

*Augustin de Bétancourt: le parangon de la communication professionnelle des ingénieurs au dernier XVIIIe et au premier XIXe siècles*

Irina Gouzévitch,  
Centre A. Koyré, EHESS

### **Entrée en matière**

Augustin Bétancourt est un personnage emblématique des Lumières espagnoles. Cependant même à cette époque de talents dynamiques son parcours offre quelques traits originaux qui sortent Bétancourt du cadre strictement national de la modernisation espagnole et l'élèvent au rang des acteurs européens. Ingénieur polyvalent, savant du type encyclopédique, pédagogue et fondateur des administrations et des écoles d'ingénieurs, il relie en lui seul trois pays et deux siècles en lançant ainsi le pont entre deux extrémités de l'Europe et deux époques. Les pays sont l'Espagne - sa patrie, la France - lieu de sa formation intellectuelle et la Russie - son ultime refuge qui abrite sa dépouille mortelle. Repartie entre ses trois puissances, son oeuvre appartient à titre égal à l'histoire des sciences et des techniques de chacun aux moments-clés de leur développement.

L'esprit de son oeuvre est indissociable du temps historique durant lequel il a été appelé d'agir. Son action débute à l'époque des Lumières et s'épanouit à l'époque contemporaine ou l'ingénieur-artiste polyvalent recule puis cède définitivement sa place à l'ingénieur moderne doté d'une culture théorique scolaire solide et porté par l'idée romantique de la toute-puissance du progrès technique. L'activité de Bétancourt acquiert, dans ce contexte, une dimension double où son talent d'ingénieur savant et expérimenté s'imbrique avec sa vocation de médiateur. Car grâce à la conjoncture particulière de sa vie, dans sa deuxième tranche Bétancourt eut en effet à servir de médiateur intellectuel entre la Russie et l'Europe tant en assurant les échanges professionnels entre les ingénieurs russes et occidentaux qu'en organisait leur collaboration internationale sur le sol de l'Empire. Ce rôle particulier de Bétancourt fit de lui un des protagonistes de la mise en communication des ingénieurs européens dont le réseau était alors en émergence à l'échelle du continent. Pour la Russie, il était même d'une importance décisive puisqu'il contribuait à intégrer la jeune ingénierie russe dans le monde des ingénieurs européens.

En même temps, cet aspect particulier de son oeuvre resta en marge de nombreuses études consacrées à l'ingénieur en Espagne, en Russie et en France. Un quart de siècle auparavant A. Bogoljubov, son biographe soviétique, a écrit que les archives concernant Bétancourt dans les pays cités était suffisamment bien étudiées. Après quinze ans de recherches documentaires dans le domaine, nous pouvons témoigner qu'un travail considérable y reste toujours à faire. Une autre lacune est également à remplir ; notamment celle qui concerne la dimension européenne de l'action de Bétancourt. Ce travail est aujourd'hui en cours, et le présent papier vise à résumer quelques-uns de ses premiers résultats. Il se propose, plus concrètement, d'analyser l'implication personnelle de Bétancourt dans la réorganisation du métier de l'ingénieur en Russie, et ceci à la lumière de son expérience européenne acquise lors de ses nombreux voyages et travaux en France, en Angleterre et, bien entendu, en Espagne.

Les réalisations les plus significatives de Bétancourt sont suffisamment bien connues. Ainsi, il apparaît comme un fondateur de quelques grands centres de culture et de formation techniques d'inspiration française, et parmi eux le Gabinete de Maquinas à Madrid ou les corps d'ingénieurs (de Caminos y Canales, à Madrid également, et des Voies de communication à SPb) avec des écoles professionnelles spécialisées. En Espagne comme en Russie, les centres en question étaient sollicités et financés par l'État pour servir ses besoins dans le domaine des travaux publics. En gardant ces initiatives présentes à l'esprit, nous allons nous centrer sur l'aspect moins visible de l'oeuvre de Bétancourt qui concerne notamment quelques centres informels dont il fut l'inspirateur intellectuel. Il se trouve en l'occurrence qu'une poignée d'ingénieurs parmi ceux qui constituaient son cercle multinational en Russie furent impliqués par ses soins dans une activité scientifique de longue haleine en matière de mécanique appliquée, activité qui investit un vaste champ de recherche et qui donna naissance à une véritable école scientifique. Pour montrer son importance, rappelons que ses membres ont mené des travaux théoriques et expérimentaux dans les domaines tels que le mouvement des navires à vapeur, les propriétés des matériaux, les problèmes relevant de la mécanique de construction, la théorie des écluses avec les bassins d'épargne, la solution du principe des vitesses virtuelles ainsi que des travaux qui jetèrent les bases de la thermodynamique. Toutes ces réalisations, étudiées à maintes reprises, sont considérées comme étant l'apanage de la fameuse école mécanico-mathématique russe qui a émergé et fonctionné à partir des années 1830 au sein de l'Institut des Ingénieurs des voies de communication (ICIVC) et qu'on connaît dans l'histoire sous le nom de "l'école d'Ostrogradsky". Sans mettre en cause les mérites du glorieux mathématicien, une autre désignation nous semblerait toutefois plus conforme aux réalités historiques – "l'école des trois B" – d'après les noms de ses protagonistes d'origine : Betancourt, Bazaine et Baird. L'exposé qui suit se propose d'argumenter cette hypothèse.

### **Situation générale ou questions sans réponse**

Légitimée par une longue tradition historiographique, l'interprétation qui plaçait Ostrogradsky à l'origine et à la tête de cette école pesait lourd sur les générations de chercheurs. Elle était également la nôtre au début de ce travail. Cependant, au fur et à mesure que la recherche avançait, les affirmations perdaient de leur évidence et des questions sans réponses se multipliaient.

En effet, comment interpréter le décalage flagrant entre l'oeuvre scientifique originale d'Ostrogradsky-mathématicien et une certaine amorphie de son école qui n'a pas produit de grands mathématiciens, mais qui a formé beaucoup d'ingénieurs-savants remarquables ?

Comment expliquer la présence, parmi les "élèves d'Ostrogradsky" et les membres de son école, des chercheurs confirmés devenus tels bien avant l'apparition du "maître" à Saint-Pétersbourg ?

Quelle explication donner au fait que le premier ouvrage théorique sur la navigation à vapeur a été publié en Russie en 1817, trois ans avant la parution en France du fameux *Essai sur l'art de la navigation par la vapeur* de P.J. Gilbert (1824) ?

A quoi attribuer le fait que la synthèse des mécanismes (dérivée du principe du parallélogramme de Watt) a été créée en Russie à la fin des années 1820, c'est à dire 25 ans avant Tchebychev considéré comme pionnier dans ce domaine ?

Enfin, une question qui semble un peu en dehors du contexte mais qui le rejoint de façon indirecte : pourquoi le fameux mémoire de S. Carnot *Réflexions sur la puissance motrice de feu...* soumis à l'Académie des Sciences et passé alors presque inaperçu, mêmes par les mécaniciens les plus renommés (tel Navier), a-t-il d'emblée été compris par Clapeyron, de retour en France après 11 ans de service russe?

Toutes ces questions nous amènent à poser une autre, d'ordre plus général : Ostrogradsky était-il tout à fait à sa place dans cette histoire ? ou autrement : avait-il effectivement fondé et dirigé l'école qui porte son nom ?

Afin de démêler ces controverses nous avons entrepris de remonter à la genèse de cette école et de l'analyser à la lumière des faits accumulés lors de notre recherche. Pour cela, il nous a fallu nous déplacer dans le temps et dans l'espace, car les prémices de l'école dite d'Ostrogradsky apparaissent, à notre sens, bien avant sa naissance effective et dans les aires géographiques assez éloignées de l'Empire russe.

### **Augustin Bétancourt ou entre l'Espagne, l'Angleterre et la France**

La première séquence de cette histoire commence, à notre avis, en 1786 lorsqu'une équipe de stagiaires du gouvernement espagnol inspirée et dirigée par le jeune Bétancourt est envoyé en France en vue de recueillir l'information sur les nouvelles réalisations d'art et de sciences de l'ingénieur. Accueillis par Perronet à l'École des Ponts et Chaussées, les boursiers s'appliquent à fabriquer les modèles qui, selon l'idée de Bétancourt, doivent constituer le fond de la collection destinée à l'enseignement des futurs ingénieurs-hydrauliciens espagnols. Au cours de ce travail qui dure six ans, Bétancourt acquiert une grande expérience en matière de direction de l'action collective et devient un expert reconnu en art de mécanique pratique et de fabrication de modèles, tout à fait dans l'esprit des maîtres-mécaniciens classiques du dernier XVIIIe siècle. De retour à Madrid, il synthétise cette expérience sous forme du Cabinet de machines ouvert en 1791 et dote ainsi l'Espagne d'un centre de culture et de formation technique compétitif à plusieurs égards avec ses homologues et sources d'inspiration éventuels en France : l'atelier de modèles de l'École des Ponts et Chaussées, le cabinet de Vaucanson et la collection académique réunie par Pajot d'Ons-en-Bray.

Dans ce sens là les connaissances pratiques de Bétancourt en matière de mécanique sont tout à fait comparables avec celles des mécaniciens britanniques tels que Watt ou Murdock, ou avec celles des auteurs des *Teatra machinarum* classiques tels que Nartov ou Leupold. Un trait distingue toutefois Bétancourt des maîtres-empiristes britanniques, et c'est là que réside probablement la clé de l'énigme du fameux conflit entre Watt et Bétancourt concernant l'introduction en France de la machine à vapeur à double effet.

La situation se résume ainsi : de séjour en Angleterre en 1789, Bétancourt sollicite la visite de l'entreprise de Watt et Boulton. Les inventeurs britanniques l'accueillent avec considération mais évitent de lui montrer leur fameuse machine qui est déjà en chantier en Albion Mills, entreprise londonienne de Boulton. Bétancourt y accède toutefois par un biais à peine légal et y observe pendant quelques minutes l'appareil dissimulé en grande partie par un pan de mur. A la fin de la même année, Bétancourt soumet à

l'Académie des Sciences de Paris la description de l'engin de son invention basé sur le principe du double effet utilisé par Watt. Cette situation est à l'origine d'une dispute historique jusqu'à ce jour sans issue : les biographes de Watt accusent l'Espagnol d'espionnage, ceux de Bétancourt l'avouent, le nient ou du moins le nuancent selon leurs dispositions politiques.

Vu de l'intérieur, ce conflit pose plutôt un problème d'interprétation, car il s'agit, au fond, de la rencontre de deux types de mentalité professionnelle. Watt, ingénieur autodidacte et entrepreneur libre dont le bien-être dépend de l'exploitation exclusive de son invention, est confronté ici à Bétancourt, ingénieur savant et fonctionnaire d'État. L'acte divin de la création porté à la perfection par des années d'expériences pour l'un n'est, pour l'autre, qu'un modèle à construire à partir de quelques paramètres connus. Résident technique chargé d'une mission d'exploration par son gouvernement, certes, l'Espagnol réussit sa mission, avant tout, en ingénieur qui se fera bientôt connaître comme l'un des pionniers de la théorie des machines.

La genèse de ces facultés de Bétancourt est à rechercher dans sa formation et son parcours professionnel doubles parce que partagés entre deux pays - l'Espagne et la France.

Les institutions madrilènes qui avaient accueilli notre homme dans les années 1770 - l'Établissement royal de Saint-Isidore, puis l'Académie des Beaux-Arts - n'étaient pas des écoles d'ingénieurs. Cependant, même l'enseignement scolastique dispensé par le premier avait son aspect positif : on y apprenait à maîtriser la forme, la logique, la pensée abstraite. La formation artistique reçue dans le second l'avait initiée au monde de l'architecture, du dessin et de l'art de construction.

L'expérience française n'a fait qu'harmoniser cette formation, en l'orientant vers les arts et les sciences de l'ingénieur et, en particulier, vers la mécanique. Cet éveil se réalisera plus tard dans nombre d'ouvrages importants écrits et publiés en France : telle l'étude sur l'élasticité de la vapeur (qui relève du domaine de la physique expérimentale), mais surtout l'*Essay sur les machines* écrit en collaboration avec José Marie Lanz (et considéré au début comme application à la géométrie descriptive de Monge).

Une autre différence fondamentale distinguait Bétancourt des mécaniciens britanniques. Amené en raison de ses obligations professionnelles mêmes à fabriquer, à perfectionner et à inventer des machines et des mécanismes variés, - car rappelons-le : la collection étant destinée à former les ingénieurs-hydrauliciens pour la Couronne espagnole -, l'ingénieur était libre de tout engagement corporatiste et de tout esprit de bénéfice qui rentabiliserait son travail. Fonctionnaire d'État et payé par lui, il cherchait, au contraire, à divulguer ses inventions pour se faire un nom et pour affirmer sa position dans le métier.

Son *Essay sur les machines* plusieurs fois réédité est effectivement devenu l'ouvrage de référence pour quelques générations d'ingénieurs européens. Pourquoi ? N'est-ce pas parce on y trouve harmonieusement fusionnées l'énorme expérience empirique de l'ingénieur et sa maîtrise de la géométrie descriptive et des fondements de la mécanique? parce qu'on y découvre une tentative audacieuse d'inscrire cette expérience dans le contexte théorique large, de l'exprimer en catégories et notions nouvelles ? parce

qu'on y assiste, finalement, au processus de naissance d'une nouvelle science de l'ingénieur ? Le caractère synthétique de l'ouvrage est accentué par la publication, sous la même couverture, du tableau des mécanismes réalisé par Hachette, homme qui jouera plus tard le rôle crucial dans le développement des sciences sur les machines. Ce qui, pour Bétancourt, était en quelque sorte le sommet de son activité scientifique, le bilan du travail de longue haleine qui prenait une forme enfin achevée, n'était, pour Hachette, que le prélude à sa recherche ultérieure.

L'expérience unique de Bétancourt qui s'est synthétisée dans l'*Essay*... avait pourtant une autre issue moins visible. Elle a été poursuivie à l'autre bout de l'Europe, loin de la France et de l'Espagne, dans l'Empire russe que notre homme a rejoint, sur l'invitation du tsar, en 1809. De caractère plus pratique, elle a été appliquée à d'autres champs d'action professionnelle, telles les innovations technologiques (dragues à vapeurs, équipement d'usines, ouvrages hydrotechniques, etc.), la pédagogie et l'organisation de l'activité scientifique.

Nous avons appelé cette issue invisible. Et c'était vrai dans le sens qu'aucun ouvrage n'était sorti de la plume de Bétancourt pendant sa période russe qui a duré, somme toute, 15 ans. Les trois autres facettes de son activité russe -innovation, pédagogie, organisation- sont d'une importance particulière pour l'histoire du génie russe.

### **Le cercle de Bétancourt en Russie**

Les ingénieurs qui gravitent alors autour de Bétancourt forment d'emblée deux groupes différents dont la composition reflète, à sa manière, l'orientation double hispano-française de notre ingénieur. Ce sont soit les polytechniciens français, soit les ingénieurs espagnols dont quelques-uns recrutés probablement parmi ses anciens élèves à l'Escuela de Caminos y Canales de Madrid. Les fonctions qu'on leur confie en Russie sont elles aussi différentes. Les ingénieurs espagnols sont de préférence utilisés pour conduire les travaux pratiques, mécaniques et de construction. Disons d'emblée qu'aucun d'eux n'a écrit en Russie d'ouvrages théoriques. Aucun d'eux n'a non plus jamais enseigné.

Il n'était pas de même avec les Français. Chargés, comme les Espagnols, de multiples travaux pratiques, ils investissent très rapidement d'autres champs d'action, tels l'enseignement et la recherche.

Cependant, cet intérêt toujours grandissant envers la recherche (surtout dans la mesure où la mécanique est concernée) aurait pu rester stérile, car leur activité en Russie était d'emblée orientée vers les applications pratiques incarnées dans quelques dizaines d'objets techniques remarquables. Pour que ce passage vers une activité abstraite s'opère effectivement d'autres facteurs et d'autres hommes ont dû intervenir. L'un d'eux, et qui a joué un rôle décisif dans la mise en place de l'école mécanique russe, s'appelle ...

### **Charles Baird, l'Écossais**

Élève de Gascoigne, venu en Russie avec son maître, cet homme cumule décidément les meilleures qualités d'un mécanicien-entrepreneur britannique. Au moment qui nous

intéresse, il dirige une énorme usine métallurgique et mécanique qu'il a lui même fondée et qui était la plus grande entreprise privée de ce type en Russie de l'époque.

Baird n'était pas le seul ingénieur écossais à exercer en Russie. D'autres spécialistes hautement qualifié y ont excellés, tels Armstrong, Wilson, Clark. Baird avait pourtant son talent propre qui le poussait incessamment à se pencher sur les problèmes théoriques de l'art de l'ingénieur. Cette pulsion, peu typique pour un ingénieur britannique, explique le fait qu'il a très rapidement noué une collaboration étroite avec Bétancourt et qu'il a appuyé toutes les initiatives de ce dernier et, plus tard, de ses successeurs français. Cette union s'est avérée durable sur le long terme. Ainsi, dans les grands conflits professionnels de la fin des années 1820-30 Baird, ensemble avec Bazaine, a pris la parti contre le groupe d'architectes et ingénieurs (avec Stassov et Rossi en tête) qu'avait rejoint son compatriote Clark.

Les contacts avec Baird illustrent bien le dualisme empirico-théorique de Bétancourt. Ce même dualisme qui a permis à l'Espagnol de réaliser une autre expérience unique : fonder en Espagne une école technique destinée à former les ingénieurs-praticiens (1802) et, sept ans plus tard, jeter en Russie les bases du système d'enseignement technique supérieur très proche du système français (Polytechnique + école d'application réunis sous un seul toit). Semblable génère le semblable. Et le dualisme de Bétancourt s'est traduit dans le dualisme de son entourage.

Outre la valeur symbolique, ce partenariat avec Baird avait un avantage pratique essentiel car les mécaniciens français et espagnols de l'entourage de Bétancourt ont pu dorénavant disposer d'un puissant laboratoire de recherches expérimentales - sa fameuse usine de fabrications mécaniques. Quant au financement de ces travaux, ils ont été pris en charge par le budget national par le biais de l'Administration des voies de communication dont jusqu'à 1822 Bétancourt assurait la direction générale. Le financement est un moment-clé dans cette histoire puisque il résout la controverse majeure entre les ingénieurs privés établis à leur propre compte, comme Baird et ses collègues britanniques, et les ingénieurs d'État, comme Bétancourt, Bazaine et la compagnie.

### **Le partenariat en action : deux exemples**

I. En 1815-1817, Baird entreprend, pour la première fois en Russie, la construction des bateaux à vapeur. Simultanément et parallèlement Bazaine, sur l'initiative de Bétancourt, entreprend à étudier les lois de leur mouvement. La monographie (première dans son genre) issue de cette recherche est intitulée *Mémoire sur la théorie du mouvement des barques à vapeur et sur leur application à la navigation des canaux, des fleuves et des rivières*.

L'expérience pratique analysée dans l'ouvrage de Bazaine a été acquise dans les usines de Baird. Cependant, l'Écossais ne s'arrête pas là : d'après les projets élaborés par Bétancourt et Bazaine, Baird entreprend la construction de vaisseaux expérimentaux (vapeurs à roues et cabestans à vapeur avec les treuils disposés selon les axes différents) qu'il met à l'épreuve à son propre compte sur la Volga en 1821-1822.

2. La construction des ponts suspendus stimule d'autres inventions. En 1823, Bétancourt propose le projet du sidéromètre, appareil destiné à tester les chaînes en fer de ponts. Réalisé en métal par les soins de Baird et installé dans un de ses ateliers lors de la même année, ce dispositif puissant est aussitôt mis en exploitation par les ingénieurs des voies de communication pour tester les qualités des fers russes. Ces expériences de longue haleine ouvrent la voie à d'autres essais analogues. Ensemble ils constituent une époque dans la métallurgie physique et dans l'essai des matériaux. Une riche littérature est née de ces travaux reconnus exemplaires.

### **L'effet du "creuset"**

Ainsi pouvons-nous dire que Bétancourt a réussi une expérience sans précédents - tester dans des conditions nouvelles un effet peu connu qu'on peut évaluer à celui du "creuset". Sinon, comment appeler autrement le processus que nous venons de décrire ? Comment interpréter le phénomène du cercle de Bétancourt - groupe multinational uni au potentiel créateur énorme et à l'efficacité rare susceptible d'aborder les problèmes scientifiques et techniques les plus complexes ? Ingénieurs d'Etat et entrepreneurs libres, autodidactes et anciens élèves des grandes écoles, ces Français, Britanniques, Espagnols et Allemands font tous partie de ce creuset ou fondent, bouillonnent et fusionnent leurs connaissances et leurs expériences respectives. C'est de ce creuset que naîtra, finalement le phénomène appelé plus tard "l'école russe de la mécanique".

Chose paradoxale, le dualisme empirico-théorique qui marque l'activité de Bétancourt-mécanicien n'est pas un trait caractéristique de son école. Là aussi l'organisateur de la recherche prend le devant par rapport au chercheur : la synthèse qu'il n'a pas réussi définitivement dans sa propre oeuvre, il la réussit dans l'oeuvre de ses disciples.

### **Quelques retombées**

Notre premier exemple concerne une histoire aujourd'hui oubliée mais qui a déclenché, dans les années 1820-1830, des discussions publiques violentes sur les problèmes de la priorité. Le travail qui a suscité toutes ses passions concernait la "théorie des écluses avec les bassins d'épargne" élaborée par Bazaine (avec le concours de Bétancourt) en 1821. Un des cas particuliers de cette théorie a été plus tard réalisé en nature, incarné dans le fameux projet des écluses de Schlüsselbourg.

La théorie en question semble être l'une des théories techniques les plus précoces (excepté, peut-être, la fabrication des instruments de mesure). L'auteur propose, calculé sur le papier, le modèle idéal d'un objet technique qu'il utilise aussitôt pour élaborer, sur sa base, le projet d'un ouvrage d'art réel construit par la suite.

La pensée théorique de Bazaine, aussi originale soit-elle, a une source vive : le projet d'écluse de Bétancourt, mémoire publié en 1807 qui lui a ouvert les portes de l'Institut de France l'année d'après. La carrière académique de Bazaine débute, elle aussi, grâce à ce travail, car il lui vaut l'élection à trois académies européennes et l'attribution des décorations de trois États.

D'ailleurs, Bazaine signale l'existence d'un ouvrage anglais du début du XVIIIe siècle comportant la description d'un cas particulier des écluses jumelées. Les Britanniques, fidèles à eux mêmes, ont résolu empiriquement un problème concret. Le modèle idéal

de Bazaine calculé théoriquement offrait, par contre, une variété de solutions applicables à n'importe quel cas particulier, y compris à celui décrit par les Anglais.

2. L'histoire de la machine à vapeur offre un bel exemple de la mise en compétition de deux types de performance technique incarnés par deux génies antipodes - James Watt et Sadi Carnot. Si le premier a achevé la création de la machine à vapeur en tant que moteur universel, l'autre en a offert la théorie. Un troisième était pourtant nécessaire pour réaliser l'importance effective des *Réflexions sur la puissance motrice du feu* du jeune Sadi Carnot (X 1812). Sans ce troisième, qui lui a donné un deuxième souffle, l'oeuvre de Carnot serait peut-être encore longtemps restée une théorie abstraite très éloignée des pratiques d'ingénieur.

Cette tierce personne était Benoît Paul Émile Clapeyron qui, de retour en France en 1831, a proposé, dès l'année suivante, un *Mémoire sur la puissance motrice de la chaleur*. Dans cet ouvrage publié dans le *Journal de l'École polytechnique* en 1834, Clapeyron développait les idées de Carnot, en donnant à ses calculs une forme géométrique.

Ce n'est qu'un hasard, peut-on objecter. Tout autre ingénieur français du moule polytechnicien avait autant de chances que Clapeyron de comprendre les *Réflexions* de Carnot. Cependant cela ne s'est pas produit, et le traité de ce dernier a dû attendre sept ans ignoré de tous avant d'être lu et compris par Clapeyron, retourné en France après avoir séjourné onze ans en Russie.

A notre sens, le phénomène trouve son explication dans le fait que Clapeyron, Français d'origine et polytechnicien de formation, avait, à la différence de ses autres compatriotes et collègues, une expérience complémentaire unique dans son genre : il a subi l'effet du "creuset" franco-russo-hispano-écossais de Bétancourt-Bazaine-Baird. Autrement dit, l'idée de Carnot a été reprise par le représentant d'une brillante école de mécanique appliquée qui s'était mise en place à Saint-Petersbourg dans les années 1810-1820. Donner une explication théorique aux processus qu'on utilise en pratique, faire le calcul des constructions, utiliser les résultats obtenus pour perfectionner l'un et l'autre, tels étaient les traits caractéristiques de cette école. Dans cette optique, la réaction de Clapeyron à l'oeuvre de Carnot semble tout à fait logique et légitime.

### **L'école des "trois B"**

L'histoire se répète. Le chef de cette école –Bétancourt– a jadis emporté une compétition professionnelle avec Watt (la machine à vapeur à double effet). Viennent ensuite les travaux sur l'élasticité de la vapeur (1790) et l'*Essay* qui résumait son expérience hispano-franco-britannique. Les fondements de la future école se voient ainsi jetées. D'autres éléments vont l'enrichir dans les années suivantes : les pyroscaphes et les cabestans à vapeur, les dragues et les machines à vapeur pour les usines (Bétancourt, Bazaine, Baird, puis Clapeyron), les ouvrages théoriques sur la mécanique rationnelle et les machines à vapeur (Bazaine et Destrem) et le sidéromètre, les essais des matériaux (Bétancourt-Bazaine-Baird et autres) et les pompes à vapeur sur le canal de Ladoga, enfin, le premier manuel (Destrem) et le premier cours scolaire de la mécanique appliquée élaboré par les soins des professeurs de l'Institut durant cette



époque. N'est-ce pas là la source et l'explication de la perspicacité de Clapeyron qui fait ainsi le second pas en avant vers la naissance de la thermodynamique ?

L'activité de Lamé et Clapeyron en tant qu'ingénieurs des chemins de fer ne fait que confirmer cette hypothèse. Une fois rentrés de la Russie, ils interviennent énergiquement dans les débats sur la construction des chemins de fer dans leur pays, puis proposent le premier plan de leur développement à long terme et deviennent constructeurs de la première ligne de chemin de fer à vapeur en France (Paris – Saint-Germain). Les origines de cette activité sont encore une fois à rechercher dans l'expérience russe des deux ingénieurs. Dès la fin des années 1820, l'école russe de la mécanique appliquée née sur la base de l'Institut des Ingénieurs des voies de communication s'étend sur la mécanique des transports ferroviaires. En 1830, Bazaine envoie Lamé en mission en Angleterre pour qu'il assiste à l'ouverture de la ligne de chemin de fer Liverpool-Manchester. Outre le rapport fondamental présenté par Lamé à son retour, ce dernier a l'intention d'écrire un ouvrage sur les chemins de fer en Russie et le manuel sur ce sujet pour l'ICIVC. En 1831, il entame, avec Clapeyron, une série de projets et présente à l'ICIVC deux conférences sur les chemins de fer en Angleterre où il rentre en polémique avec M. Destrem, alors partisan du concept de la non-efficacité économique des chemins de fer en Russie.

Vu dans ce contexte, le fameux rapport sur l'importance stratégique des chemins de fer dans la défense nationale présenté par deux ingénieurs le 20 juin 1832 à l'Association Polytechnique n'est que la poursuite de leurs travaux entamés en Russie. Plus tard ils collaborent dans ce domaine avec les frères Flachet dont l'un, Eugène, a travaillé en Russie en même temps qu'eux. La boucle est encore une fois bouclée.

### **L'école dite d'Ostrogradsky et ses paradoxes**

En juillet 1824, Bétancourt quitte ce monde et c'est Bazaine qui prend le relais.

La fin des années 1820 est l'époque de l'effervescence de l'école mécanico-mathématique qu'il dirige en héritier intellectuel de Bétancourt. L'école a donc son chef, ses disciples, ses programmes de recherche, son organe périodique, le *Journal des voies de communication*, etc. L'horizon s'assombrit brusquement au début des années 1830 suite aux changements radicaux qui surviennent dans la politique intérieure et extérieure du gouvernement russe. La situation jusqu'alors favorable aux Français, se détériore progressivement : leur entrée au service de la Couronne est d'abord limitée, puis interdite. La tension ressentie par tous pousse les ingénieurs français à quitter le service. Quoique en 1830 la démission soit refusée à Bazaine, il se rend bien compte que les changements sont irréversibles. Comme Bétancourt en 1812, il doit coûte que coûte assurer l'enseignement à l'Institut perturbé par la répression. C'est ainsi que sont embauchés, à la place des Français réprimés ou partis, trois professeurs nouveaux, tous sujets russes ayant fait leurs études en France : les mathématiciens Ostrogradsky, Bouniakovsky et Kupfer.

Après le départ de Lamé et de Clapeyron, les cours de la mécanique sont définitivement repartis comme suit : Kupfer - physique ; Ostrogradsky - mécanique rationnelle, Bouniakovsky - mathématiques. Les cours de la mécanique appliquée et de construction sont confiés à Mel'nikov et à Volkov, anciens élèves de Clapeyron.

Ni Bouniakovsky, ni Kupfer n'ont créé d'écoles scientifiques à l'ICIVC. Bons professeurs et savants notables, ils sont reconnus pour leurs mérites, mais c'est tout. Seul Ostrogradsky a eu une école à lui et cette école porte toujours son nom.

Une controverse persiste, pourtant. Mathématicien et élève de Cauchy dont les travaux principaux relèvent du domaine de la mécanique rationnelle, il se trouve à la tête d'une école de la mécanique appliquée. Comme si sa propre oeuvre se développait en parallèle avec son expérience d'enseignant et d'organisateur de recherche. Le plus grand mathématicien russe du deuxième tiers du XIXe siècle n'a pas formé d'autres mathématiciens de son acabit. Mais nombre d'ingénieurs-mécaniciens remarquables sont considérés comme ses disciples.

Dire qu'Ostrogradsky n'a rien fait en matière de mécanique appliquée serait erroné. Il est auteurs des travaux magnifiques développant le principe des vitesses virtuelles et son extension sur les liaisons non-holonomes. Certains de ses disciples (p.ex. Janich) ont eux aussi travaillé sur ces questions. Mais c'est le programme de recherche mis en route par Bazaine et Lamé ! Et Ostrogradsky qui développe leurs idées agît, en fait, en leur héritier.

Autre paradoxe. L'école dite d'Ostrogradsky compte parmi ses membres et disciples certaines personnes qui enseignaient comme professeurs à l'ICIVC à l'époque où Ostrogradsky n'était encore que l'étudiant de l'Université : tel Sevastjanov, professeur de la géométrie descriptive et élève de Potier ; tel Volkov, adjoint éternel de tous les professeurs français qui assuraient le cours des constructions (Raucourt, Ferrandin-Gazan, Henri, Clapeyron), tel Mel'nikov, devenu professeur en 1831 et donc ayant d'emblée le même rang qu'Ostrogradsky.

Tous ces gens n'étaient pas les disciples d'Ostrogradsky et ne pouvaient pas l'être. En même temps, ils faisaient effectivement partie de l'école scientifique présidée par Ostrogradsky à partir du milieu des années 1830. Il reste à supposer qu'il a pris la direction d'une école déjà existante dont lui-même faisait partie. Une école dont les membres ont été formés dans le creuset multinational mécanico-mathématique animé par les "trois B". Enfin, il reste à reconnaître que l'implant opéré par Bazaine au moment de son départ a réussi avec brio. Ostrogradsky qu'il a désigné à sa place s'est avéré digne de ses prédécesseurs. L'aberration de la mémoire et la conjoncture politique ont effacé les noms des "trois B" de cette histoire, mais Ostrogradsky, canonisé à titre posthume, n'y est pour rien.

\*\*\*

Restituer la mémoire perdue et rendre hommage à trois B et à leur école reprise et développé par Ostrogradsky, telle est l'objectif principal de mon exposé. D'autant plus que cette école, quel que soit son nom, est en fait la quintessence de l'expérience européenne acculturée sur le sol russe. N'est-ce pas le meilleur hommage qu'on puisse rendre à l'action médiatrice du Canarien Bétancourt dont l'expérience européenne et la sociabilité professionnelle qui ignore les frontières a rendu cette collaboration possible?

## Bibliographie

CGIA – Central’nyj gos. istoričeskij arhiv.

M. - Moskva

SPb. – Saint-Pétersbourg

ŽPS – Žurnal putej soobšeniâ

JVC – Journal des voies de communication

JGC – Journal du Génie civil

IMI – Istoriko-matematičeskie issledovaniâ

VIET – Voprosy istorii estestvoznaniâ i tehniki

IJET – Institut istorii estestvoznaniâ i tehniki AN SSSR

1. *Betancourt: Los inicios de la ingeniería moderna en Europa* / CEHOPU. Madrid: Ministerio de Obras Públicas, Transportes y Medio Ambiente, 1996. 373 p.
2. Bogolûbov A.N. *Avgustin Avgustinovič Betancur: 1758-1824*. M.: Nauka, 1969. 152 p.
3. Bogoliúbov A. *Un héroe español del progreso: Agustín de Betancourt*. Madrid: Seminarios y ediciones, S.A., 1973. 188 p.
4. Gouzévitch [Guzevič] D., Gouzévitch [Guzevič] I. *Petr Petrovič Bazén [Bazaine]: 1786-1838*. SPb.: Nauka, 1992. 234 p.; [2e éd.]. 1995. [4], 240 p.
5. Gouzévitch I. Augustin Bétancourt, les ingénieurs de son entourage et la société russe dans les années 1810 - 1830 // *XIX International Congress of history of science: Zaragoza (Spain) 22-29 August 1993: Book of abstracts—scientific sections*. Zaragoza, 1993. P. Bet. 3; Idem. L'Institut du corps des ingénieurs des Voies de communication de Saint-Pétersbourg: des modèles étrangers à l'école nationale: 1809-1836 // *La formation des ingénieurs en perspective: Modèles de référence et réseaux de médiation, XIX<sup>e</sup> et XX<sup>e</sup> siècles* / Ed. I. Gouzevitch, A. Grelon, A. Karvar. Paris, 2003. 11 p. A parâtre; Gouzévitch D., Gouzévitch I. Note de l'ingénieur-colonel Raucourt de Charleville concernant des voies de communication en Russie / Avec la part. de W.Berelowitch // *Cahiers du monde russe*. 1996, oct.-déc. T.37, n° 4. P. 479-504; Idem. Les corps d'ingénieurs comme forme d'organisation professionnelle en Russe: genèse, évolution, spécificité: XVIII<sup>e</sup> et XIX<sup>e</sup> siècles // *Ibidem*. 2001. T.41, n° 4. P. 569-614; Gouzévitch D. *Agustín de Bétancourt entre l'Espagne, la France et la Russie: un axe de transfert technico-scientifique qu XIX<sup>e</sup> siècle // Frontera y comunicacion: III coloquio hispano-rus o (Madrid-Toledo, 23-25 octubre 2001): Actas*. Madrid, 1995. 20 p. A parâtre; Idem. *L'Art, les sciences et les pratiques de l'ingénieur dans la 2<sup>ème</sup> moitié XVII<sup>e</sup> - début du XIX<sup>e</sup> ss. = Stanovlenie sistemy naučno-tehničeskogo znaniâ i professional'noj deâtel'nosti vo 2<sup>oj</sup> polovine XVIII – načale XIX veka*. SPb, 1998. 112 p.
6. Gouzévitch D. *L'enseignement de la mécanique appliquée à l'Institut des Ingénieurs des voies de communication de Saint-Pétersbourg et la mise en place de l'école mécanico-mathématique dite d'Ostrogradsky: Première moitié du XIX<sup>e</sup> siècle*. Paris, 1997. 17 p. Manuscrit, archives IDG.
7. Gouzévitch I., Gouzévitch D. Le “grand tour” des ingénieurs et l'aventure internationale de la machine à vapeur de Watt: un essai de comparaison hispano-russe // *Maquinismo ibérico*. Madrid, 2003. 36 p. A parâtre.
8. Gouzévitch I. *L'histoire de la mise en place de l'enseignement de la mécanique appliquée à l'Institut des Ingénieurs des voies de communication de Saint-Pétersbourg*. Paris, 1997. 16 p. Manuscrit, archives IDG.
9. Larionov A.M. *Istoriâ Instituta Inženerov putej soobšeniâ Imperatora Aleksandra I za pervoe stoletie ego sušestvovaniâ: 1810-1910*. SPb, 1910. VIII, 409 p.; Sokolovskij E. *Pâtidesâtleitie Instituta i Korpusa Inženerov putej soobšeniâ: Istoričeskij očerk*. SPb, 1859.

- XIV, 149 p.; Žitkov S.M. *Institut Inženerov putej soobšeniâ Imperatora Aleksandra I: Istoričeskij očerk*. SPb., 1899. VI, 500 p.; [Andreev P.N.] Očerk sostoâniâ Instituta Inženerov putej soobšeniâ v carstvovanie Imperatora Aleksandra I // *Inženernye zapiski*. – 1878. T. 4, vyp. 2. P. 1-20; [Kipriânov V.A.] K vospominaniâm o Korpuse Inženerov Putej Soobšeniâ i ego institute // *Očerki: Iz zapisok V.A.K.* Vyp. 1. M., 1882. P. 163-235; Orduña, Carlos de. *Memorias de la Escuela de Caminos: Primera época*. Madrid: Voluntad, 1924. 117 p.
10. Armas, Rumeu de. *Ciencia y tecnologia en la España ilustrada: La Escuela de caminos y canales*. Madrid: Ed. Turner, 1980. 554 p.
  11. *Leningradskij ordena Lenina Institut inženerov železnodorožogo transporta im. akademika V.N.Obrazcova: 1809-1959*. M.: VIPO MPS, 1960. 388 p.
  12. Gnedenko B.V. Mihail Vasil'evič Ostrogradskij // *Lûdi russoj nauki*. T. 1. M.; L.: Tehteorizdat, 1948. P.103.
  13. Gnedenko B.V. *Mihail Vasil'evič Ostrogradskij: Očerki žizni, naučnogo tvorčestva i pedagogičeskoj deâtel'nosti*. M.: Gostehteorizdat, 1952. 332 p.
  14. Gnedenko B.V., Pogrebysskij I.B. *Mihail Vasil'evič Ostrogradskij, 1801-1862: Žizn' i rabota: Naučnoe i pedagogičeskoe nasledie*. M.: Izd-vo AN SSSR, 1963. 271 p.
  15. Moiseev N.D. Obšij očerk razvitiâ mehaniki v Rossii i v SSSR // *Mehanika v SSSR za tridcat' let: 1917 – 1947: Sb. statej*. M.; L.: Gostehteorizdat, 1950. P.16.
  16. Bogolûbov A.N. *Matematiki, mehaniki: Biografičeskij spravočnik*. Kiev: Naukova dumka, 1983. P. 360-361; Bogolûbov A.N., Štokalo I.Z. Vvedenie // *Istoriâ mehaniki v Rossii*. Ibidem, 1987. P.6.
  17. Voronin M.I., Voronina M.M. *Stanislav Valerianovič Kerbedz: 1810-1899*. L.: Nauka, 1982. 176 p.
  18. Voronina M.M. *Stanovlenie prikladnoj mehaniki v Rossii: I pol. XIX v.: Diss. ... kand. fiz.-mat. n. M.*, 1980. 165 f.
  19. Voronina M.M. *Istoriâ razvitiâ prikladnoj mehaniki v Rossii v XIX stoleyii : Primenitel'no k problemam transporta: Diss. ... dokt. teh. n. SPb.*, 1999. 291 f.
  20. Voronin M.I. *Issledovanie stanovleniâ i razvitiâ transportnoj nauki i tehniki v oblasti izyskanij i proektirovaniâ železnych dorog ot ih vznikoveniâ do načala socialističeskoj industrializacii v SSSR: Diss. ... dokt. teh. n. L.*, 1973. F.55.
  21. Maron I.A. Akademik M.V. Ostrogradskij kak organizator prepodavaniâ matematičeskikh nauk v voenno-učebnyh zavedeniâh Rossii Ostrogradskogo // *IMI*. 1950. Vyp.3. P.197-340.
  22. 150 let so dnâ roždeniâ M .V. Ostrogradskogo: Ūbilejnye sessii i zasedaniâ v Moskve i na Ukraine // *Vestnik AN SSSR*. 1951. №12. P.88-92.
  23. Mandryka A. *Vzaimoszâz' mehaniki i tehniki: 1770-1970*. L.: Nauka, 1975. P.108-109.
  24. Grigor'ân A.T. Rol' M.V. Ostrogradskogo v razvitii mehaniki v Rossii // *Tr. IIET*. T.28. 1959. P.251.
  25. Pugina L.V. *Stanovlenie Peterburgskoj matematičeskoj školy: Diss. ... kand. fiz.-mat. n. M.*, 1992. 189 f.
  26. Bogolûbov A.N. Učeniki M.V. Ostrogradskogo, ruskaâ škola prikladnoj mehaniki // *Ist. mehaniki v Rossii*. Kiev: Naukova dumka, 1987. P.169-172.
  27. CGIA SPb. F.381. Op.13. D.388: *Ob opredelenii v IKPS professorami ad"ûnktov Imp: AN Ostrogradskogo i Bunâkovskogo*. 1830-33. 17 ff.
  28. Gnedenko B.V., Maron I.A. Očerk žizni, naučnogo tvorčestva i pedagogičeskoj deâtel'nosti M.V. Ostrogradskogo // *Ostrogradskij M.V. Izbrannye trudy*. M.: Izd-vo AN SSSR, 1958. P. 380-457.
  29. Ostrogradskij M.V. *Izbrannye trudy*. M.: Izd-vo AN SSSR, 1958. 583 p.; Idem. *Polnoe sobranie trudov: V 3-h t. 3 t*. Kiev.: Izd-vo AN USSR, 1959-61; Antropova V.I. Publičnye lekcii po integral'nomu isčisleniû M.V. Ostrogradskogo // *Tr. IIET*. T.5. 1955. P.304-320; Bogolûbov A.N., Štokalo I.Z. "Programma po analitičeskoj mehanike" M.V.

- Ostrogradskogo // *IMI*. 1973. Vyp.18. P.289-294; Gajduk Ū.M., Naumov I.A. K naučnoj biogrffii M.V. Ostrogradskogo // *VIET*. 1979. Vyp.10. P.62-64; Prudnikov V.E. *Russkie pedagogi–matematiki XVIII-XIX vekov: Posobie dlâ učitelej*. M.: Učpedgiz, 1956. 640 p. M.: Gosučpedizdat Minpros RSFSR, 1956. P. 254-291; Idem. Četyre pis'ma k M.V. Ostrogradskomu // *IMI*. 1954. Vyp. 7. P. 716-719; Ūškevič A.P. O neopublikovannyh rannih rabotah M.V. Ostrogradskogo // *IMI*. 1965. Vyp.16. P.11-48.
30. Bazaine P.D. *Mémoire sur la théorie du mouvement des barques à vapeur et sur leur application à la navigation des canaux, des fleuves et des rivières*. SPb., 1817. 79 p.
  31. Jouffroy, le marquis de. *Bateaux à vapeur*. Paris: Le Normant, 1816. 40, 8 p.
  32. Carnot Sadi. *Réflexions sur la puissance motrice du feu / Éd. critique avec introd. et comment. par Robert Fox*. Paris: Librairie philosoph. J. Vrin, 1978. 371 p.
  33. Armas, Rumeu de. *El real gabinete de máquinas del buen retiro: Origen, fundación y vicisitudes Una empresa técnica de Agustín de Betancourt*. Madrid: Castalia, 1990. 246 p.
  34. Fontanon C. Les origines du Conservatoire national des arts et métiers et son fonctionnement à l'époque révolutionnaire: 1750-1815 // *Les Cahiers d'histoire du CNAM*. 1992. №1. P.17-44; Mercier A. *L'Abbé Grégoire et la création du Conservatoire national des arts et métiers*. Paris: CNAM, 1989. 51 p.; De Place D. Le sort des ateliers de Vaucanson, 1783-1791, d'après un document nouveau // *Hist. and Techn.* 1983. Vol. 1. P.79-100.
  35. Luazo Ž. [Loiseau J. ?]. Tokarnyj stanok A.K. Nartova vo Francuzskom Nacional'nom hraniliše iskusstv i remesel // *VIET*. 1957. Vyp.3. P.212-216; *Testament et codicils de Messire Louis-Leon Pajot Comte d'Ons-en-Bray; du 5 Novembre 1753*. [S.l.], 1753. 31 p.; Eloge de Mr. D'Ons-En Bray // *Histoire de l'Académie Royale des sciences: An. 1754*. T.7. Amsterdam, 1763. P. 212-228; D'Ons-En Bray // *Nouvelle biographique générale*. T.38. Paris: Firmin Didot frères, 1864. Col. 693-695.
  36. Britkin A., Vidonov S. *Vydaûšijsâ mašinostroitel' XVIII v. A.K. Nartov*. M.: GNYI Mašinostroitel. lit-ry, 1950. 184 p.; Sinigaglia R. *Andrej Konstantinovič Nartov nello sviluppo tecnico-scientifico della Russia del XVIII secolo*. Genova, 1981, set. 88 p. (*Quaderni del Centro di Studio sulla storia della tecnica del Consiglio Nazionale delle Ricerche*. № 6). Vasil'ev V. Sočinenie A. K. Nartova "Teatrum Machinarum": k istorii peterburgskoj "Tokarni Petra I" // *Trudy GĖ*. T. 3: *Ruskaâ kul'tura i iskusstvo*. L.: Izd-vo GĖ, 1959. P. 41-92; Zagorskij F. A.K.Nartov – vydaûšijsâ mašinostroitel' XVIII veka // *Trudy IIET*. T. 13: *Istoriâ mašinostroeniâ i transporta*. M., 1956. P. 3-34. Idem. *Andrej Konstantinovič Nartov: 1693-1756*. L.: Nauka, 1969. 167 p.; Gouzévitch I. Une nouvelle génération d'enseignants: l'avènement de la mécanique appliquée en Russie avant 1850 // *Recherche scientifique, innovation industrielle et formation spécialisée: les professeurs des écoles d'ingénieurs et le développement de la culture technique moderne (XVIII<sup>e</sup> - XX<sup>e</sup> siècles): Symposium S 25 / Ed. I. Gouzévitch, A. Grelon*. Mexico, 2003. (Vol. des *Actes du XXI Congrès International d'Histoire des Sciences, Mexique, 8-14 juillet 2001*). A paraître.
  37. Bétancourt A. *Mémoire sur la force expansive de la vapeur de l'eau*. [s.a.]. 46 p., 5 f. de pl. Bibl. de l'ENPC, Mss.184. No visu; Cioranescu A. Agustín de Betancourt su obra técnica y científica. La Laguna de Tenerife: Inst. de Estudios canarios, 1965. P.117-126.
  38. Ortiz E. L. José Maria de Lanz and the Paris-Cadiz axis // *Naissance d'une communauté internationale d'ingénieurs (première moitié du xix<sup>e</sup> siècle): Acte de la journée d'étude 15-16 décembre 1994 (CRHST, Cité des sciences et de l'industrieÉdités) / Ed. I. Gouzévitch, P. Bret*. Paris, 1997. P. 56-77; Garcia-Diego J.A. *En busca de Betancourt y Lanz*. Madrid: Editorial Castalia, 1985. 229 p.; Armas, Rumeu de. *El científico mejicano José Maria de Lanz, fundador de la cinemática industrial*. Madrid: IDE, 1983. 129 p.; Heredia E.A. José de Lanz, un mexicano al servicio de las Provincias unidas del Rio de la Plata y de la Gran Colombia: 1816-1827 // *Anuario de estudios americanos* (Sevilla). T. 47. 1990. P.497-538; Demerson J. *José Maria de Lanz, Prefecto de Córdoba*. Madrid: Castalia, 1990. 92 p.

39. Lanz J.M. et Bétancourt A. *Essai sur la composition des machines*. Paris, 1808. 120 p., 10 f. de pl.; Idem. 2<sup>de</sup> éd. Paris: Bachelier, 1819. 184 p., 12 f. de pl.; Idem. *Versuch über die Zusammensetzung der Maschinen*. Berlin: Rucker, 1829. 156 s., 12 gez.; Idem. *Ensayo sobre la composición de las máquinas*. Madrid: Castalia, 1990. Pag. div.
40. Gouzévitch I. A la conquête d'un monde inconnu ou les vicissitudes de quatre polytechniciens en Russie. Paris, 1993. 19 p. Manuscrit, archives IDG.
41. Gouzévitch I., Gouzévitch D. *Les espagnols en russie*. Paris, 1993. 10 p. Manuscrit, archives IDG.
42. Sniatkov S., Sniatkova A. Origins of Russian Metal Architecture and Scotch Metallurgy School // *De l'universalisme amateur au professionnalisme institutionnalisé: la mise en place du métier du savant: XVIII<sup>e</sup> - XX<sup>e</sup> siècle: Symposium S 7* / Ed. S. Demidov, D. Gouzévitch, Ch. Phili. Mexico, 2003. (Vol. des Actes du XXI Congrès International d'Histoire des Sciences, Mexique, 8-14 juillet 2001). A paraître.
43. Gladkih R. Privatnoe delo // *Kraeved Karelii*. Petrozavodsk: Kareliâ, 1990. P.68-87; Karpušenko V., Maškov B. Na sed'moj verste Petergofskoj dorogi // *Bloknot agitatora* (L.). 1981. №21. P.47-54; Bartlett R. Charles Gascoigne in Russia: A case study in the diffusion of British technology, 1786-1806 // *Russia and the West in the Eighteenth century*. Newtonville (Mass.): Orient. Res. Partn., 1983. P. 354-367; Idem. Scottish Cannon-founders and the Russian Navy: 1768-85 // *Oxford Slavonic Papers*. 1977. N.s., n° X. P. 51-72.
44. Virginskij V. *Robert Ful'ton: 1765-1815*. M.: Nauka, 1965. P.202-251; Zaharov V. Načalo parohodostroeniâ v Rossii // *Sudostroenie*. 1972. №7. P.53-56; №8. P.59-62; №10. P.49-54; *Rečnoe sudohodstvo v Rossii* / M.Amusin, B.Bogdanov, V.Ivanov [et al.]; Pod red. M.Čebotareva. M.: Transport, 1985. 352 p.; Brandt A. *Očerk istorii parovoj mašiny i primeneniâ parovyh dvigatelej v Rossii*. SPb., 1892. 70 p.; Furer L.N. K istorii razvitiâ volžskogo sudohodstva // *Istoriâ SSSR*. 1959. №2. P.153; Mel'nikov P. K istorii razvitiâ parohodstva na Volge: Zapiska P.P. Mel'nikova "Poezdka na Zolgu" // *Krasnyj arhiv*. T.4-5(89-90). 1938. P.309-335; Èto interesno interesno znat' // *Rečnoj transport*. 1961. №7. P.23; Virginskij V. 150-letie parovogo sudohodstva v Rossii // *VIET*. Vyp. 19. 1965. P.144-145; Danilevskij V. Pervye russkie parohody: K 125-j godovšine postrojki pervogo parohoda v Rossii // *Morskoj sb*. 1941. №1. P.53-68; Brandt A. *Stoletnij ūbilej parohodnogo dela v Rossii: 1815-1915*. Petrograd: Izd-e žurn. "Teplohod", 1917. 11 p.; Virginskij V., Zaharov V. Novye materialy o pervom russkom parohode // *Sudostroenie*. 1974. №8. P.55-58; Kyckov V. Imel li nazvanie pervyj russkij parohod? // *Ibidem*. 1973. №10. P.56-57; Arenin È. Pervyj rejs pervogo parohoda // *Smena* (L.). 1972, 23 and 25.01. P.4; Passažirskij parohod na Neve // *Literat. nasledstvo*. T.58. M.: Izd-vo AN SSSR, 1952. P.81; Virginskij V. *Očerki istorii nauki i tehniki XVI-XIX vekov*. M.: Prosvěšenie, 1984. P.178, 180; Vadimov V. Morskie passažirskie perevozki Rossii // *Morskoj flot*. 1972. №2. P. 67; Basevič V. Parohody Rossii // *Ibidem*. 1993. №3-4. P.38-39; Tower T. *Memoir of the Late Charles Baird, esq., of St. Petersburgh, and of his Son, the Late Francis Baird, esq., of St. Petersburgh, and 4, Queen's Gate, London; Members of the Institution of Civil Engineers in England, of the Council of Manufacturers in Russia, Noblemen, Merchants of the First Guild, etc., etc.* London: Harrison & Sons, 59, Pall Mall, 1867. 19 p.
45. Daniličev S. Inžener sudohodstva // *V mire knig*. 1970. №7. P.23; Idem. Pervaâ kniga v Rossii po teorii parovyh sudov // *Rečnoj transport*. 1962. №2. P.45.
46. RGIA. F. 208, op.1, d.138: Žurnal Komissii proektov i smet, 1839, f.373; Traitteur G. *Plans, profils, vues perspectives et détails des ponts en chaines Exécutés à Saint-Pétersbourg, sous la direction de Son Altesse Royale le Duc Alexandre de Wurtemberg, en 1824*. SPb., 1825. F.9; Lamé. O visâčih mostah // *Žurnal putej soobšeniâ*. 1826. Kn.3. P.55-81; Ganri (Henry). Ob upotreblenii železa pri sooruženii visâčih mostov // *Ibidem*. 1827. Kn. 5. P.22-45; Kn.9. P.33-64; Henry. Mémoire sur l'emploi du fer dans les ponts suspendus // *Journal des voies de communication*. 1826. №5. P.19-43; 1827. №9. P.29-55; Lamé. Mémoire sur les ponts

- suspendus // *Ibidem*. 1826. №3. P.49-71; Idem // *Journal du génie civil*. 1828. T.1. P.245-260; Henry. Mémoire sur l'emploi du fer dans les ponts suspendus // *Ibidem*. P.219-236; Nikolai L. Kratkie istoričeskiâ dannye o razvitii mostovogo dela v Rossii. SPb., 1898. P.51-52; Rakčeev E. Dmitrij Ivanovič Žuravskij: 1821 - 1891. M.: Nauka, 1984. P.38; Voronina M. *Gabrièl' Lamé <Lamé> : 1795-1870*. L.: Nauka, 1987. P.71-72; Idem. *Stanovlenie prikladnoj mehaniki v Rossii: I pol. XIX v.: Diss. ... kand. fiz.-mat. nauk*. M., 1980. F.59-60; Fedorov S. *Der Badische Ingenieur Willhelm von Traitteur als Architekt russischer Eisenkonstruktionen = Badenskij inžener Vil'gel'm fon Tretter – master ruskoj "metalličeskoj" arhitektury*. Karlsruhe: Inst. für Baugeschichte, 1992. S.34-43; Idem. *Wilhelm von Traitteur: Ein badischer Baumeister als Neuerer in der russischen Architektur 1814-1832*. Berlin, 2000. S.132-133. Et al.
47. Bazaine P.D. Mémoire sur l'établissement des bassins d'épargne dans les canaux de navigation, et sur les moyens d'économiser une grande partie de l'eau qui se dépense annuellement au canal de Ladoga // *Mémoires de l'Acad. <...> de science de SPb*. 1824. T. 9. P. 222-262; Idem // *JVC*. 1826. Kn. 1. P. 8-28; Kn. 4. P. 1-36; Idem // *JGC*. 1828. T. 1. P. 371-408; Idem. O postroenii vodohraniliš dla sudohodnyh kanalov i o sposobe sberegat' vodu, ežegodno izderživaemuû v Ladožskom kanale // *ŽPS*. 1826. Kn. 1. P. 9-30; Kn. 4. P. 1-38; Idem. O novom iskusstvennom sposobe umen'šat' rashod vody v kanalakh i o novoj sisteme malogo sudohodstva // *ŽPS*. 1826. Kn. 6. P.16-37; Idem. Sur les canaux de petite navigation // *JVC*. 1826. № 6. P. 15-34; Idem. Notice sur un nouvel artifice propre à diminuer la dépense d'eau des canaux en général, et sur un nouveau système de petit navigation // *JGC*. 1828. T. 1. P. 479-492.
  48. Gouzévitch [Guzevič] D. Granitnye šlūzy Šlissel'burga // *Pamâtniki nauki i tehniki: 1989*. M.: Nauka, 1990. P. 71-82; Gouzévitch [Guzevič] I. *Materialy k istoričeskoj spravke "Gidrotehničeskij kompleks Šlissel'burgskih šlūzov"*. L., 1988. 61 f. Arhiv Inspekcii po ohrane pamâtnikov Leningr. obl. № 354.
  49. Bétancourt. *Mémoire sur un nouveau système de navigation intérieure, présenté à l'Institute Nationale de France*. Paris, 1807. 46 p.; Monge, Bossut, Prony. Rapport fait à la première classe de l'Institut <...> sur un projet d'écluse à flotteur, présenté par M. de Bétancourt // *Le Moniteur un iversel*. 1807, 9.10. №282. P.1090-1092; Bétancourt. Mémoire sur un nouveau système de navigation intérieure // *Deuxième recueil de divers mémoires: Extraits de la Bibliothèque impériale des ponts et chaussées à l'usage de mm: les ingénieurs* / Publ. par P.-C. Lesage. Paris: L'Impr. d'Hacquart, 1808. P.107-138; Bossut, Monge, Prony. [Rapport, 14.9.1807] // *Idem*. P.139-150; Prony. Sur une nouvelle Ecluse, inventée par M. de Betancourt // *Nouveau bulletin des sciences, par la S<sup>té</sup> philomatique de Paris*. T. 1. 1807. P. 38-43; Idem // *Bulletin de la S<sup>té</sup> d'encouragement pour l'industrie nat.* An 7, n°43. P.6-12; Prony. Notice sur la nouvelle Ecluse de M. de Betancourt // *Journal de l'Ecole Polytechnique*. T.8. 1809. P. 146-161.
  50. Clapeyron É. Mémoire sur la puissance motrice de la chaleur // *Journal de l'Ecole Royale Polytechnique*. T.14. 1834. P. 153-190.
  51. Birembaut A. La découverte des *Réflexions...* par Clapeyron // *Sadi Carnot et l'essor de la thermodynamique: Paris, Ecole Polytech., 11-13.6.1974*. Paris: CNRS, 1976. P.191-193.
  52. Destrem M. *Traité de mécanique à l'usage des élèves de l'Institut des ingénieurs des voies de communication*. SPb., 1820. XIX, 397 p.; Clapeyron B. *Leçons de mécanique appliquée*. [SPb, 1828]. 44 p., 34 pl. Lithogr.
  53. Lamé G., Clapeyron É., S. et E. Flachet. *Vues politiques et pratiques sur les travaux publics de France*. Paris: Impr. d'Éverat, 1832. 336 p.; Clapeyron É. *Notice sur les travaux de M. Émile Clapeyron, ingénieur en chef des mines*. Paris: Mallet-Bachelier, 1858. 11 p.; Idem. Sur le réglément des tiroires dqns les machines à vapeur // *Bulletin de la S<sup>té</sup> d'encouragement pour l'industrie nat.* 1842, mai. An.41, n°455. P.203-204; Idem. Note sur des expériences faites au nouveau chemin de fer Saint-Germain, avec une locomotive de la

- construction de M. Flachet // *Idem*. 1846, juillet. An.45, n°505. P.413-414; Combe Ch. *Discours prononcé aux funérailles de M. Clapeyron au nom de la Section de mécanique, le samedi 30 janvier 1864*. Paris: Institut imp. de France, Acad. des sc., 1864. 6 p.; Bertrand. Paris, 1870. P. 11-14; Bradley M. Franco-Russian Engineering Links: The Careers of Lamé and Clapeyron: 1820-1830 // *Annals of Science*. 1981. №30. P.307-308; Autin J. *Les frères Pereire: le bonheur d'entreprendre*. Paris: Librairie Acad. Perrin, 1983. 428 p.; Ribeill G. *La révolution ferroviaire: La formation des compagnies de chemins de fer en France: 1823-1870*. Paris: Belin, 1993. 480 p.
54. Voronina M.M. *Gabriel' Lame: 1795-1870*. L.: Nauka, 1987. 198 p.
  55. Destrem M. Obšie suždeniâ ob odnositel'nyh vygodah kanalov i dorog s koleâmi, i priloženie vyvodov k opredeleniû udobnejšego dlâ Rossii sposoba perevozki tâžestej / Per. majora Vasil'eva // *ŽPS*. Kn. 21. 1831. P. 1-90; Destrem. Considérations générales sur les avantages relatifs des canaux et des chemins à ornières, et application du mode de transport le plus avantageux pour la Russie // *JVC*. № 21. 1831. P.1-77; Del'vig A.I. *Moi vospominaniâ*. T. 1. M., [1912]. P.240-241; Sokolovskij E. *Pâtidesâtiletie Instituta i Korpusa inženerov putej soobšeniâ*. SPb., 1859. P.41-42.
  56. Costabel P. *L'Accueil des idées de Sadi Carnot et la technologie française de 1820 à 1860: de la légende à l'histoire*. Paris: Librairie philosoph. J. Vrin, 1980. P.103; Brodânskij V.M. *Sadi Karno: 1796-1832*. M.: Nauka, 1993. P.128.
  57. Auclair A. *Les ingenieurs et l'equipement de la France: Eugène Flachet: 1802-1873*. Le Creusot; Montceau-les-Mines: Economisée de la Comm. Urbaine Le Creusot - Montceau-les-Mines, 1999. 315 p.
  58. CGIA SPb. F. 381, op. 13, d. 388: *Ob opredelenii v IKIPS professorami Ad'ûntov Imperatorskoj Akademii nauk Ostrogradskogo i Bunâkovskogo*. 24.5.1830-8.9.1833. 17 f.
  59. Voronina M.M. Stanovlenie kursa prikladnoj mehaniki v vysših tehničeskijh učebnyh zavedeniâh Peterburga // *VIET*. Vyp. 3 (52). 1976. P. 63-65.