cubains se sont empressés de l'exprimer dans le rapport de voyage destiné au Secrétaire des Indes, Diego de Gardoqui:

Nous serons aussi les premiers à avoir fait passer l'Atlantique à l'agent le plus puissant qu'ait connu l'industrie pour que ceux qui n'ont pas d'eau avec facilité, utilisent la pompe à feu pour actionner leurs moulins et abandonnent pour toujours le recours faible, incertain et coûteux aux mulets et aux bœufs. (Arango y Parreño, 2005: 105)

Cependant, l'euphorie était de courte durée. Le volet cubain de cette grande aventure technique a été résumé par Moreno Fraginals:

Finalmente, en 1796, llega a Cuba la fuerza motriz de la gran industria: el vapor. Es una máquina comprada en Londres con dinero del conde de Jaruco. Su instalación

31. BNJM, CM Pérez, n.º105, doc. 2, ff. 2v-3.

32. BNJM, CM Pérez, n.º105, doc. 2, f. 1.

33. BNJM, CM Pérez, n.º 2158: Cuenta del Conde de Mopox con Dn Francisco Arango (s/l, s/a), 2 h.

fue un suceso único rodeado de un clima de tensa expectación. Y se le vio funcionar el día 11 de enero de 1797 en el ingenio Seybabo [corr. Seibabo] molió durante varias semanas. El experimento no tuvo éxito, pero los sacarócratos no se desanimaron. Comprenden que el problema esencial no está en la bomba en sí; sino en el tipo de trapiche que mueve y el absurdo sistema de transmisión instalado. (1964: 30)³⁴

Selon Anastasio Carrillo y Arango, cette machine, dont les vestiges étaient encore visibles à Seibabo, dans la province d'Artemisa, en 1837, «fonctionnait avec assez de régularité, bien que s'arrêtant fréquemment, et a dû être abandonnée faute d'un machiniste intelligent» (Arango y Parreño, 2005: 105). Comment ne pas rappeler la sage remarque de Matthew Boulton émise lors des négociations: «But the greatest difficulty will be to find a Man to erect it»³⁵. Il semble en effet que personne à Cuba n'était alors capable d'apporter des solutions adéquates à de nombreux problèmes techniques qui surgissaient en permanence dès lors que la machine avait été mise en marche.

Le «système de transmission absurde» constituait, certes, une faille sérieuse. Mais pouvait-on éviter de telles défaillances en commandant la machine sur un autre continent, sans essais ni vérifications, sans mesures ni dessins précis à l'appui? Il y avait, par ailleurs, beaucoup d'autres problèmes techniques qui mettaient le fonctionnement de la machine en péril. Ils relevaient essentiellement de l'inadéquation profonde de cette technique importée aux conditions spécifiques, climatiques, économiques et géographiques de Cuba.

Le climat tropical humide était un facteur dégradant de premier ordre. Pour protéger les pièces en fonte de la rouille imminente, il fallait les lubrifier en permanence. Or, le seul lubrifiant disponible à l'époque était l'huile de palmier, très coûteux et difficile à obtenir en temps de guerre car importé du Biafra, possession britannique au sud-est de l'actuelle Nigeria. Le problème du carburant était un autre défi puisque Cuba manquait de charbon, alors que ses forêts étaient déjà décimées. Dans le souci de faire l'économie du combustible, les Cubains ont essayé d'imiter leurs voisins de Jamaïque et de Barbade qui utilisaient comme carburant la canne à sucre pressée à la place du bois. Mais la chaleur obtenue par ce moyen était insuffisante pour faire marcher la machine à vapeur, et on a dû revenir à l'option beaucoup plus coûteuse du chauffage au bois. En reprenant l'argumentaire de Zogbaum, qui cite à ce propos Ian Inkster.

Les critères principaux pour le succès d'un transfert technologique sont le coût de l'acquisition, les incidences sur l'environnement et l'adéquation de la capacité locale de recherches de faire les adaptations exigées. La machine à vapeur à Cuba a échoué sur chacun de ces trois points. (2002: 41)

34. Sur le rôle du comte de Mopox et le choix de son *ingenio* Seibabo pour installer la machine, voir Irina et Dmitri Gouzévitch (à paraître).

35. BA&H B&WC. MIV, Bunde B, Folder 14.

L'abandon de l'engin qui fonctionnait mal et revenait excessivement cher était donc imminent, et l'absence d'un «machiniste intelligent» ne pouvait que précipiter cette échéance. Il serait pourtant injuste d'en imputer la responsabilité aux commanditaires. Bien au contraire, ils se sont montrés prévoyants et ont tout fait pour se prémunir d'une telle éventualité. Dès l'automne 1795, Francisco Arango avait contacté Betancourt en Angleterre en lui proposant d'organiser son transfert vers Cuba pour la durée de quatre ans afin de prendre en charge la construction des routes et des canaux et l'application des machines de son invention. Cependant, durant les mois écoulés, la situation avait évolué, et au lieu d'aller à Cuba sur l'invitation de l'administration locale, Betancourt s'est vu associé à un projet cubain d'envergure étatique –l'expédition de Guantánamo– qu'il a fini également par rater. Mais c'est déjà une autre histoire.

15. LES LEÇONS D'UNE HISTOIRE OUBLIÉE

Ainsi, l'auteur d'une invention pionnière destinée à révolutionner l'industrie sucrière cubaine et à contribuer à l'autonomie commerciale et politique de cette possession ultramarine de la Couronne espagnole, n'a jamais mis le pied sur l'île de Cuba. Une fois sa mission auprès des commanditaires cubains accomplie, il est parti vers d'autres horizons, d'autres missions, d'autres projets... Son œuvre, en revanche, a traversé l'Atlantique en pièces détachées au gré d'une odyssée sans précédents ayant parcouru plus de 8000 kilomètres par mer et par terre, avant de succomber, au bout de quelques semaines, aux aléas du climat tropical et à l'absence de l'entretien qualifié. Abandonnée à la rouille et vouée à disparaître, cette invention d'avant l'heure –qu'on peut appeler, sans crainte d'exagération, le *high-tech du XVIIIe siècle*– est tombée dans les oubliettes de l'histoire. Il a fallu des efforts de deux générations d'historiens, des fouilles dans plusieurs archives européennes et un voyage d'exploration transatlantique pour l'en extraire et en mesurer l'impact. L'importance des résultats a justifié pleinement l'effort consenti. Car le cas analysé, qui se situe au carrefour de plusieurs problématiques, soulève une série de questions d'actualité historique dont la portée dépasse largement, et à plusieurs niveaux, le cas d'un objet technique oublié.

D'un point de vue micro-historique, cette étude a permis de démêler une affaire confuse vieille de plus de deux siècles, de cibler sa place dans la vie de l'inventeur, mais aussi dans la chaîne des inventions marquantes en matière de techniques de la vapeur, de reconstituer le cheminement de la pensée inventive, décidément transnationale, dans le domaine et d'avancer de dix ans la date officielle d'une innovation majeure: le système *compound* basé sur le principe du double effet, qui a grandement contribué à l'essor industriel du XIXe siècle.

Son ouverture vers le macro-historique se mesure par l'imbrication intime entre les intérêts privés et les intérêts publics, entre l'individuel et le sociétal, entre l'universel et le concret. Il suffit de rappeler la vocation plurielle dont l'objet

technique étudié a été investi aux yeux des différents acteurs, du profit personnel (renom académique, récompense matérielle, investissement économique) au bénéfice d'intérêt public (à caractère civilisateur et modernisateur), sans oublier le rôle crucial qu'il a été appelé à jouer dans les stratégies indépendantistes des élites créoles. Ainsi, la recherche a permis de mettre en exergue le statut multifactoriel de l'invention et son rôle de passerelle reliant entre elles les différentes sphères de la vie humaine.

A un autre degré d'abstraction, on peut considérer cette histoire comme une plongée dans l'univers de l'expertise technoscientifique des Lumières qui transcende aisément les frontières administratives et légales, mais se joue dans la controverse entre «l'aventure de l'esprit» (Moreno Friginals, 1976: 30) et «l'industrie de l'homme» (Arango y Parreño, 2005: 210). Le cas de la machine à vapeur cubaine est à la fois un exemple éclatant de la circulation globalisée des idées, des hommes et des objets techniques à l'échelle mondiale à la fin du XVIII^e siècle et une belle démonstration du paradoxe qui oppose la performance technique à son contexte d'application.

Enfin, notre étude souligne l'importance du facteur humain dans l'administration des affaires délicats impliquant des projets innovants. L'expression «pirate philosophique» peut servir de fil conducteur pour jauger les motivations des quatre experts techniques concernés par l'affaire cubaine: Boulton, Watt, Reynolds et Betancourt. S'ils ont tous en commun d'appartenir à cette cohorte de médiateurs qui, par leur curiosité, leur mobilité et leurs sociabilités ont donné une impulsion au «commerce des Lumières» (Jones, 2009: 67-82) qui a ouvert la voie à la modernité, la posture des Britanniques face à une entreprise à risque est clivée par la tension entre les ambitions globalistes et les entraves du protectionnisme. Gratifier Betancourt d'une telle «civilité» n'était-ce pas un indice de l'embarras de la part des partenaires de Soho qui s'obstinaient à porter deux «casquettes» peu compatibles, celle de gentlemen éclairés et celle d'entrepreneurs à succès? Betancourt, pour sa part, demeurerait insensible à ces piques et ne tenait aucunement à leur rendre la pareille³⁶. Ces nuances de comportement relèvent, nous semble-t-il, de l'idée profonde que chacun des protagonistes se faisait de sa mission professionnelle, de ses visées et du rôle social afférent.

Que dire à cet égard de James Watt? Mécanicien doté d'une inventivité hors pair et de l'esprit empirique évolué bien ancré dans la tradition britannique, il conjugait vocation et mission en commercialisant son talent. Or, pour être rentable dans les conditions de la concurrence libre, rude et serrée de l'Angleterre industrielle, un don pareil se devait d'être à la fois extrêmement productif et passable de bénéfices certains que seule pouvait apporter l'application industrielle rapide et efficace. Au retour, l'inventeur en tirait un revenu suffisant pour s'assurer

36. A l'exception de son fameux mémoire de 1789 sur la machine à double effet, l'ingénieur n'a plus nulle part mentionné Watt, ni Boulton, du moins dans les documents qui ont survécu de nos jours.

aisance et respectabilité. Mais aussi, une permanente angoisse d'être dépossédé de son dû. Au moment des faits, Watt bien qu'au sommet de sa prospérité, demeurerait au fond toujours dépendant dans son bien-être des aléas du marché et des menées des concurrents.

Plus sensible que Watt à l'esprit «lunaire»³⁷, Boulton a longtemps hésité à abandonner les civilités qu'un gentleman éclairé se devait de manifester à ses pairs savants indépendamment de leur provenance. La manufacture de Soho demeurerait l'une des rares entreprises britanniques à maintenir ses portes ouvertes aux visiteurs jusqu'à la fin du XVIIIe siècle. Mais alors qu'elle était à son apogée, cette culture domestique des Lumières en Angleterre a été durement éprouvée par sa collision avec les intérêts du business. En entrepreneur qui souhaitait continuer à prospérer, Boulton devait affronter ce défi difficile, et l'insistance intrusive du «gentleman-philosophe» qui faisait fi des convenances si tel était son intérêt, a sans doute accéléré son adhésion définitive aux valeurs d'homme d'affaires.

Les motivations de Reynolds étaient typiques d'une nouvelle génération de «commerçants des Lumières» grandis au sein des entreprises familiales et pénétrés des valeurs en vigueur dans l'univers du «business». Mais s'il tenait à mener ses affaires dans les règles, cela ne l'empêchait pas de comprendre que les patentes des concurrents plus âgés, comme Watt, mettaient un frein aux recherches innovantes, y compris à celles que lui-même s'efforçait à déployer à Coalbrookdale. La logique du développement industriel s'en trouvait compromise, et cette contrainte sapait les convenances et incitait aux écarts. La rencontre avec Betancourt, dont le projet était en résonance avec ses propres intérêts, offrait à Reynolds une occasion unique de mettre à l'épreuve une solution technique prometteuse lui permettant, à terme, de surpasser son concurrent dont le monopole exclusif devait bientôt expirer ...

Quant à Betancourt, les conditions spécifiques de l'Espagne dans lesquelles il avait grandi ont imprimé à son talent de mécanicien une orientation professionnelle bien différente de celle de ses pairs britanniques. L'entreprise libre et le commerce n'étaient pas des domaines d'exercice dignes d'un jeune noble instruit qui pouvait ambitionner une grande carrière d'expert technique au service de la royauté éclairée. Un salaire conséquent et une position sociale solide lui étant de ce fait assurés, les aléas du marché n'avaient pas de prise sur ses agissements. Le voyage en Angleterre en tant que tel n'était qu'une étape dans l'accomplissement d'une mission étatique consistant à compléter la collection de modèles d'utilité générale, le Cabinet royal des machines. Perfectionner (sur le papier) une pompe à vapeur ou tout autre mécanisme curieux était pour lui un investissement intellectuel plutôt que matériel et le bénéfice principal qu'il espérait en tirer était la reconnaissance de ses pairs et de ses supérieurs, plus quelques gratifications à

37. Sur la Société lunaire (Lunar society) et Boulton et Watt en tant que ses membres, Uglow (2002).

l'occasion. Quant à l'application, il la laissait aux autres car de toute façon, il n'en avait ni le temps, ni les moyens, ni la patience... Trop d'autres idées foisonnaient dans son esprit pour qu'il puisse se contenter d'un seul projet aussi miroitant soit il...

Mais est-ce que cela veut dire que les choix faits par le «pirate philosophique» espagnol et les entrepreneurs éclairés britanniques les font définitivement appartenir à deux univers contrastés? Notre réponse peut paraître paradoxale, mais à un certain degré d'abstraction, nous percevons entre ces deux mentalités beaucoup plus d'affinités que de différences. Suffisamment en tout cas, pour voir en ces ingénieurs deux faces des Lumières.

Il nous reste à dire quelques mots sur l'impact du «fait colonial» qui joue dans cette histoire un rôle stimulant de premier ordre. L'initiative ambitieuse des planteurs créoles nous offre en effet un exemple unique d'une tentative d'industrialisation aussi précoce qu'accélérée, exemple qui contredit la tendance chronologique généralement admise dans ce domaine qui fait débiter ce processus dans les années 1830 au plus tôt. Ainsi, la machine de Betancourt, en outre d'être une invention pionnière au sens propre, a battu deux autres records historiques particuliers: celui de la première machine à vapeur à double effet ayant fait un voyage transocéanique de l'Angleterre jusqu'aux Caraïbes pour actionner un moulin à sucre dans une raffinerie d'une lointaine colonie ultramarine espagnole et celui de précéder dans cet élan industriel les initiatives de la métropole. Un bon score!

16. BIBLIOGRAPHIE

- Arango y Parreño, Francisco de (2005), *Obras*, vol. 1, La Habana: Imagen contemporánea.
- Betancourt y Molina, Agustín de ([1790]), *Mémoire sur la force expansive de la vapeur de l'eau*, lu à l'Académie Royale des Sciences, Paris: chez Laurent.
- Bethell, Leslie (1985), *Cuba: A short History*, Cambridge University Press.
- Bogoliubov, Aleksei N. (1973), *Un héroe español del progreso: Agustín de Betancourt*, Madrid: Seminarios y Ediciones.
- Cuba ilustrada: La Real Comisión de Guantánamo: 1796-1802* (2001), 2 vols., Barcelona: Lunweg.
- Egorova, Olga (2009), «Revelaciones de un retrato habanero: Agustín de Betancourt y la primera máquina de vapor en Cuba», *Opus Habana. Oficina del Historiador de la Ciudad*, 12 (2), pp. 26-33.
- Egorova, Olga (2010a), *Agustín de Betancourt: Secretos cubanos de un ingeniero hispano-ruso*, La Habana: Casa Editores Abril.
- Egorova, Olga (2010b), «Tajna starinnogo portreta», *Voprosy estestvoznaniâ i tehniki*, 3, pp. 166-170.
- Farey, John (1827), *A treatise on the steam engine, historical, practical, and descriptive*, London: Printed for Longman, Rees, Orme, Brown, and Green.
- Fletcher, Henry A. (1879), «The Heslop Engine: A Chapter in the History of the Steam Engine», *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers*, vol. 30, pp. 85-95.

- García-Diego y Ortiz, José Antonio (1975), «Huellas de Agustín de Betancourt en los Archivos Breguet», *AEA*, 21, pp. 177-221.
- González-Ripoll Navarro, Dolores M. (2002), «Dos viajes, una intención: Francisco Arango y Alejandro Olivan en Europa y las Antillas azucareras (1794 y 1829)», *Revista de Indias*, 62 (224), pp. 85-102.
- [González Tascón, Ignacio] (1996a), «Betancourt y las dragas de vapor: Kronstadt», en *Betancourt: Los inicios de la ingeniería moderna en Europa*, Madrid: CEHOPU-CEDEX (Ministerio de Obras Públicas, Transportes y Medio Ambiente), pp. 268-271.
- González Tascón, Ignacio (1996b), *Betancourt: Los inicios de la ingeniería moderna en Europa: Textos de los paneles*, Madrid: CEHOPU et CEDEX.
- Ghorbal, Karim (2009), *Réformisme et esclavage au Cuba (1835-1845)*, Paris: Éditions Publibook.
- Gouzévitch, Irina (2013), «Enlightened Entrepreneurs versus «Philosophical Pirate» (1788-1809): Two Faces of The Enlightenment», en Kenneth Quickenden, Sally Baggot et Malcolm Dick (éds.), *Matthew Boulton: Entreprising industrialist of the Enlightenment*. Farnham: Ashgate, pp. 215-245.
- Gouzévitch, Irina et Gouzévitch, Dmitri (2007), «El *Grand tour* de los ingenieros y la aventura internacional de la máquina de vapor de Watt: un ensayo de comparación entre España y Rusia», en Antonio Lafuente, Ana María Cardoso y Tiago Saraiva (éds.), *Maquinismo ibérico*, Madrid: Doce Calles, pp. 147-190.
- Gouzévitch, Irina et Gouzévitch, Dmitri (à paraître),: «Une machine à vapeur compound pour l'industrie sucrière cubaine (fin XVIIIe siècle). Entre science européenne et transfert transocéanique, ou le sort d'une invention d'avant l'heure», dans Laurent Heyberger et Régis Boulat (éd.), *Les industries aux colonies, les indigènes dans l'industrie (XVIIIe-XIXe siècles)*, Pôle éditorial, UTBM, à paraître fin 2022.
- Gouzévitch, Maxime (2009), «Aux sources de la thermodynamique ou la loi de Prony/Betancourt», *QHE*, 10 (n.º spécial): Konstantinos Chatzis, Dmitri Gouzévitch et Irina Gouzévitch (eds.), «Agustín de Betancourt y Molina: 1758-1824», pp. 119-147.
- Harris, John R. (1998), *Industrial Espionage and Technology Transfer: Britain and France in the Eighteenth Century*, Aldershot: Ashgate.
- Jones, Peter M. (2009), «Commerce des Lumières: The International Trade in Technology, 1763-1815», *Quaderns d'història de l'enginyeria*, IX, pp. 67-82.
- Jones, Peter M. (2022 [à paraître]), «Augustin de Betancourt: the Quest for Technological Knowledge in Great Britain, 1788-1804», en Cl. Fontanon et Irina Gouzévitch (éds.), *La construction d'un espace transnational: Les ingénieurs civils en Europe, fin 18e-20e siècles*, Paris: Garniers.
- Moreno Fragnals, Manuel (1964), *El ingenio, el complejo económico social cubano del azúcar, 1760-1860*, t. 1, La Habana: Comisión Nacional Cubana de la Unesco.
- Moreno Fragnals, Manuel (1976), *The Sugarmill: The Socioeconomic Complex of Sugar in Cuba: 1760-1860*, New York: Monthly Review Press.
- Nuvolari, Alessandro (2004), *The Making of Steam Power Technology: A Study of Technical Change during the British Industrial Revolution*, Eindhoven: Technische Univ. Eindhoven.
- Payen, Jacques (1967), «Bétancourt et l'introduction en France de la machine à vapeur à double effet: 1789», *Documents pour l'Histoire des techniques*, 6, pp. 187-198.
- Raistrick, Arthur ([1959]), *Coalbrookdale: 1709-1959*, London: Headley Bros.

- Raistrick, Arthur (1989), *Dynasty of Iron Founders: The Darbys and Coalbrookdale*, 2nd ed. revised, York: William Session Ltd / The Ebor Press.
- Rumeu de Armas, Antonio (1980), *Ciencia y tecnología en la España ilustrada: La Escuela de Caminos y Canales*, Madrid: Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos.
- Tann, Jennifer (1981), *Engine (The) Partnership: 1775-1825*, t. I, London: Diploma Press; Cambridge (Mass.): The MIT Press.
- «*The most extraordinary district in the world: Ironbridge and Coalbrookdale* (1988), Barrie Trinder (intr.), 2nd ed., [Chichester]: Phillimore & Co. Ltd.
- Thomas, Emyr (1994), *Coalbrookdale and the Darby family*, 2nd ed., Oxford: Alden Press.
- Torrejón Chaves, Juan (1994), «Innovación tecnológica y reducción de costes las máquinas de vapor en los arsenales de la Marina española del siglo XVIII», en *VII Simposio de Historia Económica: cambio tecnológico y desarrollo económico, Barcelona, 15 y 16 de diciembre de 1994*, Barcelona: Universitat Autònoma, Departament d'Economia i d'Història Econòmica, pp. 179-190.
- Uglow, Jenny (2002), *The Lunar Men: The Friends who Made the Future: 1730-1810*, London: Faber and Faber.
- Walter, John (2006), *Archiving Industry: Manufacturers, Markings and Products*, [on line: visite 12-1-2013] <http://www.archivingindustry.com/Industrydata/thesisplan-1.pdf>
- William Reynolds, 1758-1803: Proceedings of the Events held in June 2003 to commemorate his life and achievements* (2004), [Telford]: Wrekin Local Studies Forum.
- Zogbaum, Heidi (2002), «The Steam Engine in Cuba's Sugar Industry, 1794-1860», *Journal of Iberian and Latin American Studies*, 8 (2), pp. 37-60.