



HAL
open science

Gaspard-Gustave de Coriolis (1792-1843) : un mathématicien, théoricien de la mécanique appliquée

Alexandre Moatti

► To cite this version:

Alexandre Moatti. Gaspard-Gustave de Coriolis (1792-1843) : un mathématicien, théoricien de la mécanique appliquée. Histoire, Philosophie et Sociologie des sciences. Université Panthéon-Sorbonne - Paris I, 2011. Français. NNT: . tel-00645154

HAL Id: tel-00645154

<https://theses.hal.science/tel-00645154>

Submitted on 26 Nov 2011

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

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

Université Paris I Panthéon-Sorbonne

Thèse de doctorat de l'Université de Paris I

Discipline : Histoire (*spécialité histoire des sciences*)

présentée par
Alexandre Moatti

pour obtenir le grade de
DOCTEUR DE L'UNIVERSITÉ PARIS I – SORBONNE
(soutenance du lundi 3 octobre 2011)

GASPARD-GUSTAVE DE CORIOLIS (1792-1843) : UN MATHÉMATICIEN, THÉORICIEN DE LA MÉCANIQUE APPLIQUÉE

Directeur de thèse :

- Bruno Belhoste, professeur, Université Paris I Panthéon-Sorbonne

Composition du jury :

- Gérard Jorland, directeur d'études à l'EHESS (rapporteur & président du jury).
- Olivier Darrigol, REHSEIS Université Paris VII Denis Diderot, directeur de recherche au CNRS (rapporteur).
- Antoine Picon, ingénieur en chef des ponts et chaussées, chercheur au LATTS (École des ponts ParisTech), professeur à la Harvard School of Design.
- Norbert Verdier, docteur en histoire des sciences, chercheur au GHDSO Paris XI.



Coriolis, gravure d'un dessin de Zéphirin Belliard (dessiné d'après le tableau peint par Roller, ca. 1841). La pratique de dessin à partir d'un tableau peint est fréquente au XIX^e siècle – voir un autre exemple sur la « une » de L'Illustration du 7 octobre 1877, portrait de Le Verrier dessiné par Henri Meyer « d'après le seul portrait qui existe du défunt ».

Introduction.....	11
I – La formation d’un esprit scientifique (1792-1816)	21
Chapitre 1. L’enfance de Coriolis	25
Les parents de Coriolis.....	25
<i>Jean-Baptiste Elzéar de Coriolis, son père.....</i>	<i>25</i>
<i>Marie-Sophie de Maillet, sa mère</i>	<i>28</i>
L’installation de la famille à Nancy.....	29
Chapitre 2. Études et début de carrière	32
Après Polytechnique, l’école des Ponts et chaussées.....	32
Trois ans au service effectif des ponts et chaussées, 1813-1816	35
Candidature à Polytechnique	36
II – Enseignement des mathématiques et recherches sur les machines (1817 – 1829).....	41
Chapitre 3. Coriolis répétiteur d’analyse et mathématicien	46
Le début d’une carrière scientifique	46
Échanges mathématiques entre Coriolis et Cauchy	48
<i>La convergence des produits infinis de facteurs (1821).....</i>	<i>49</i>
<i>Le cercle osculateur (1826).....</i>	<i>50</i>
Les moments comme rencontre de lignes droites.....	51
<i>Un sujet présent tout au long de l’œuvre de Coriolis</i>	<i>51</i>
<i>Analyse comparée des articles de 1819 et 1835.....</i>	<i>55</i>
<i>Coriolis, quel apport sur les transversales ?.....</i>	<i>58</i>
Chapitre 4. La définition physique du travail.....	60
La notion de travail.....	60
<i>Le mot travail est proposé comme une définition physique.....</i>	<i>60</i>
<i>Le mémoire de 1826.....</i>	<i>61</i>
<i>La notion de travail dans le Calcul.....</i>	<i>65</i>
Les inspireurs de Coriolis.....	68
<i>L’« emploi accidentel » du mot travail chez Navier.....</i>	<i>69</i>
<i>Prony, quel « emploi accidentel » du mot travail ?</i>	<i>72</i>
<i>Carnot, inspireur de Coriolis ?.....</i>	<i>73</i>
Une théorie du travail	75
Le débat autour de l’unité de travail : du dynamode au Joule	78
<i>Le dynamode de Coriolis (1829).....</i>	<i>79</i>
<i>Brève postérité du dynamode.....</i>	<i>81</i>
<i>Coriolis et la notion actuelle de puissance.....</i>	<i>83</i>
Chapitre 5. Le « Calcul de l’effet des machines ».....	86
Force vive ou demi-force vive ?	87
<i>La force vive rattachée au concept primordial du travail.....</i>	<i>87</i>

<i>Une ébauche de la notion d'énergie ?</i>	89
<i>Coriolis sera-t-il suivi sur les « demi-forces vives » ?</i>	90
Le principe de la transmission du travail	90
<i>Un besoin de définitions</i>	91
<i>Les nouvelles définitions proposées par Coriolis : travail élémentaire, travail</i>	91
La notion de travail appliquée aux ressorts, aux machines à vapeur	93
<i>Travail des machines à vapeur</i>	93
<i>Autres domaines d'application de la notion de travail</i>	95
Dissipation du travail dans les chocs et les frottements	97
La modélisation de processus industriels	100
Le Traité de la mécanique des corps solides, 2 nd e édition du Calcul	102
<i>Le travail et le principe de transmission intégrés aux notions de base</i>	103
<i>Principes du mouvement relatif</i>	105
<i>Mécanique et physique moléculaire</i>	106
<i>Un testament dans la tradition de Lagrange ? de Carnot ?</i>	107
Chapitre 6. Coriolis et Poncelet, parallèles et divergences	109
Coriolis et Poncelet, parcours comparés.....	109
<i>Le parcours de Poncelet</i>	110
<i>Coriolis ingénieur-savant ?</i>	111
Coriolis et les roues de Poncelet.....	114
<i>La théorie des roues à aubes courbes par Poncelet</i>	114
<i>Calcul des vitesses pour la roue à ailettes et pour la roue à aubes courbes</i>	116
<i>Les objections de Coriolis à la théorie de la roue à aubes courbes</i>	119
Une querelle de Poncelet à Coriolis au sujet du <i>Calcul</i>	122
Poncelet, Coriolis et la notion de <i>Travail</i>	126
III – Les années fastes (1830 – 1838)	133
Chapitre 7. Développement de l'enseignement	137
La chaire de Cauchy à Polytechnique.....	137
<i>Vacance de la chaire</i>	137
<i>Candidature de Coriolis à la chaire d'analyse et de mécanique</i>	140
<i>Autres nominations à Polytechnique, 1830-1832</i>	142
L'enseignement à l'École centrale, de 1831 à 1832.....	144
<i>Coriolis à Centrale</i>	144
<i>La structure du cours de Coriolis à Centrale</i>	147
<i>Fin du cours de Coriolis à Centrale (1832)</i>	150
<i>Bélanger, fils spirituel de Coriolis ?</i>	152
Une activité épisodique de vulgarisation (<i>ca.</i> 1833)	154
<i>Membre de la société philomathique de Paris</i>	155
<i>Auteur dans le Dictionnaire de l'industrie commerciale</i>	157
Chapitre 8. Le Corps des ponts et chaussées	158
La commission du roulage	158
<i>Le contexte de la police du roulage au début des années 1830</i>	160
<i>Coriolis, un des premiers théoriciens français du roulage des voitures</i>	161

<i>L'article de 1832 de Coriolis</i>	162
<i>La machine de Coriolis pour mesurer l'état d'une chaussée pavée</i>	165
<i>Les controverses Dupuit-Morin sur le roulage (1838)</i>	166
La commission d'organisation de l'École des Ponts et chaussées	169
<i>La composition de la commission</i>	171
<i>Le rapport de Navier au sujet de la réforme de l'École des ponts</i>	172
<i>Le rapport de Coriolis à la Commission de réforme de l'École</i>	173
La contribution aux <i>Annales des Ponts</i> - notamment sur l'hydraulique.....	176
<i>L'article de Coriolis sur la « figure des remous »</i>	177
<i>La controverse avec Vauthier</i>	179
Chapitre 9. Le mouvement relatif	183
Genèse d'une idée.....	183
<i>L'article d'Ampère (1830), inspirateur de la réflexion de Coriolis ?</i>	184
<i>Une remarque de Gergonne sur la roue à aubes de Poncelet</i>	188
Le premier Mémoire, 1831	189
<i>Présentation par Poisson</i>	189
<i>Analyse du mémoire de Coriolis</i>	190
Le second Mémoire, 1835	195
<i>Différence avec le premier mémoire</i>	195
<i>Analyse du résultat et comparaison avec les notations modernes</i>	196
<i>La désignation de « forces centrifuges composées »</i>	197
Débats autour de la force de Coriolis – postérité.....	198
<i>Le pendule de Foucault (1851)</i>	199
<i>Vifs débats autour de l'approche de Coriolis : Joseph Bertrand en 1847</i>	203
<i>Le débat Bertrand-Babinet-Delaunay sur l'érosion des cours d'eau (1859)</i>	207
<i>La force de Coriolis en météorologie</i>	209
Chapitre 10. La Théorie du jeu de billard.....	211
Le joueur Mingaud, inventeur de la « queue à procédé ».....	213
Analyse de l'ouvrage	214
<i>Du mouvement d'une bille sur un plan horizontal, en ayant égard aux frottements</i>	214
<i>De l'effet du coup de queue horizontal</i>	217
<i>Du choc de deux billes et du carambolage</i>	220
<i>Chocs avec frottement entre billes</i>	222
<i>Du choc contre la bande, soit directement, soit après un autre choc</i>	223
<i>De l'effet du coup de queue incliné</i>	224
<i>Retour à l'introduction</i>	226
Quelle suite à cet ouvrage ?.....	227
Chapitre 11. 1836, année de la consécration.	230
Coriolis auteur de mathématiques dans le <i>JMPA</i>	230
<i>L'intégraphe de Coriolis</i>	231
<i>La chaînette d'égale résistance</i>	234
La succession de Navier à sa mort	237
<i>Coriolis académicien des sciences</i>	237
<i>La chaire de Navier à Polytechnique</i>	238

IV – La décrépitude (1838 – 1843).....	243
Chapitre 12. La fonction de Directeur des études.....	248
Fonctionnement courant du Conseil d’instruction.....	250
Sujets stratégiques pour l’École, 1838-1843	254
<i>Faut-il introduire la physique à l’examen d’entrée ?</i>	255
<i>Faut-il être bachelier ès-lettres pour être polytechnicien ?</i>	256
<i>Les élèves surnuméraires de 1841</i>	258
Chapitre 13. Nominations et successions de professeurs.....	260
Quelques professeurs vus par Coriolis.....	260
Les « affaires Comte » à l’École polytechnique	262
<i>Retour sur les relations entre Comte et Coriolis</i>	263
<i>La succession de Navier à Polytechnique, 1836</i>	263
<i>1840, première affaire Comte</i>	266
<i>Un été 1842</i>	269
<i>Le renouvellement d’Auguste Comte comme examinateur d’admission (1843)</i>	272
<i>Les suites de l’affaire de 1843 : Coriolis invoqué post-mortem</i>	277
<i>Comte et Coriolis, quelles relations ?</i>	280
Autres affaires de succession à Polytechnique	281
<i>La succession de Poisson comme examinateur de sortie à Polytechnique (1840)</i>	281
<i>La succession de Savary à Polytechnique (1841)</i>	284
<i>La succession du professeur de dessin, 1842</i>	286
Les successions à l’Académie.....	287
<i>Mars 1840, la succession de Poisson</i>	287
<i>Une élection à l’Académie en mars 1843</i>	289
<i>La succession de Lacroix (juillet 1843)</i>	290
<i>Où il est proposé à Coriolis la présidence de l’Académie</i>	292
Chapitre 14. Projets de réforme de l’École polytechnique.....	294
Un enseignement plus concret	294
Les propositions de Coriolis	298
Les soutiens apportés à Coriolis	301
<i>Les lettres reçues par Coriolis</i>	301
<i>Le livre de Guényveau en soutien de Coriolis</i>	303
<i>Une réaction négative, celle d’Auguste Comte</i>	306
Les suites données à ces propositions, de 1840 à 1851.	307
<i>La bataille Arago – Libri par presse interposée (1844)</i>	309
<i>Coriolis avait raison trop tôt – ou trop tard ?</i>	311
Chapitre 15. La fin de Coriolis.....	312
Ne plus faire de science.....	313
Les relations avec Joseph Liouville	314
Les relations avec le directeur général Gaudrée-Boilleau.	316
La retraite espérée.....	318
La mort de Coriolis	322

V – Coriolis, l’homme	325
Chapitre 16. Traits caractéristiques.....	329
Réserve naturelle et caractère introspectif	329
<i>Une tendance à l’exagération</i>	<i>329</i>
<i>Introspection et narcissisme.....</i>	<i>330</i>
<i>Droiture et désintéressement.....</i>	<i>331</i>
L’hommage à Guillebon, un autoportrait de Coriolis ?	332
Religion et politique.....	333
<i>Nombreuses références au catholicisme chez Coriolis.....</i>	<i>333</i>
<i>Des amitiés dans le milieu catholique.....</i>	<i>334</i>
Coriolis et sa santé	335
Chapitre 17. Vie personnelle et vie sociale.....	338
Les femmes et la vie sentimentale	338
<i>La femme idéale dans les écrits de 1826.....</i>	<i>338</i>
Des distractions récurrentes	340
Les amitiés de Coriolis	341
<i>Le couple Guillebon.....</i>	<i>342</i>
<i>Les partenaires d’échecs : Lyonnet, Caligny.....</i>	<i>342</i>
<i>Autres amitiés de Coriolis.....</i>	<i>343</i>
<i>Des amitiés simples, aussi.....</i>	<i>344</i>
Les réceptions qu’il donne à Polytechnique.....	345
Écrits personnels de Coriolis	346
<i>Correspondance éducative avec sa sœur Cécile.....</i>	<i>346</i>
<i>Sur les améliorations à introduire dans la musique religieuse</i>	<i>347</i>
<i>Quelques idées sur le duel.....</i>	<i>347</i>
Conclusion	351
Œuvres de Coriolis	361
Bibliographie de la thèse.....	371

Introduction

Dès le départ – et cela a été une motivation du choix du sujet de thèse –, il a été frappant de constater, à propos de Coriolis, le décalage entre d'une part la célébrité universelle de ce nom, liée à la « force de Coriolis »¹, et d'autre part le peu de connaissance que l'on a de la vie de ce savant, et d'une certaine manière de son œuvre². C'est pourquoi il nous a paru utile de consacrer une étude à ce personnage important et méconnu de « l'âge d'or » de la science française, 1794-1840 – l'on note d'ailleurs que cette période correspond presque exactement aux dates de la vie de Coriolis.

Il n'a pas été facile de travailler sur ce sujet, pour deux raisons. La première est que Coriolis a une personnalité très réservée et une vie assez courte, recluse, sédentaire, sans aspérités – il ne quitte pas la France pour raisons politiques comme Cauchy, il ne devient pas homme politique comme Arago, il n'a pas un caractère truculent ni ne fonde une revue comme Liouville. Nous viendrons néanmoins à tempérer au cours de la thèse cette présentation par trop schématique – en montrant une cohérence certaine dans la vie et l'œuvre de Coriolis.

La seconde difficulté réside dans la complexité des mathématiques utilisées par Coriolis dans ses articles et ouvrages. Nous n'avons pas pu, à cet égard, prendre de point de comparaison – nous ne nous sommes pas plongés, en sus de celle de Coriolis, dans l'œuvre mathématique de ses contemporains, mais il nous a semblé que la lecture et la compréhension de ses œuvres était particulièrement difficile.

Une autre caractéristique de son œuvre rend l'approche de sa carrière malaisée : la quasi-totalité de son œuvre est publiée entre 1829 et 1836. C'est-à-dire qu'il ne publie rien de significatif avant l'âge de trente-sept ans, et que son œuvre s'étend sur environ huit années. Ceci ne signifie pas que la période suivante, entre 1837 et sa mort en 1843, soit inintéressante : simplement Coriolis, devenu directeur des études à Polytechnique fin 1838, n'a quasiment plus d'œuvre scientifique à partir de cette date (en fait à partir de 1836) – il se le reproche d'ailleurs amèrement dans sa correspondance.

Cette dernière période est toutefois très documentée, puisqu'elle correspond à ce qui nous reste de ses lettres à sa cousine Benoist. Ce fut un point positif dans notre recherche : même si l'on doit décrypter ce que dit Coriolis dans ces lettres, et ne pas surestimer leur importance par rapport à la réalité effective (en effet Coriolis, dans sa correspondance privée, a une propension à se plaindre de manière lancinante sur de nombreux sujets, tant personnels que professionnels), elles apportent un éclairage bienvenu sur cette période de sa vie, ainsi que sur ses relations avec ses collègues.



1. Donnons un exemple parmi de nombreux autres. Dans un « best-seller », *Portrait du Gulf Stream* (Seuil 2005), le romancier Erik Orsenna consacre un chapitre à Coriolis et le conclut ainsi : « Et rien n'indique que notre Gaspard Gustave ait jamais mis le pied sur un bateau ni qu'il se soit jamais intéressé à la mer. Le fait est là : pour les siècles des siècles, Coriolis est celui qui a expliqué l'influence de la rotation de la Terre sur le parcours des vents et des courants ».

2. Comme l'indique Grattan-Guinness ([1984]): "Little work (as it were) has been done on Coriolis". Il insiste dans ([1990]): "Surprisingly little has been written on Coriolis".

Malgré ces difficultés, il nous a semblé dégager des points déterminants, notamment dans l'œuvre scientifique de Coriolis. D'importants résultats sont à mettre à son actif. Il est le premier à donner un contenu physique à la notion de travail telle qu'utilisée avant lui dans le langage commun : contrairement à ce qui est souvent indiqué, ce n'est pas en 1829 dans son ouvrage du *Calcul*, mais, avant, en 1826, dans son premier mémoire à l'Académie, que cette notion est exposée, de manière plus synthétique. Ses travaux sur la composition des mouvements l'amènent à définir en 1831 la notion de force d'entraînement, et en 1835 celle de force centrifuge composée – la future force de Coriolis. Toujours en 1835 (*annus mirabilis*), il est le premier à faire la théorie du jeu de billard – jeu qui venait d'être totalement renouvelé dans les années 1820 par l'invention de la queue à procédé, rendant possible les effets « rétro ». En 1836, il apporte un élément important à l'hydraulique des remous, avec un coefficient qui reste désigné comme « coefficient de Coriolis ».

Son ouvrage de 1829, *Calcul de l'effet des machines*, est une somme majeure qui ne peut être comparée à aucun autre traité. C'est un ouvrage austère, sans figures, qui constituera le socle de sa carrière scientifique, et qu'il rééditera en le complétant à la fin de sa vie (cette seconde édition est posthume – elle date de 1844, et porte un nom différent, *Traité de la mécanique des corps solides*). Il nous a semblé y voir l'ambition de constituer une véritable « théorie du travail », renforçant l'idée d'un Coriolis théoricien avant tout. De fait, « l'effet des machines » est à comprendre comme la quantité de travail utile à la tâche à laquelle la machine est affectée.

Ce faisant, nous avons été amenés à réfléchir à la pertinence de l'appartenance de Coriolis à la catégorie des « ingénieurs-savants ». Cette typologie est fort pertinente, mais elle est évidemment mise à mal par une étude approfondie focalisée sur un savant donné. Coriolis ne nous paraît pas être *ingénieur-savant* au sens du savant qui nourrit sa théorie par sa pratique d'ingénieur, et vice-versa : nous considérons en effet que sa pratique d'ingénieur reste limitée, et en outre ce n'est pas une pratique qui nourrit sa théorie – le peu que nous avons pu percevoir de ses fonctions d'ingénieur des Ponts reste éloigné de ses domaines d'intérêt scientifique. Mais il n'est pas non plus à ranger du côté des mathématiciens-géomètres, œuvrant uniquement dans la mécanique rationnelle ou l'analyse, auxquels ont été opposés les « ingénieurs-savants ». Nous le situons à la frontière entre ces deux catégories, et proposons de le définir comme « mathématicien – théoricien de la mécanique appliquée ».



D'abord, les mathématiques sont en effet très prégnantes chez Coriolis – cet aspect du personnage nous a paru négligé. Son premier écrit (non signé) est un problème géométrique de « transversales » en 1819 dans les *Annales de Gergonne*. L'ensemble de ses écrits – ses articles comme son ouvrage – offre un caractère mathématique très prononcé. De 1817 à 1838, il est répétiteur du cours d'analyse à l'École polytechnique, professé par

Cauchy, Navier puis Duhamel ; il professera un cours d'analyse différentielle (dont on conserve trace) à l'École centrale en 1830-1831 et à l'École polytechnique la même année. Cauchy rend hommage à plusieurs reprises dans ses travaux aux idées mathématiques que lui a données son répétiteur et ami Coriolis ; c'est ce dernier, fraîchement nommé à l'Académie, qu'il choisit pour faire parvenir en 1837 à cette assemblée divers travaux écrits depuis son exil turinois. Encore en 1836, dernière année significative de sa production scientifique, il signe trois articles de mathématiques dans le nouveau *Journal de Liouville* : l'un donnant une méthode permettant de construire un intégraphe, l'autre à nouveau sur un moyen de résolution d'équations, le troisième sur la chaînette d'égalité de résistance. Par ailleurs, comme de nombreux polytechniciens – il cite à ce propos son ami et camarade du corps des Ponts Alexandre de Guillebon, Coriolis s'adonne aux mathématiques, le soir, comme distraction, sans doute pendant une bonne partie de sa vie.

En sus de «mathématicien», la seconde qualification que nous proposons de lui appliquer, et qui lui est plus spécifique, est celle de «théoricien de la mécanique appliquée». Un certain nombre de notions de la science des machines naissante, comme l'hydraulique des fluides, la résistance des matériaux, la poussée des terres et des voûtes ou l'effet des machines doit faire partie pour lui du socle de formation théorique d'un ingénieur polytechnicien. Mais son souci ne concerne pas seulement l'enseignement : c'est aussi en tant que scientifique qu'il veut rattacher ces domaines à la mécanique – comme Lagrange souhaitait «étendre le domaine de l'analyse», Coriolis prétend «étendre le domaine de la mécanique rationnelle». Il n'opère lui-même que dans deux de ces domaines (principalement l'effet des machines, et accessoirement l'hydraulique des fluides), mais il a conscience de l'unité qu'ils forment, à savoir la mécanique appliquée, qu'il aborde en théoricien. Les approches qu'ont pu avoir Navier ou Lamé dans les autres domaines de la mécanique appliquée nous paraissent assez similaires. Ce souci de Coriolis est particulièrement net quand il souhaite, en 1840, réformer l'enseignement à Polytechnique en y incluant ces notions – qui sont enseignées dans chaque École d'application alors qu'elles pourraient faire l'objet d'un enseignement commun et unique à Polytechnique.

La façon dont Coriolis travaille nous paraît corroborer cette définition de «mathématicien – théoricien de la mécanique appliquée». Il travaille seul, comme un mathématicien. À la différence d'un ingénieur-savant comme Poncelet, il n'a pas d'échanges avec des industriels ou des utilisateurs des machines ; ces contacts qu'a Poncelet à propos de sa roue à aubes, par exemple, l'aident à affiner sa théorie. Rien de tel chez Coriolis, dont le domaine est à situer plus à l'amont que celui de Poncelet. Les deux hommes sont assez souvent comparés – Poncelet en 1829 fait une querelle de paternité à Coriolis sur un point du *Calcul* –, alors qu'à partir de 1830 leurs parcours divergent assez nettement. La comparaison est à mon sens plus pertinente avec Navier – savant qui a malheureusement été assez peu étudié : Coriolis et Navier sont tous deux ingénieurs des Ponts, tous deux théoriciens et peu versés dans la pratique, laissant leur nom à des

formules universellement connues (la *force de Coriolis* pour l'un, les *équations de Navier-Stokes* pour l'autre). D'ailleurs, la similitude de leurs compétences et de leur approche scientifique fait que la carrière de Coriolis sera ralentie par celle de Navier, de sept ans son aîné – elle prendra son essor à la mort de ce dernier, en 1836.

Coriolis travaille certes seul, mais ceci n'exclut pas qu'il fasse des expériences : il suspend par exemple des boules de billard pour vérifier certains points et obtenir de manière expérimentale des coefficients dans son étude de la théorie des chocs ; ou bien il observe les ondes sur les mares proches des routes où passent les diligences, afin d'évaluer la dissipation du travail dans le sol. Mais il réalise ces expériences en solitaire, de manière non méthodique, sans rapport avec les expériences en grandeur réelle faites par Poncelet avec des industriels, par exemple au sujet de sa roue à aubes courbes.

C'est pourquoi nous pensons que Coriolis reste d'abord et avant tout un théoricien – son appel permanent à des mathématiques complexes lui sera d'ailleurs reproché, à mots à peine couverts, par ses contemporains, comme Poncelet ou Dupuit.



La période de grande production scientifique de Coriolis s'étend, comme nous l'avons indiqué, de 1829 à 1836. La décalant un peu, nous avons qualifié cette période 1830-1838 comme celle des « années fastes ». Grâce à son traité de mécanique de 1829, il est reconnu dans le monde savant, mais aussi plus largement. Il est élu membre de la Société philomathique de Paris et y présente divers sujets de vulgarisation (à propos du bruit du tonnerre notamment) ; il participe à la rédaction d'un Dictionnaire des techniques.

Après avoir été treize ans répétiteur, il assure l'intérim du cours d'analyse et de machines de Cauchy à Polytechnique en 1830-1831 : il ne sera toutefois pas titularisé, c'est Navier, déjà académicien, et son aîné, qui piaffait pour avoir ce poste – Coriolis restera répétiteur de ce cours. Il devient toutefois professeur à la nouvelle École centrale, à partir de la seconde année scolaire en 1830-1831 ; il ne professe qu'une année, son enseignement est finalement divisé entre un cours d'analyse en 1^{ère} année confié à Liouville, et un cours de mécanique pratique en 2^{ème} année confié à Colladon. Malgré cette brièveté, il laisse le souvenir d'avoir structuré un enseignement de mécanique à Centrale – ce souvenir sera perpétué par son camarade de promotion des Ponts Jean-Baptiste Bélanger, qui sera longtemps directeur des études à Centrale, et qui sera l'éditeur du *Traité* posthume de 1844, réédition revue et augmentée du *Calcul* de 1829. Il devient aussi professeur, cette fois-ci de manière plus permanente, à l'École des ponts et chaussées, adjoint au titulaire Navier en 1830, puis titulaire de la mort de Navier en 1836 jusqu'en 1838 : lorsqu'il est nommé directeur des études à Polytechnique, il abandonne toute fonction d'enseignement, celle de répétiteur à Polytechnique comme celle de professeur aux Ponts et Chaussées.

Il connaît aussi, pendant cette période, une reconnaissance importante au sein de son Corps. Le Conseil général fait appel, pour plusieurs missions importantes, à l'enseignant de l'École qu'il est devenu. Il est en 1832 l'un des membres de la commission du roulage, chargée de proposer au ministre une législation en la matière. Il est aussi membre de la commission de réforme de l'École des ponts, voulue par le nouveau directeur général Bérard. Enfin, il est un élément actif dans la commission des *Annales des ponts et chaussées*, et y fera plusieurs contributions importantes de 1832 à 1836.

La consécration vient en décembre 1836, date à laquelle il est élu à l'Académie des sciences, à l'âge de quarante-quatre ans, après une tentative en 1834 où il avait échoué contre Poncelet, de quatre ans son aîné.



La période qui s'ouvre à partir de 1838 jusqu'à sa mort en 1843 est, à l'inverse de la précédente, une période peu heureuse pour Coriolis. Il est nommé directeur des études à l'École polytechnique, à la mort de Pierre-Louis Dulong (1785-1838), pour la rentrée scolaire de 1838. À partir de ces dates, son œuvre scientifique se ralentit considérablement – elle s'était ralentie de fait à partir de 1836. Il abandonne aussi ses fonctions d'enseignement, et n'a plus qu'un contact de nature hiérarchique avec les élèves, comme directeur des études. Il est possible que le contact de professeur à élève lui ait manqué.

La rareté des apports scientifiques majeurs et la sécheresse des comptes-rendus des Conseils d'instruction et de perfectionnement à Polytechnique auraient pu nous laisser sans sources significatives quant à cette période de la vie de Coriolis. Mais il se trouve qu'elle est éclairée par sa correspondance avec sa cousine qui couvre la même période. Cette correspondance est riche d'enseignements – sur la façon de travailler de Coriolis, sur un certain nombre de savants de l'époque. Elle a néanmoins un inconvénient : il est difficile de faire la part des choses entre la façon dont Coriolis se plaint de certains événements et la réalité elle-même (voire même la façon effective dont il vit ces événements, peut-être moins douloureusement qu'il ne le laisse supposer dans ses lettres). C'est particulièrement net sur ses problèmes de santé, son souhait récurrent de prendre sa retraite, etc. ; c'est pourquoi il faut sans doute faire la part des choses, y compris dans la description qu'il fait de son environnement professionnel.

Il est néanmoins clair que cette période est néfaste pour Coriolis – il sera même invoqué, par lui-même comme un pressentiment, mais aussi par des tiers après sa mort, que cette fonction à Polytechnique causera sa mort. Coriolis n'est pas fait pour ce poste de responsabilité de directeur des études. Auparavant, il travaillait seul, enseignait et faisait de la science – ces trois composantes importantes pour lui disparaissent à partir de 1838. Sa personnalité est à l'opposé des conflits et des intrigues politiques qui émaillent le Conseil d'instruction et la vie de l'École. Il sera ballotté et contourné dans les différentes affaires de succession de professeurs qui agitent l'École, où le « clan Arago », Liouville en tête, est à la manœuvre.

Dès 1839, moins d'un an après son arrivée, il présente un projet de réforme de l'enseignement. C'est un projet ambitieux qui porte, à tiroirs, sur le programme d'admission, le programme d'enseignement à Polytechnique et celui des écoles d'application. Il s'agit de renforcer le programme d'admission avec des notions déjà courantes et utilisées, comme le calcul infinitésimal. Coriolis propose, en conséquence, de dégager du temps d'enseignement à Polytechnique et d'occuper ce temps à de nouvelles notions théoriques de mécanique appliquée utiles à toutes les écoles d'application et donc bienvenues dans l'enseignement polytechnicien : résistance des matériaux, poussée des terres, poussée des voûtes, hydraulique, effet des machines. En conséquence, il propose de dégager du temps dans les écoles d'application pour donner un enseignement moins théorique et plus spécifique au métier relatif à chaque École, par exemple la législation routière à l'École des ponts – ces nouveaux enseignements en École d'application étant plutôt administratifs que scientifiques ou techniques.

Malgré le soutien de nombreux savants, dont certains professeurs en École d'application (Morin à Metz, Guényveau aux Mines, Piobert), cette idée de réforme se heurte à l'emprise grandissante de Liouville, et avec lui celle des mathématiques et de l'analyse à Polytechnique – elle se heurte aussi à Arago, plutôt partisan d'un *statu quo*, ne comprenant sans doute pas l'intérêt de ces nouvelles disciplines prônées par Coriolis, se ralliant en tout état de cause à l'avis de Liouville qui était son fidèle représentant Rue Descartes : peu importe le bien-fondé de cette réforme et son caractère évidemment nécessaire (pour la partie du programme d'admission qui n'aurait dû susciter aucune discussion), elle dérangeait des intérêts et des stratégies en place. L'échec de cette réforme, que Coriolis avait habilement placée sous l'égide de Monge (mais ce n'était absolument pas un retour en arrière puisque ce sont justement des sciences nouvelles, celles de la mécanique appliquée, que Coriolis prenait en considération), c'est aussi la deuxième mort de l'École de Monge, et le glissement vers un enseignement beaucoup plus théorique.



Enfin, cette étude a permis de mieux cerner la personnalité et la vie de Coriolis, même si leurs principaux aspects en étaient à peu près connus. Il est issu d'une famille de haute noblesse provençale. Son père Elzéar était un cadet de famille, avait pris le service des armes – on peut presque le qualifier d'aventurier³, il fait la campagne d'Amérique avec Rochambeau, et se marie à trente-sept ans. La Révolution, dans sa deuxième partie après 1791, est un véritable traumatisme pour la famille : Elzéar est capitaine de la garde du Roi en 1792 quand cette garde est destituée. Il perd son emploi – ce qui ne l'empêche pas, comme de nombreux autres, de participer en armes à la fameuse journée du 10 août 1792 aux Tuileries.

La famille, privée de ressources doit se rabattre sur Nancy, qui était la ville de Marie-Sophie de Maillet, mère de Coriolis. Le père vivotera en étant industriel dans les tentures,

3. Un article non scientifique va même jusqu'à le qualifier de « baroudeur ».

et ne retrouvera un poste dans les armées napoléoniennes qu'en 1807. Ce genre de bouleversement dans une famille marque – Coriolis voudra, peut-être, s'éloigner de sa famille et choisir une voie tout à fait différente de celle de son père. De fait, il n'était pas si courant qu'un jeune de haute noblesse entrât à Polytechnique à ce moment-là.

Il gardera sa vie durant, de ses origines aristocratiques, une réserve et, on l'imagine, une certaine distinction. Il est profondément religieux, catholique pratiquant. Il est conservateur – sans doute légitimiste, par sa naissance (plusieurs officiers lointains parents de Coriolis démissionnent en 1830) ; il indiquera néanmoins par la suite avoir accepté les Orléans comme famille royale. Mais à aucun moment, à l'inverse d'un Cauchy pour le parti légitimiste ou d'un Arago pour le parti libéral, il ne mêlera ses opinions politiques et sa carrière : l'engagement catholique et conservateur est avant tout moral et personnel chez Coriolis.

De même, caractères importants dans son travail, il est «droit, candide et sincère», pour reprendre les termes d'hommage de Jacques Binet lors de son enterrement. Coriolis n'est pas retors et fait confiance *a priori* à ses interlocuteurs. Il n'entre pas dans des jeux d'intrigue. Droit au point d'être rigide, candide au point d'être naïf, difficile de tracer la limite : mais ces qualités sont très présentes chez lui.

Il ne se mariera pas, on ne lui connaît pas de relation féminine. Il n'est pas aisé de comprendre la nature de l'attachement qu'il porte à sa cousine Cécile Benoist⁴, de dix-sept ans plus âgée que lui, mariée, et avec laquelle il échange une longue correspondance sa vie durant (on le suppose – puisque seules les dernières années de cette correspondance nous sont parvenues).

Il a une vie sociale et des amis, les plus proches étant le couple Guillebon, le mari appartenant à sa promotion de Polytechnique et étant de haute noblesse comme lui. Mais il a des amitiés dans d'autres milieux : il n'a pas de préjugé relatif à la qualité de la naissance dans ses relations – il aidera son valet à devenir conducteur de travaux aux Ponts et chaussées. Coriolis paraît être un homme simple qui ne fréquente pas le faubourg Saint-Germain. Directeur des études à Polytechnique, il étendra son réseau d'amitiés : la famille Fourcy, par exemple ; il reçoit aussi à intervalles réguliers les élèves, qui viennent faire de la musique en soirée chez lui. Il essaie d'avoir au moins une fois chez lui chacun des élèves – fonction oblige, mais il semble avoir du plaisir à ces soirées.

Il a des distractions de scientifique : il joue aux échecs, fait des mathématiques le soir, pratique la musique (le violon) – mais il va aussi au théâtre, il aime la peinture, certes peu innovante à cette époque. Il joue au billard, sans doute, en même temps qu'il étudie mathématiquement les trajectoires des boules et observe les meilleurs joueurs.

4. Elle était la fille de Claude Blanchard (1742-1803) et de Thérèse de Coriolis, sœur plus âgée du père de Coriolis. Cécile Blanchard, qui épousera Germain Laurent Benoist (1772-1845), est née en 1775 au château d'Echarbot (près d'Angers) et morte à La Flèche en 1858 (source [archives -JDC] & lettre du 28 juillet 1894, non signée, adressée à M. Georget La Chesnais, petit-fils de Mme Benoist, AAS, dossier Coriolis). Fait assez rare dans ces milieux, Thérèse de Coriolis et Claude Blanchard étaient divorcés sans doute à partir de 1785 (notes [archives-JDC]). Cécile Benoist, pratiquement de l'âge de sa mère, a pu être proche de Coriolis au moment où celui-ci faisait ses études à Paris, de 1808 à 1812.

On relèvera une ombre dans ce tableau montrant un Coriolis plutôt sympathique malgré sa réserve : sa tendance à l'introspection est souvent maladive et négative. Tout d'abord, il manifeste un certain narcissisme, par exemple quand il parle abondamment, sans retenue, du portrait de lui peint par Roller. Mais ceci va plus loin. Il a une tendance maladive à s'apitoyer sur son sort. Il se plaint de sa santé en permanence, dès 1812 : même sa mère et sa sœur ont cessé d'écouter ces plaintes, nous confie-t-il. Coriolis a un besoin d'attention – les lettres qu'il écrit à sa cousine, sur laquelle il a jeté son dévolu, sont les seules où il peut se laisser aller – sa cousine le lit et lui répond, lui prête attention.

On peut néanmoins trouver un point d'intersection entre vie personnelle et ie professionnelle : Coriolis aime écrire. Les ouvrages ou articles scientifiques font partie de ce plaisir de l'écriture. Mais, au moins dans une période d'âge jeune, jusqu'en 1828 (à l'âge de trente-six ans), avant l'envol de sa carrière, on a pu garder des écrits à caractère non scientifique de Coriolis, qu'il ne destinait sans doute pas à la publication : écrits personnels sur son caractère, sur la femme idéale, sur la musique religieuse, une « utopie » (selon ses propres termes) sur le duel. On peut les inscrire à la fois dans la tendance personnelle à l'introspection de Coriolis, et dans le contexte général de retour aux valeurs morales imprégnant la période de la Restauration. Ce n'est en tout cas pas la moindre des surprises au cours du présent travail d'avoir pu appréhender de tels écrits, auxquels on ne s'attendait guère.

I – La formation d'un esprit scientifique (1792-1816)

Cette première période de la vie de Coriolis, de sa naissance en 1792 à fin 1816, marque l'émergence de sa vocation scientifique : elle voit son admission comme élève à Polytechnique en 1808 et sa candidature au poste de répétiteur à Polytechnique en 1816 (alors qu'il est ingénieur au service ordinaire des Ponts).

Coriolis naît dans une famille de haute noblesse d'origine provençale. Son père est issu d'une branche cadette de cette famille, les barons de Limaye ; il prend le service des armes, participe à la campagne d'Amérique et se marie tardivement, à trente-sept ans. Coriolis prendra une orientation tout à fait différente de celle de son père ou de nombreux jeunes hommes nés Coriolis : il ne sera pas officier comme c'était la tradition familiale mais sera polytechnicien.

Car c'est une autre facette de la méritocratie polytechnicienne naissante : elle permet à des jeunes de milieu modeste d'accéder à des études scientifiques et des emplois de haut niveau, mais elle le permet aussi à des jeunes gens *biens nés*, qui avaient ainsi la possibilité de quitter leur milieu d'origine et de s'adonner à l'étude des sciences. La famille du père de Coriolis n'est pas une famille modeste : mais Coriolis est un exemple de cette attraction qu'exerce cette nouvelle École polytechnique sur des jeunes gens de tous milieux, notamment dans les milieux aristocratiques après la tourmente révolutionnaire.



Sorti de Polytechnique aux Ponts et chaussées, Coriolis est d'abord affecté à Toulouse et à Albi en 1811. En 1812, en attente d'affectation, il travaille avec Prony à Paris sur l'assèchement des Marais pontins – Napoléon avait chargé Prony, directeur de l'École des Ponts depuis 1798, de ce projet dans la province du Latium sous occupation française. C'est un peu le même esprit scientifique que celui de la campagne d'Égypte – l'exploration scientifique accompagnant les conquêtes militaires – qui était à l'œuvre dans ce projet. Malheureusement, celui-ci durait depuis sept ans déjà et n'aboutira pas, il se terminera d'ailleurs en 1812. On peut imaginer que ce ne devait guère être exaltant pour le jeune Coriolis de travailler sur un tel projet, déjà sur sa fin – on n'était plus dans l'enthousiasme des débuts. Il n'est pas non plus sûr que le travail sous la direction d'un Prony, mandarin alors âgé de cinquante-sept ans, fût spécialement exaltant sur le plan scientifique et intellectuel pour le jeune Coriolis âgé de vingt ans – il montrera quelques années plus tard une certaine ironie envers la manière qu'avait Prony d'examiner les élèves à Polytechnique.

Le projet d'assèchement des Marais pontins tombant plus ou moins en capilotade mi-1812⁵, Coriolis se voit alors affecté à Jemmapes (ville de Mons, Belgique) – les nouvelles provinces annexées à l'Empire se trouvant être autant de nouvelles affectations pour le service de l'État. Mais, juste avant de rejoindre son affectation, Coriolis tombe malade fin septembre 1812. On peut penser que, si le travail sur les Marais pontins n'était

5. Prony publiera à deux reprises, en 1818 et 1822, le résultat de ses études.

guère exaltant, au moins avait-il un minimum de caractère scientifique : la perspective de rejoindre un service d'ingénieur des Ponts, sans rapport direct avec la science, n'était pas du goût de Coriolis. Par ailleurs, son père était mort l'année précédente (en février 1811) – et la famille Coriolis à Nancy devait se trouver psychologiquement démunie. Doit-on pour autant en induire un Coriolis hypocondriaque, dont la maladie, à vingt ans, arrive à point ? Sans doute pas, mais l'argument mérite d'être soulevé. Toujours est-il que Coriolis part en convalescence dans sa famille à Nancy.

Ce n'est qu'un an plus tard, en octobre 1813, qu'il reprend le service des Ponts – ou plutôt prend son premier poste effectif d'ingénieur ordinaire. Il va alors passer trois années au service des Ponts jusqu'en octobre 1816. D'abord affecté à Lille en 1813, il demande à obtenir une affectation plus proche de sa famille à Nancy. Il ne peut obtenir l'affectation à Nancy, mais obtient un poste dans le département voisin des Vosges, à Épinal.



Dès la Seconde Restauration cependant, lorsque l'École polytechnique sera profondément modifiée, des postes s'ouvrent et Coriolis pose sa candidature pour l'un d'entre eux, celui de répétiteur du cours de Cauchy.

À ce moment-là, Coriolis n'invoque plus la nécessité d'être près de sa famille, il quitte Épinal pour Paris. Ceci nous renforce dans l'idée que le service des Ponts lui plaisait peu : tant qu'à accomplir ce service, autant être près de sa famille à Nancy. Mais la vocation scientifique naissante de Coriolis l'emporte : l'idée de retourner à Polytechnique, dans le corps enseignant, l'enthousiasme – la nécessité d'être près de sa famille disparaît alors, comme par enchantement.

Cette vocation scientifique n'est alors peut-être pas encore totalement consciente chez Coriolis : écrivant au directeur général des Ponts pour demander son détachement à Polytechnique, il le demande pour un an en envisageant de retourner au service des Ponts. Mais elle s'affirme peu à peu, d'ailleurs confirmée par un de ses responsables hiérarchiques, l'ingénieur en chef Mangin, qui évoque dans une lettre d'appréciation de Coriolis la nécessité d'une affectation où il «soit à même d'appliquer ses connaissances théoriques».

Attraction par les études scientifiques d'un jeune garçon qui n'y était guère prédestiné par son milieu d'origine, amour des mathématiques pendant les études à Polytechnique et aux Ponts, goût peu prononcé pour le service ordinaire des Ponts, développement de connaissances théoriques dès sa jeunesse, les éléments sont là pour caractériser cette période comme marquant la naissance de la vocation scientifique de Coriolis, consacrée par son entrée comme répétiteur à Polytechnique début 1817.

Chapitre 1. L'enfance de Coriolis

Gaspard-Gustave de Coriolis naît le 21 mai 1792 à Paris. Il est l'aîné d'une famille de haute noblesse provençale, mentionnée dès 1487 au Parlement d'Aix, à l'époque capitale de la Provence. Son père Elzéar (1754-1811) est un cadet de famille, et a pris le service des armes : il est, lors de la naissance de Coriolis, capitaine dans la garde du Roi Louis XVI depuis quelques mois. Après la journée révolutionnaire du 10 août 1792, il doit quitter l'Armée et se réfugie avec sa famille à Nancy.



Blason de la famille Coriolis : D'azur, à deux chevrons d'or, accompagnés en pointe d'une rose d'argent. Jean I^{er} de Coriolis est mentionné à Aix-en-Provence dès 1487. La famille est signalée à Aix vers 1450, originaire de Marcoux (Alpes de Haute-Provence)

LES PARENTS DE CORIOLIS

Jean-Baptiste Elzéar de Coriolis, son père

Elzéar de Coriolis (né le 17 mai 1754 à Aix -1811) est le fils de Joseph-Édouard de Coriolis (1702-1768), à son décès conseiller au parlement d'Aix, et de Marie-Cécile de Blancard. Il est le dernier des quatre frères de la famille : l'aîné devient ecclésiastique, le second est président de la Cour des comptes du parlement d'Aix, et les deux derniers, dont Elzéar, seront au service des armes. Il participe à la campagne d'Amérique, et on peut dire qu'il a beaucoup « bourlingué » outre-mer, comme son frère Gabriel. Célibataire, il fait constamment des dettes, et est en correspondance avec sa famille pour demander de l'argent. Il trouve un parti quelque peu fortuné et se marie tardivement, le jour de ses trente-sept ans⁶.

6. Sur les dettes faites par Jean-Baptiste Elzéar, voir les lettres à son oncle maternel Mr de Moissac (25 avril 1779) et à son frère Édouard-Laurent (18 juin 1779) ; sur la situation financière de sa future décrite à sa mère Marie-Cécile pour qu'elle autorise le mariage, voir lettre du 23 mars 1791, modèle du genre (toutes lettres *in* [Archives – JDC]).

Elzéar de Coriolis retrace lui-même sa carrière en marge d'une lettre autographe de 1808⁷, demandant la gratuité des études pour son fils reçu à Polytechnique :

- Né à Aix le 17 mai 1754
- Sous-lieutenant au régiment du Bourbonnais en 1773.
- Campagnes de Corse en 1773, 1774, 1775.
- Campagne d'Amérique avec Rochambeau en 1780, 1781, 1782, 1783.
- Naufrage du vaisseau du Roi *La Bourgogne* sur les côtes de Coro⁸ le 3 février 1783.
- Capitaine au régiment du Bourbonnais en 1784, chargé de l'instruction du régiment pendant 9 ans.
- Mariage le 17 mai 1791 à Vandelainville (Meurthe & Moselle)
- Commissaire des guerres en 1791.
- Nommé peu de jours après Capitaine dans la garde du Roi.
- Nommé par Sa Majesté l'Empereur Capitaine commandant de la compagnie de réserve du département de la Meurthe le 10 avril 1806.

Elzéar de Coriolis ne parle pas, dans ces états de service rédigés en 1808 sous l'Empire, des quatorze années d'interruption de ses services militaires, à partir de 1792. Il avait été licencié avec toute la garde du Roi fin mai 1792, quelques jours après la naissance de son fils aîné Gaspard-Gustave. Comme un grand nombre d'officiers fidèles, il reviendra néanmoins combattre pour le Roi à côté des Suisses aux Tuileries lors de la journée du 10 août 1792. Après ce fait d'armes – *baroud* d'honneur – Elzéar et sa famille doivent cette fois-ci quitter Paris, et s'installent à Nancy, ville de la mère de Coriolis.



L'analyse de certains épisodes de la vie des frères et sœurs du père de Coriolis est intéressante. Elle permet de constater l'importance des clivages que la Révolution avait introduits dans les familles aristocratiques.

Les dissensions commencent avant la Révolution. Les deux frères aînés – l'aîné Honoré-Gaspard (1735-1824), ecclésiastique, et le second Édouard-Laurent (1745-1806), conseiller au Parlement de Provence – s'en prennent au troisième frère, Gabriel de Coriolis (1750-1832)⁹. Après avoir été exilé dans les Colonies par sa mère, qui lui reprochait d'avoir démissionné de l'armée en 1769, il devient lieutenant dans l'artillerie de Saint-Domingue en 1770. Or, «l'idée d'avoir une grande fortune et de mener grande vie

7. [AEP], dossier Coriolis.

8. Ancien port sur la côte vénézuélienne.

9. Notes [GC-AAS]. Les derniers porteurs masculins du nom Coriolis descendent de Gabriel de Coriolis. Ils sont au nombre de 4 (source Régis Vallette, *Anthologie de la noblesse française contemporaine*, Robert Laffont, 1977), Jean de Coriolis (né le 5 juin 1929) et ses trois fils le contre-amiral Charles-Édouard, Alban-Gabriel et Gontran. Cette branche a relevé vers 1885 le titre de baron de Limaye (Lettre patente de 1646), qu'elle porte encore de nos jours. Nous avons pu rencontrer à plusieurs reprises M. Jean de Coriolis, avec qui nous nous sommes entretenus de sa famille, et qui nous a fait copie de correspondances et notes familiales [archives –JDC]. Les autres descendants de la fratrie du père de Coriolis sont : 1°/ parmi les descendants de Thérèse de Coriolis, la famille Orioux de Laporte (Mme Gabrielle de Préville) ; la branche Georget La Chesnais est éteinte 2°/ parmi les descendants d'Édouard-Laurent, la famille turinoise Villonova.

domina toujours Gabriel¹⁰ » : il abandonne sa charge pour créer un service de cabotage entre Saint-Domingue et la Jamaïque, encouragé par Blanchard de la Varrie, oncle de son beau-frère Blanchard, qui siégeait au Conseil souverain de Saint-Domingue. Apprenant qu'un membre de leur famille se livre à pareille activité commerciale ses deux frères aînés obtiennent en 1777 une lettre de petit cachet contre lui, et veulent le faire transférer à Marseille, pour être jugé à Aix. Blanchard de la Varrie, à Saint-Domingue, ne peut rapporter la lettre de cachet, mais obtient que Gabriel de Coriolis soit transféré à Nantes et non à Marseille. À Nantes, où il débarque en février 1778, était en poste son beau-frère Claude Blanchard (1742-1803), mari de sa sœur Thérèse de Coriolis, commissaire ordonnateur provincial des guerres : celui-ci obtient le 1^{er} avril 1778 l'élargissement de son beau-frère, se dressant donc contre la volonté des frères aînés Coriolis... Gabriel de Coriolis va voir le ministre de la Marine de Louis XVI, Antoine de Sartine (1729-1801, ministre de la Marine de 1774 à 1780), celui-là même qui avait émis la lettre de cachet, et obtient de lui le commandement d'un garde-côte du Roi à Saint-Domingue, *Le Héros* ! Lorsque la guerre outre-mer avec l'Angleterre éclate, Gabriel de Coriolis s'illustre par la prise d'un vaisseau anglais plus important le 21 mars 1781 ; il est fait chevalier de Saint-Louis en 1786, à trente-six ans. De retour en France en 1792, il présente une requête au Roi pour faire passer sur sa tête et celle de son frère Jean-Baptiste Elzéar (surnommé « Baptistain » dans la famille) une pension laissée à sa famille par le Dauphin, père de Louis XVI – tentant ainsi de priver les deux frères aînés de cette somme afin de rééquilibrer les ressources à l'intérieur de la famille¹¹. Gabriel de Coriolis part ensuite à l'Île-de-France (île Maurice), où il se marie – il y fait serment au roi George III d'Angleterre en janvier 1811 et meurt en 1834.

Un autre épisode implique plus directement Blanchard, le beau-frère d'Elzéar. On a déjà vu le rôle qu'il joue en faveur de Gabriel contre les deux frères aînés. Il est d'autre part élu en août 1791 député d'Arras à l'Assemblée législative, y siège jusqu'en septembre 1792, puis est nommé juge militaire. Le 22 août 1792, il fit don à l'Assemblée de sa croix de Saint-Louis, en faveur des veuves et des orphelins des citoyens tués à la journée du 10 août¹² : le mari de Thérèse de Coriolis était donc un député révolutionnaire, et se distingue par ce geste en faveur des victimes civiles de la journée du 10 août, journée à laquelle son beau-frère Elzéar participait à l'appui de la Maison du Roi...

Finalement, on peut considérer que les deux frères aînés de la famille du père de Coriolis – l'aîné, l'abbé de Coriolis, chanoine à Notre-Dame à sa mort en 1824, jouera un rôle auprès du jeune Coriolis, c'était le seul parent parisien – resteront des hommes d'Ancien Régime. Quant aux deux autres frères, Gabriel et Elzéar, tous deux officiers, ils

10. « Note sur le chevalier Gabriel de Coriolis de Limaye », par sa petite-fille, Mme du Bois de Beauchêne, née Bolle d'Elmont [archives –JDC].

11. « Note sur le chevalier Gabriel de Coriolis... », *ibid.*

12. Source [site](#) de l'Assemblée Nationale.

participent aux campagnes d'Amérique et ont une vie beaucoup plus mouvementée. C'est néanmoins Elzéar qui pâtura le plus de la Révolution, en perdant sa position d'officier.

Marie-Sophie de Maillet, sa mère

La mère de Coriolis est Marie-Sophie de Maillet (née en 1772 ou 1773, morte en 1859). Elle épouse Elzéar de Coriolis, de dix-huit ans son aîné. Elle est, par sa mère, la petite-fille de la comtesse d'Essoffy (1726-1822). Cette ascendance la rattache à une haute dignité militaire sous Louis XV : le comte Charles Czerneck d'Essoffy (né en 1712), dont la famille est d'origine hongroise, commandait un régiment de hussards allemands cédé en 1701 à la France par l'Électeur de Bavière¹³.

La comtesse d'Essoffy, grand-mère maternelle de la mère de Coriolis, jouera un rôle important dans la vie de la famille de Gustave Coriolis. Les Essoffy étaient de longue date lorrains – Charles naît à Bouy dans la Champagne voisine, et prend le commandement de son régiment lorsque celui-ci vient à être affecté en Lorraine. La comtesse d'Essoffy vit à Nancy jusqu'à l'âge avancé de quatre-vingt seize ans, et la mère de Coriolis, malgré la mort de son époux en 1811, reste néanmoins à Nancy auprès de sa grand-mère. À la mort de celle-ci en 1822, Mme de Coriolis quitte Nancy avec sa fille pour s'installer à Paris. Après le mariage de sa fille, elle reviendra à Nancy où elle s'éteindra à un âge avancé elle aussi, en 1859, seize ans après son fils.

On trouve une référence scientifique dans la famille de la mère de Coriolis : Benoist de Maillet (Saint-Mihiel, Meuse, 1656 – Marseille 1738) fut consul au Caire en 1692 pendant seize ans puis à Livourne, « le premier et le plus considérable de nos consulats¹⁴ ». Il est auteur notamment d'une *Description de l'Égypte* en 1735, avant celle de la campagne napoléonienne. Il engage des recherches sur la « diminution de la mer », sur la base d'observations précises sur le retrait de la mer, et écrit le fameux ouvrage *Telliamed ou Entretiens d'un philosophe indien avec un missionnaire français sur la diminution de la mer, la formation de la terre, l'origine de l'homme* (publié sous pseudonyme en 1748, après la mort de son auteur). Il a récemment été redécouvert à la suite de l'année Darwin en 2009, comme un précurseur des théories de l'évolution : dans *Telliamed*, il émet l'hypothèse d'une Terre vieille de plusieurs millions d'années, celle d'une vie terrestre se développant à partir de la vie océanique, celle d'une vie et d'une mort des étoiles. Cependant Maillet a pu être vu, par ses successeurs des Lumières dans la deuxième partie du XVIII^e, comme par ses successeurs transformistes dans la première moitié du XIX^e, comme un homme plus enclin aux hypothèses audacieuses qu'aux travaux scientifiques rigoureux.



13. Charles Pierre Victor Pajol, *Les Guerres sous Louis XV* (Elibron 2006), tome VII, p. 366.

14. D'après « Vie de Maillet », par l'abbé Le Mascrier, 1755, préface à l'ouvrage *Telliamed* de B. de Maillet, réédition Fayard 1984.

Le couple formé par Elzéar de Coriolis et Marie-Sophie de Maillet a six enfants. Une lettre d'Elzéar de Coriolis à son frère Jean-Edouard, toujours pour des affaires financières, nous indique que trois d'entre eux sont morts en bas âge (lettre du 3 frimaire an VIII, 24 novembre 1799 – [Archives-JDC]):

Quelques maux de cœur annoncent qu'elle donnera dans quelques mois un frère ou une sœur à notre bon Gustave. Dieu veuille que nous soyons plus heureux pour celui-là que pour les trois que nous avons perdus.

De fait, Jean François Prosper de Coriolis naît quelques temps plus tard, le 23 mai 1800. On en trouve trace dans une lettre de Coriolis à sa sœur, encore en 1820 – ce frère disparaîtra prématurément. La seule personne de sa fratrie qui joue un rôle dans la vie de Coriolis, tout au long de sa vie, est sa sœur Cécile (1803-1886), qui épousera le physicien Eugène Pécelet.

L'INSTALLATION DE LA FAMILLE À NANCY

Après la perte par Elzéar de Coriolis de son rang et de son traitement d'officier, en mai 1792, et après la journée du 10 août, la famille vient s'installer à Nancy fin 1792, le père souhaitant « mettre quelque distance entre lui et les révolutionnaires » (Millon [2006]). La famille Maillet était originaire de cette ville, et le couple s'était uni quinze mois auparavant dans le département. Coriolis n'a pas encore un an. Son père établit une fabrique de tabacs, puis s'associe à un certain Laugier dans la fabrique de papiers peints de ce dernier : les associés installent la fabrique dans l'Hôtel de Custine, place des Dames. Coriolis père avait acquis cet hôtel en l'an II – il avait été bâti par le marquis de Custine, gouverneur de Nancy, puis vendu au marquis de Ludres avant d'être divisé en parties à la Révolution¹⁵. L'affaire de Laugier semble être de bonne réputation¹⁶ :

[le Sieur Laugier] a commencé sa manufacture de papiers peints, dont le succès et le débit prodigieux sont dus aux talents et aux soins de cet habile artiste. Les diverses connaissances qu'il possède et l'étude particulière qu'il a faite des anciens Grecs, Étrusques et Romains réunis au genre nouveau et recherché, lui ont permis de créer des chefs d'œuvre dans ce nouvel art (...) la solidité de ses couleurs, l'accord parfait des teintes, la netteté de l'impression (...) lui ont procuré la plus grande réussite non seulement dans la province, et les provinces voisines, mais même dans plusieurs Etats souverains, et jusqu'en Russie.

Trop resserré dans son local sur la place de Grève pour contenir la multitude de ses ouvriers et pour satisfaire à toutes les demandes qu'on lui fait de toutes parts, le Sr Laugier s'est associé avec le Sr de Coriolis, et dans sa maison, l'une des plus vastes de la ville sur la place des Dames, il y a établi

15. D'après Charles Courbe, *Promenades historiques à travers les rues de Nancy au XVIII^e siècle, à l'époque révolutionnaire et de nos jours. Recherches sur les hommes et les choses de ces temps*, Nancy, chez l'auteur, 1883.

16. Lionnois [1805], p. 360-361.

sa manufacture, qui occupe tant à l'extérieur qu'à l'intérieur plus de 150 ouvriers de genres différents.

D'après Renard [1862]¹⁷ (et donc Coriolis lui-même), les affaires furent florissantes – Coriolis indique même que « l'affaire prospère à tel point qu'il existe dans la maison un certain luxe ». Puis Coriolis père subit un revers de fortune à partir de 1804, au point qu'il songe à arrêter l'éducation qu'il faisait donner dans un internat nancéen à son fils aîné Gustave.

Mais le commerce est sujet à des retours : Elzéar de Coriolis éprouva des pertes. Elles changèrent tellement sa position de fortune, qu'il songea à retirer son fils de ce pensionnat où il venait de le placer. Non seulement le digne abbé [l'abbé Henry], qui avait déjà conçu les plus belles espérances de son nouvel élève, refusa d'accéder à la proposition de son père, mais il insista pour en obtenir l'entière direction. Son attente ne fut point trompée. Après une année d'études mathématiques faites à l'établissement, le jeune Coriolis, à peine âgé de quatorze ans, put suivre comme externe les savantes leçons de Guéneau d'Aumont, alors professeur de mathématiques spéciales au Lycée de Nancy, nouvellement établi. Inutile de vous dire qu'il occupa les premiers rangs parmi ses condisciples.

Dans une famille de haute noblesse, la perte par Elzéar de Coriolis en 1792 de sa charge d'officier, et la nécessité dans laquelle il était de travailler – on pouvait considérer encore à l'époque que c'était « déroger » pour un membre d'une famille aristocratique de haut rang –, avaient déjà constitué un choc. Le fait que par surcroît les affaires fussent mauvaises devait ajouter à un certain sentiment de déchéance. C'est dans ce climat que le jeune Coriolis est éduqué : pouvait-il s'identifier à un père officier, presque aventurier, puis homme d'affaires (tous les officiers ne peuvent devenir homme d'affaires – Elzéar l'avait fait sans doute grâce à un caractère assez trempé et un certain bagout) ? On peut émettre l'hypothèse que Coriolis, à la suite ces bouleversements qui frappent la famille, avec ce père qu'il aime sans doute mais auquel il ne ressemble guère, est amené à choisir une autre voie, une voie fort différente des armes et du commerce, la voie de la science. Laissons Renard évoquer Coriolis pendant ses études :

Déjà, étant élève, Coriolis avait su se ménager quelques instants à son esprit de recherches. Il avait eu le premier l'idée de traiter et de résoudre le problème connu depuis sous la dénomination de courbe du chien¹⁸. Il avait indiqué des constructions graphiques pour tracer d'un mouvement

17. N.-A. Renard, professeur de mathématiques à la Faculté des sciences de Nancy, fait en 1862 un hommage écrit à Coriolis, valant discours de réception à l'Académie Stanislas de Nancy. Tenant sur 25 pages, c'est pratiquement la seule biographie un peu consistante que nous ayons de Coriolis : il reprend, en fait, de nombreux éléments du manuscrit de Coriolis (manuscrit [ASM-AAS]). Renard est sans doute le seul à avoir pris connaissance, à son époque, de ce manuscrit difficile à déchiffrer : il est à peu près certain qu'il a pu le consulter vers 1860 auprès de la famille Coriolis (sa mère et sa sœur), sans doute dépositaire de ces manuscrits. Ainsi le document "Notes préparées pour M. Renard" ([NPR-AAS]) est annoté de la main de Mme Cécile de Coriolis, épouse Pécelet ; elle y a elle-même ajouté un document qu'elle indique comme étant de la main de sa mère. Ainsi, même si ces lettres de Coriolis à sa mère ont été sans doute perdues, leur citation par Renard peut être considérée comme fiable.

18. Le problème cinématique de la « courbe du chien » est le suivant : le maître du chien trace une ligne droite à vitesse constante – le chien, non situé sur cette ligne, dirige toujours son mouvement vers son maître, quelle courbe décrit-il. On a du mal à croire que ce problème n'était pas connu auparavant. Renard puise ses sources

continu les lignes de séparation d'ombre et lumière sur la surface de la vis. Déjà même, avant son entrée à l'École polytechnique, il avait trouvé la formule du développement d'une puissance quelconque d'un polynôme et une propriété nouvelle de la parabole. À douze ans, il avait signalé ses premiers pas dans la science géométrique, par une démonstration du carré de l'hypoténuse qui diffère de celle de tous les auteurs.

En sus d'une volonté consciente ou inconsciente de se distinguer de ce père auquel il ne ressemble guère (on imagine mal Coriolis au service des armes ou industriel), sans doute les difficultés financières de la famille incitent-elles aussi Coriolis à présenter le concours de Polytechnique, pour *se faire une situation*. Ces raisons ont pu jouer : mais on voit apparaître dans le discours de Renard ci-dessus ce qui constitue sans doute le moteur principal du jeune Coriolis, sa vive attirance pour les mathématiques – c'est à l'époque pratiquement la seule matière exigée au concours.

Mais les préjugés étaient encore tenaces qui faisaient considérer, dans le contexte de cette famille aristocratique, le métier de la science ou de l'enseignement de la science comme *dérogant*. Ainsi, quelques années plus tard, lors de son entrée à Polytechnique comme répétiteur, un sien cousin s'étonnera de ce choix de carrière, et Coriolis décrira ainsi l'épisode dans une lettre à sa mère (citée par Renard [1862]) :

Le cousin fait grosse mine de me voir maître d'École ; il a fait tout ce qu'il a pu pour me toucher de l'orgueil. Il m'a rabâché, nom, qualités, condition, rang, préjugés, etc. ; mais j'ai été inébranlable. J'ai craint, un instant, qu'il n'employât son prétendu crédit à empêcher qu'on me laissât à l'École polytechnique. Heureusement, il ne s'est pas occupé de moi, et tout a bien été.

à [ASM-AAS] : Coriolis y précise que c'est pendant ses études à Polytechnique qu'il résout ces divers problèmes (de même qu'il invente une démonstration inédite du théorème de Pythagore).

Chapitre 2. Études et début de carrière

Coriolis entre donc à l'École polytechnique le 1^{er} novembre 1808, classé huitième sur 157 au concours d'admission. De ses études à l'École polytechnique on sait peu de choses. Napoléon I^{er} ayant rétabli une scolarité payante pour les élèves, le paiement des études est un problème pour la famille. Son père demande fin 1808 une remise des frais de scolarité pour son fils : ceux-ci s'élevaient à 1600 Frs annuels, ce qui serait l'équivalent de la solde de l'officier Elzéar ! Il est informé en février 1809 par le directeur général Lacuée que lui est accordée la remise de la moitié des frais d'études, soit 800 Frs/an.

APRÈS POLYTECHNIQUE, L'ÉCOLE DES PONTS ET CHAUSSÉES

Il entre à l'École des ponts et chaussées le 20 novembre 1810, à la fois dans la scolarité et au service effectif du Corps. En 1811, dans le cours de sa scolarité, Coriolis est classé second dans un concours scientifique pour lequel il dépose un mémoire : ce mémoire a trait au théorème des moments, sujet sur lequel Coriolis travaille à plusieurs reprises – nous aurons l'occasion d'y revenir.

Son père Elzéar meurt en février 1811, «à la suite d'une campagne faite deux ans avant à l'armée du Nord» (Renard [1862]), à l'âge de cinquante-sept ans, alors que son fils avait dix-huit ans. Coriolis montre quelque tristesse à la mort de son père. Dans sa lettre du 19 mars 1811 à sa cousine ([CB]), on peut lire :

L'attachement que vous avez eu pour Maman et l'intérêt que vous voulez bien me témoigner m'aidera sans doute à supporter les peines que j'ai, et celles qui peuvent m'arriver encore.

Coriolis est alors nommé en mission en Haute-Garonne pour le service du département le 21 avril 1811 : il fait un voyage de huit jours en diligence et arrive à Toulouse le 8 mai. Il passe dans le Tarn voisin pour le service du département le 1^{er} juin 1811¹⁹. Le jeune ingénieur de dix-neuf ans décrit ainsi, dans sa correspondance personnelle, ses premiers stages et supérieurs hiérarchiques :

Je suis très heureux d'être employé sous un homme aussi aimable et aussi complaisant que le paraît ce Monsieur.

Jusqu'à présent, je n'ai pas encore eu beaucoup d'occupation. Je commencerai la semaine prochaine à lever des plans dans les environs.

Coriolis fait l'objet d'une appréciation de la part de l'ingénieur en chef de Haute-Garonne, par note d'appréciation du 24 mars 1811 adressée au directeur général des ponts [AN 2197] :

19. Source : fiche d'états de service Coriolis au Corps des ponts et chaussées, A.N. F14.

[Coriolis] est arrivé ici le 13 de ce mois, cet élève est déjà en activité, il me paraît d'un caractère doux ; il est fort assidu et laborieux. J'espère que je n'aurai que de bons témoignages à vous donner sur sa conduite.

La même année, de la part de l'ingénieur en chef du département du Tarn, par lettre du 14 novembre 1811 au directeur général des Ponts, on peut lire :

J'ai le plus grand éloge à vous donner sur le zèle, l'activité et l'intelligence que Mr Coriolis a apportés dans le travail dont je l'ai chargé ainsi que sur sa conduite sage et honorable.



Le 1^{er} mai 1812, Coriolis est employé à Paris sous les ordres de M. de Prony, inspecteur général, aux projets préparatoires de dessèchement des Marais Pontins, comme nous l'avons indiqué. Il est affecté en date du 1^{er} octobre 1812 dans le département de Jemmapes²⁰, au projet de construction d'une route de Vervins à Givet. Coriolis ne rejoindra pas cette affectation²¹, pour des raisons de santé. Prony, inspecteur général, écrit au comte Molé, directeur général des ponts et des mines, le 24 septembre 1812, pour lui dire que Coriolis est

attaqué d'une maladie qui, non seulement ne lui permet pas de se rendre à Mons, mais qui vraisemblablement l'empêchera de se livrer à aucune occupation sérieuse pendant le reste de la campagne. Je joins à ma lettre celle que m'a écrit Mr l'abbé Coriolis pour me faire part de la maladie de son neveu qu'il a pris chez lui.

L'état de Mr Coriolis m'affecte doublement et par l'intérêt que m'inspirait cet estimable jeune homme et par le tort que me fera son absence relativement à mes projets pour les Marais Pontins, absence qui sera aussi fort nuisible à son instruction, car il est obligé d'abandonner son travail au moment où il en était aux détails les plus importants pour lui, à cet égard²².

Prony joint donc à sa lettre à Molé la lettre que lui a adressé le chanoine de Paris, abbé de Coriolis, sur la santé de son neveu (lettre du 22 septembre 1812). Honoré Gaspard de Coriolis (1735 – 14 mai 1824) était le frère aîné de son père, et avait pris la soutane : il terminait sa carrière comme chanoine et maître des cérémonies à Notre-Dame de Paris. On constate au passage le poids de la famille de Coriolis en la personne de son oncle, haute personnalité ecclésiastique.

Coriolis écrit lui-même au comte Molé le 7 novembre 1812²³ et lui parle d'« une maladie très grave qui m'a mis longtemps dans un état de faiblesse qui exige un long repos pour me rétablir ». Par la suite, Coriolis regagne sa famille à Nancy, puisque le 19 décembre 1812, il écrit de nouveau au comte Molé – cette fois-ci depuis son adresse

20. Ce département groupait une partie des Ardennes et une partie aujourd'hui rattachée à la Belgique. La conquête par les armées napoléoniennes en avait fait un département français.

21. C'est Pichard, ingénieur ordinaire, qui rejoindra cette affectation à la place de Coriolis.

22. [AN] Dossier Coriolis.

23. [AN] Dossier Coriolis. La lettre indique pour Coriolis le domicile de son oncle chanoine, 11 rue Chanoinesse à Paris (Île de la Cité).

nancéenne²⁴ : « ma maladie est si grave que je serai loin d'avoir recouvré pour cette époque la force nécessaire à mon travail ». Un certificat médical parle d'une « fièvre maligne dont les suites occasionnent une débilité générale de toutes les fonctions et une maigreur considérable ».

Le 22 décembre 1812, l'ingénieur en chef de Nancy, dans sa lettre de transmission de la lettre du 19 décembre de Coriolis, demande au comte Molé la prolongation de l'arrêt de Coriolis :

Ce jeune homme est dans un état de faiblesse tel qu'il lui serait impossible de s'occuper et encore moins de supporter un voyage dans cette saison rigoureuse ; son désir de reprendre le plus tôt possible le cours de ses études...

Il semble que son traitement lui sera dû du 20 novembre 1812 au 1^{er} mars 1813, car il a l'occasion de le réclamer par la suite. La date du 1^{er} mars 1813 est en effet importante, puisque c'est celle de sa nomination comme aspirant-ingénieur, premier grade du Corps des ponts (il conservera ce grade quatre ans et demi, étant nommé ingénieur ordinaire de 2^o classe en octobre 1817). Dans une lettre du 18 février 1813²⁵ à sa cousine Benoist [CB], Coriolis note :

Ainsi je renonce au moins pour cette année à retourner à Paris quoique je suis toujours persuadé que si j'eusse été en état de remplacer Mr Fresnel cela aurait été la place la plus avantageuse pour moi.

Ainsi Coriolis, pour des raisons de santé, voit échapper la possibilité de la succession de Fresnel²⁶ ; il reste en état de maladie pendant un an, d'octobre 1812 à octobre 1813. Il ne compte pas non plus retourner auprès de Prony, jugeant le travail trop « appliquant », sans doute cela ne l'intéresse-t-il que peu (lettre du 18 février 1813) :

Si je n'ose pas prendre cette place [Fresnel] à plus forte raison je ne me soucie pas non plus de retourner près de Mr de Prony. Je compte lui écrire.

Le nouvel ingénieur en chef de Nancy, Mangin, arrivant d'Anvers, semble considérer lui aussi Coriolis comme non valide pour le service :

Mr Mangin ne paraît pas vouloir me donner beaucoup à faire.

Ce n'est que le 20 octobre 1813 qu'il écrit à nouveau au comte Molé²⁷ pour faire part de l'amélioration de son état de santé et demander une affectation :

Vous avez bien voulu me laisser provisoirement dans le département de la Meurthe, pour achever dans ma famille le rétablissement de ma santé, à la suite d'une maladie grave. Aujourd'hui je me

24. Cette adresse nancéenne est 68 faubourg de Bonsecours.

25. Sur la lettre en question ne figure pas l'année ; mais elle fait partie des premières lettres, et comme Coriolis y parle de sa nomination comme aspirant au 1^{er} mars, nous l'avons datée de 1813.

26. Nous pensons qu'il s'agit du jeune frère d'Augustin Fresnel, Léonor Fresnel, X1807, ingénieur des Ponts et chaussées ; nous n'avons pu retrouver de quel poste il s'agissait.

27. [AN] Dossier Coriolis.

sens à peu près rétabli (...) Je demande à être employé d'une manière plus active et plus utile à mon avancement.

Dans sa lettre de transmission hiérarchique du 21 octobre 1813, l'ingénieur en chef de Nancy, Mangin, indique au comte Molé que Coriolis est rétabli et ajoute :

Je dois rendre justice au zèle de Mr Coriolis, je prends la liberté de vous prier de lui assigner une destination où il soit à même d'appliquer ses connaissances théoriques.

Il est intéressant de voir que, dès 1813, l'ingénieur en chef Mangin, sans doute rompu à jauger les hommes dans sa carrière et connaissant les nécessités du service des Ponts, donne cette suggestion d'utilisation des « connaissances théoriques » de Coriolis. De la même manière, dans sa lettre de décembre 1812, il soulignait le désir de Coriolis de « reprendre le plus tôt possible le cours de ses études ». Nous pensons à cet égard que dès ses premières missions au service ordinaire, à l'âge de vingt ans, Coriolis confirme son penchant pour la science, et manifeste un goût pour les connaissances théoriques.

Mais, en attendant de voir le pronostic de Mangin se réaliser pour sa carrière, Coriolis devra encore patienter pendant trois ans au service effectif du Corps des ponts.

TROIS ANS AU SERVICE EFFECTIF DES PONTS ET CHAUSSÉES, 1813-1816

Coriolis va alors passer, d'octobre 1813 jusqu'à sa nomination à l'École polytechnique en octobre 1816, trois années effectives et à temps plein au service ordinaire du Corps, de vingt-et-un ans à vingt-quatre ans. Il aura deux affectations successives : dans le département du Nord, à Lille, à partir du 1^{er} décembre 1813, puis dans le département des Vosges, à Épinal, le 1^{er} octobre 1815.

On trouve trace de son affectation à Lille dans sa correspondance personnelle (lettre à Mme Benoist du 25 juin 1815). Coriolis est pris dans le siège de Cambrai par les Anglais, au moment où les armées coalisées vainquent l'armée napoléonienne, juste après Waterloo. On peut lire :

La citadelle s'est rendue à midi, on dit que le commandant a demandé à ne se rendre qu'à Louis XVIII. Il n'y avait dans la citadelle que quelques centaines d'hommes, point de poix, et rien pour en faire.

On sait qu'après la bataille de Waterloo du 18 juin 1815, la place-forte de Cambrai est la dernière à offrir une résistance, d'ailleurs éphémère, et capitule le 25 juin : c'est de Cambrai que Louis XVIII s'adressera aux Français.

Du point de vue professionnel, à peine seize mois après son affectation à Lille, Coriolis avait à nouveau écrit au comte Molé pour se plaindre de sa santé (lettre du 29 avril 1815, [AN] Dossier Coriolis) :

Placé à Lille il y a dix-huit mois après la longue convalescence d'une maladie grave, j'ai éprouvé depuis mon séjour ici une altération de santé très sensible. Malgré tous les soins que j'ai pu prendre, des indispositions fréquentes que j'attribue au climat ne cessent de me gêner en toute manière pour l'exécution de mon service. Jusqu'à présent j'avais espéré m'acclimater avec le temps, mais comme je me trouve plus mal de jour en jour, je n'attends de changement et de guérison que dans une nouvelle résidence située dans un pays moins humide et plus chaud. Je vous supplie donc, Monsieur le Comte, de me donner une destination dans la Lorraine mon pays natal, ou dans un département où mon service me procure un exercice salutaire. Je regarderais cependant comme bien important pour moi de me rapprocher de Nancy où j'ai encore ma mère et des frères et sœurs. Le peu de moyens d'existence que nous avons exige que nous nous réunissions ; un long voyage serait trop coûteux pour nous le permettre.

On peut douter que le climat lorrain soit réellement plus clément que celui du Nord : de fait, il semblerait que Coriolis ait du mal à supporter le service ordinaire et que, devant l'effectuer, il préfère le faire en Lorraine, près des siens. Molé semble sensible à l'argumentation, et indique en bas de la lettre : « lui répondre qu'on ne perdra pas de vue sa demande s'il se présente une occasion favorable ». Molé tient promesse, puisque moins de six mois plus tard, le 1^{er} octobre 1815, Coriolis est affecté non à Nancy, mais néanmoins en Lorraine, dans le département voisin des Vosges.

Nous pensons que le service des Ponts n'intéressait pas un jeune homme plutôt enclin à la science. La description que fait Arago²⁸ du service des Ponts vu par le futur savant Augustin Fresnel pourrait tout aussi bien s'appliquer au futur savant Coriolis :

(...) niveler de petites portions de route ; chercher, dans la contrée placée dans sa circonscription, des bancs de cailloux ; présider à l'extraction de ces matériaux ; veiller à leur placement sur la chaussée ou dans les ornières ; exécuter, çà et là, un ponceau sur des canaux d'irrigation ; rétablir quelques mètres de digue que le torrent a emportés dans sa crue ; exercer principalement sur les entrepreneurs une surveillance active ; vérifier leurs états de compte, toiser scrupuleusement leurs ouvrages, telles étaient les fonctions fort utiles, mais très peu relevées, très peu scientifiques, que Fresnel eut à remplir pendant huit à neuf ans dans la Vendée, dans la Drôme, dans l'Ille-et-Vilaine. Combien un esprit de cette portée ne devait-il pas péniblement être affecté, quand il comparait l'usage qu'il aurait pu faire de ces heures qui passent si vite, avec la manière dont il les dépensait !

Bien des années plus tard, en rédigeant son « testament », Coriolis écrira à propos de cette période de 1812 à 1816 qu'exclusivement occupé d'un service d'ingénieur, « il fut obligé d'abandonner les sciences spéculatives » (Coriolis [ASM-AAS]).

CANDIDATURE À POLYTECHNIQUE

Ainsi, malgré l'obtention de cette affectation tant espérée en Lorraine, Coriolis pose, un an plus tard, sa candidature à l'École polytechnique à Paris. Ceci semble plus

28. Arago, Hommage à Augustin Fresnel [1830]. Même si le style grandiloquent du Secrétaire perpétuel dans ces hommages convenus amène à prendre un peu de recul par rapport au contenu du texte, on peut penser qu'il y a une forte part de vérité dans cette description de la fonction d'ingénieur ordinaire des Ponts.

important pour lui que de rester proche de sa famille : nous pensons que c'est le service ordinaire que n'apprécie pas Coriolis, et que son goût de la science s'affirme. Le 19 octobre 1816, alors en service à Épinal, il envoie une lettre au Ministre de l'intérieur²⁹ (le vicomte Joseph Lainé) pour se porter candidat à la place de répétiteur au cours d'analyse et de mécanique professé par Cauchy. Il précise dans sa lettre être « entré à Polytechnique le huitième en 1808 » et en être « sorti le onzième en 1810 ». Il argue aussi de son dévouement au Roi et de son goût des sciences.

Nous nous sommes demandé, sans avoir la réponse, comment Coriolis a-t-il pu être informé, à Épinal, de la vacance d'un poste de répétiteur à Polytechnique. De même, comment a-t-il été choisi après avoir posé sa candidature ? Son extraction noble a-t-elle joué un rôle dans sa nomination en ce début de Restauration ? A-t-il bénéficié d'appuis qu'il a sollicités ? Il semblerait que l'astronome Delambre (1749-1822), directeur de l'Observatoire depuis 1804 jusqu'à sa mort, et puissant Secrétaire des sciences mathématiques à l'Académie, appuie sa candidature³⁰ – pourtant Delambre, baron d'Empire, était assez lié au régime précédent.

En tout état de cause, Coriolis fait figure d'homme neuf, non impliqué dans le régime impérial, et montrant qualité et intérêt scientifiques.



Le 10 janvier 1817, Coriolis prend connaissance de sa nomination comme répétiteur ; il écrit au Baron Bouchu commandant l'École qu'il attend l'accord du comte Molé, toujours directeur général des ponts et chaussées, pour quitter son service à Épinal. De fait, il écrit le 14 janvier au Comte Molé, depuis Épinal :

Je viens d'être nommé à la place de répétiteur d'analyse à l'École Royale Polytechnique. Mon goût pour l'étude des sciences, le désir de me réunir aux parents que j'ai à Paris, quelques motifs d'intérêt, sont les raisons qui m'ont déterminé à demander cette place il y a peu de temps. [A.N. Dossier Coriolis]

Coriolis va même jusqu'à suggérer le nom de son remplaçant, Jacquiné – ce qui est de bonne politique quand on veut quitter un poste dans l'urgence. On voit dans cette lettre que le désir d'être réuni à ses parents est à géométrie variable : quand il est à Lille, il veut se rapprocher de sa famille nancéenne pour raisons de climat (?) et financières, et à peine est-il affecté en Lorraine que c'est sa famille parisienne qu'il souhaite rejoindre. C'est donc bien « l'étude des sciences » qui le motive, et on peut le penser dès 1812 date à laquelle il regrette de ne pas avoir pris la succession de Fresnel.

Jacques Binet, dans son éloge funèbre de Coriolis (Binet [1843]), souligne l'attrait de Coriolis pour la science pendant cette période, lorsqu'il lui est proposé d'être

29. La lettre est aux Archives de l'École polytechnique. Elle est adressée au ministre de l'Intérieur, car l'École était passée sous statut civil, et sous tutelle du ministre de l'Intérieur et non plus de la Guerre, lors de la Restauration (voir bibliographie Belhoste [2003]).

30. Source dossier Coriolis, AEP.

répétiteur du cours d'analyse et de mécanique, titre que M. Coriolis accepta, dans l'espoir de cultiver les sciences, qui avaient un puissant attrait sur son esprit.



Coriolis tiendra à garder, pour des raisons financières, son statut du Corps des ponts, alors même qu'il est en poste à Polytechnique. Il écrit dans cet objectif au comte Molé, le 5 février 1817 [A.N.] :

Je l'espère d'autant plus de votre justice, Mr le Comte, que je me propose de [ne] passer à cette École que le temps pendant lequel la suspension de quelques travaux met plusieurs ingénieurs dans le cas d'être peu occupés et pendant lequel par conséquent il ne peut être nécessaire de me remplacer dans le corps.

On notera que, dans cette démarche, Coriolis utilise un soutien de poids, le comte Joseph Jérôme Siméon (1749-1842), conseiller d'État comme le comte Molé. Curieux et long parcours que celui du comte Siméon, juriste et homme politique : opposé à la première Convention, député des Bouches-du-Rhône au Conseil des Cinq-Cents (1795), président de ce Conseil pendant un mois en 1797, rallié à Bonaparte après le 18 Brumaire, très proche de Jérôme Bonaparte roi de Westphalie auprès duquel il occupe plusieurs fonctions, puis préfet du Nord lors de la Première Restauration, conseiller d'État, fait comte par Louis XVIII lors de la large ouverture des titres de noblesse en 1818, il sera ministre de l'Intérieur de 1820 à 1821 et pair de France en 1821. On peut penser que c'est sa solide stature juridique et sa base électorale dans les Bouches-du-Rhône qui lui auront valu cette brillante carrière dans les divers régimes politiques. Le 12 février 1817, il est alors conseiller d'État et sans doute toujours représentant des Bouches-du-Rhône à la Chambre des députés, il écrit à son collègue conseiller d'État le Comte Molé pour soutenir la demande de Coriolis relative au maintien de son traitement des Ponts :

La cumulation de traitements n'est point attaquée par les zélateurs des économies lorsqu'elle ne s'élève pas au-dessus de certaines sommes, elle est même louée lorsqu'elle profite aux personnes qui s'adonnent aux sciences ([AN] Dossier Coriolis)

On voit ici que Siméon utilise son autorité juridique – il était professeur de droit à l'université d'Aix-en-Provence dès vingt-neuf ans, et avait toujours continué à exercer dans le domaine. Il ne semble pas usuel que Coriolis se fasse appuyer, c'est la seule trace que nous ayons trouvée : aux yeux de Siméon, c'est sans doute le prestige de la famille de juristes distingués et d'ancienne noblesse représentée par le nom de Coriolis qui l'amène à apporter ce soutien. Il mentionne d'ailleurs Coriolis comme « issu d'une famille distinguée de Provence ». Toujours est-il que ce soutien semble efficace, puisque Molé répond quasi-immédiatement (le 15 février) à son aîné Siméon en accordant ce qui est demandé.

Cet accommodement est important pour Coriolis, soutien de famille. Il écrit à sa mère (cité par Renard [1862]) :

J'ai obtenu que, bien qu'attaché à l'École polytechnique, je toucherai mon traitement des ponts et chaussées. Faites-en, comme moi, un saut de joie. Vous pouvez compter que, du 1^{er} janvier 1817, chaque fois que je toucherai, la moitié, c'est-à-dire 75 francs par mois, sera mise de côté pour vous.

On notera le soutien financier permanent que Coriolis apporte à sa famille : son cousin Émile de Coriolis (fils du frère de son père, Gabriel) indique que la mère de Coriolis et de sa fille «se trouvent dans une position que je dirai malheureuse», et parle du «faible appui, mais digne d'admiration et des plus grandes louanges» que leur donne Coriolis, en partageant «les fruits de son travail, de ses économies et des plus grandes privations qu'il s'impose pour elles» (lettre du 15 avril 1821 d'Émile de Coriolis à son père, [Archives – JDC]).

II – Enseignement des mathématiques et recherches sur les machines (1817 – 1829)

Coriolis commence sa longue carrière à Polytechnique – il y passera vingt-six ans de 1817 à sa mort en 1843, sans compter ses années d'études. Il commence donc comme répétiteur du cours de Cauchy, poste qu'il conservera avec les professeurs succédant à Cauchy (Navier puis Duhamel) jusqu'en 1838, soit vingt-et-un ans comme répétiteur.

Il posera sa candidature comme professeur à cette chaire d'analyse et de mécanique en 1830, quand Cauchy quitte la France – après l'avoir remplacé un an : c'est cependant Navier qui est choisi en 1831. À la mort de Navier en 1836, Coriolis ne présente pas sa candidature et reste répétiteur, Duhamel étant devenu professeur. Il n'abandonnera la charge de répétiteur d'analyse et de mécanique qu'en 1838, lorsqu'il est nommé directeur des études, l'estimant sans doute à juste titre incompatible avec ces nouvelles responsabilités.

Nous avons peu de choses pour apprécier le travail de répétiteur, qui ne laisse pas de trace écrite. Mais nous sommes fondés à rétablir l'image d'un Coriolis mathématicien : il n'est pas seulement répétiteur – c'est-à-dire plutôt enseignant –, il est aussi « chercheur » – au sens où il apporte des résultats scientifiques ou y contribue. En ce sens il s'inscrit dans la tradition mathématique polytechnicienne, même s'il n'est traditionnellement pas classé parmi les « géomètres ». Par exemple, il s'intéresse tout au long de sa vie au sujet des « transversales », publiant un résultat en 1819 dans les *Annales* de Gergonne – bien que cet écrit soit non signé, on l'attribue avec certitude à Coriolis ; il reviendra sur ce sujet en 1835 dans le *Journal de l'École polytechnique*³¹. Il contribue aussi à des résultats scientifiques en donnant des idées à d'autres mathématiciens : ainsi Cauchy, à plusieurs reprises, remercie Coriolis, répétiteur de son cours, de certaines idées qu'il lui a données. On peut supposer que les échanges scientifiques entre les deux hommes à Polytechnique étaient fréquents. C'est aussi à Coriolis, tout nouvel académicien, que Cauchy adressera en 1837 depuis son exil turinois certains résultats, afin qu'il les communique à la section de Géométrie de l'Académie. Enfin, même à l'Académie à partir de 1837, s'il est principalement sollicité pour des rapports de mécanique appliquée, Coriolis l'est aussi pour des rapports relatifs à des articles de mathématiques ou de mécanique rationnelle.



Mais Coriolis n'est pas uniquement mathématicien. À partir de 1819, voire avant, il commence ses propres travaux de recherche sur les machines, travaux se rattachant à la mécanique appliquée. Il va toutefois conserver une approche mathématique et théorique du sujet : c'est pourquoi nous l'avons qualifié de « mathématicien, théoricien de la mécanique appliquée ».

31. Compte tenu de l'unité du sujet, nous avons choisi d'évoquer ces deux articles dans cette partie, bien que le second date de 1835.



Portrait de G.G. de Coriolis, en possession de M. Jean de Coriolis. Le portrait est daté de 1833 (Coriolis a alors quarante et un ans) ; mais il se pourrait qu'il ait été recopié d'après un tableau peint plus tôt – il figure un homme d'âge plus jeune. On remarquera une certaine ressemblance, mais assez faible, avec la gravure du tableau peint par Roller (en début du présent document).

L'élément marquant de cette période de la vie de Coriolis est sa réflexion sur les machines, qui se traduit en août 1826 par une note synthétique de huit pages à l'Académie, et en juillet 1829 par la publication d'un ouvrage austère, complexe et volumineux, le *Calcul de l'effet des machines*. C'est l'œuvre majeure qu'il publie dans ce domaine, son premier ouvrage, alors qu'il est déjà âgé de trente-six ans. La principale innovation y est la définition de la notion de travail, qu'il est le premier à donner ; il propose aussi de définir une unité pour le travail, « le dynamode » ; il remarque que la notion de force vive devrait s'appliquer à $\frac{1}{2}mv^2$ et non à mv^2 , afin d'éviter de parler en permanence des « demi-forces vives ».

Coriolis a déjà rédigé des notes manuscrites importantes sur le sujet dès 1819, en fin d'année : même si elles n'ont pas été retrouvées, elles sont mentionnées par Coriolis lui-même, par Poncelet dans une querelle de paternité qu'il fait à Coriolis en 1829, et par Bélanger qui y fait référence comme à un document de travail en sa possession dans plusieurs de ses ouvrages (en 1828 notamment). C'est donc au cours de l'année 1819, voire avant (peut-être quand il remplace momentanément Mathieu comme répétiteur du

cours de géodésie et de machines d'Arago en 1817?), que Coriolis commence à s'intéresser à l'« effet » des machines.

Il est difficile de comprendre ce qui amène Coriolis sur cette voie, qu'il suit de 1819, date de ses notes manuscrites à 1829, date de publication de son ouvrage. Mais, en tout état de cause, la publication du *Calcul* constitue un tournant dans la carrière et la vie de Coriolis. Elle le pose comme un savant connu et reconnu – en tant qu'enseignant il n'était que peu ou pas connu : 1829 marque le début de sa carrière scientifique.

Nous analyserons en détail son mémoire manuscrit de 1826 à l'Académie, car il comporte certains résultats souvent datés à tort de l'ouvrage de 1829 – notamment la définition physique du travail. Malgré sa complexité, mais compte tenu de son importance dans l'œuvre de Coriolis et dans sa carrière à partir de 1830, nous tentons d'analyser le *Calcul*. Nous examinons aussi, en parallèle, la seconde édition – bien que celle-ci date de 1844, après la mort de Coriolis : sous le nom de *Traité de la mécanique des corps solides*, elle comporte quelques ajouts par rapport à l'ouvrage de 1829.

Chapitre 3. Coriolis répétiteur d'analyse et mathématicien

Nous savons fort peu de choses de ces années d'enseignement de Coriolis à Polytechnique. On sait néanmoins, par de nombreuses sources, que Cauchy était un enseignant médiocre, voire mauvais – par ailleurs il est reproché à plusieurs reprises à Cauchy de ne pas traiter le programme d'enseignement validé par les instances de l'École. La fonction de répétiteur tenue par Coriolis revêtait sans doute dans ce contexte une certaine importance³².

LE DÉBUT D'UNE CARRIÈRE SCIENTIFIQUE

Coriolis prend ses fonctions en 1817. Dès le départ, il commence à s'affirmer vis-à-vis de ses pairs scientifiques et être conscient de sa valeur. Dans une lettre du 20 novembre 1817 à sa cousine (il a alors vingt-cinq ans), on peut lire, à propos de Prony qui était examinateur de sortie :

M. Prony a examiné les élèves qui viennent de suivre notre cours³³. J'ai assisté à plusieurs de ces examens et j'ai vu que bien qu'il fût un habile mathématicien il n'était pas assez exercé sur la matière pour bien examiner. Je lui avais offert avant qu'il commençât de lui donner une idée de ce que M. Cauchy avait traité ; il n'a pas eu le temps ou il a dédaigné mon offre ; il en est résulté qu'il s'est laissé attraper plus d'une fois en prenant du mauvais bavardage pour des démonstrations. Il l'a senti après, aussi a-t-il pris de fort belles résolutions pour l'année suivante.

Prony venait d'être nommé examinateur permanent – il avait laissé en 1816 à Ampère la chaire d'analyse qu'il occupait depuis la création de l'école. Au-delà de ce ton persifleur, Coriolis a conscience de sa valeur en continuant ainsi :

M. Prony sent que je lui serai nécessaire et je me suis aperçu qu'il prenait beaucoup plus garde à moi qu'auparavant.

Fin 1817, Coriolis se voit proposer à titre provisoire un autre poste de répétiteur, celui du cours d' Arago :

Il paraît que je vais être chargé de remplacer un autre répétiteur Mr Mathieu³⁴ membre de l'académie qui est en tournée pour examiner les géomètres du cadastre. Je ne crois pas qu'il soit rentré avant la fin de l'année. J'ai accepté avec plaisir la proposition qui m'a été faite parce que le

32. Son collègue était au départ Nicolas Janot-Destainville (ou Janot de Stainville) (1783-1828, X1802), depuis 1810 répétiteur-adjoint.

33. Souligné par Coriolis.

34. Claude-Louis Mathieu (1783-1875, X1803), beau-frère de François Arago, est entré comme enseignant à Polytechnique en même temps que Coriolis, en 1817, et il y a passé une carrière beaucoup plus longue puisqu'il y est resté jusqu'en 1863.

cours est intéressant et que le professeur Mr Arago célèbre astronome est une bonne connaissance à faire. J'aurai ainsi à interroger sur les deux principaux cours de l'École.

Toujours en 1817, il est intéressant de voir ce qu'il dit du nouveau directeur général des Ponts Louis Becquey :

On est content de notre nouveau directeur Mr Becquey. Il paraît disposé à favoriser la science. J'espère donc qu'il ne me retirera pas de l'École de sitôt. Il y a quelques jours qu'il a dit des choses flattuses à Mr Fresnel (c'est le frère) qui a fait des découvertes importantes en physique [lettre du 20 novembre 1817]

Ce qu'il écrit contraste singulièrement avec ce qu'il écrivait un an auparavant au comte Molé, prédécesseur de Becquey : il indiquait qu'il souhaitait prendre temporairement une fonction à l'École polytechnique, en attente d'une autre affectation au Corps des ponts. On voit donc s'affirmer la vocation scientifique de Coriolis au cours de l'année 1817, celle de ses vingt-cinq ans, soit vis-à-vis des savants plus âgés (Prony, Arago), soit dans ses relations avec le Corps des ponts.



Mais, parallèlement, Coriolis reste affecté au service des Ponts. Là aussi, on sait peu de choses de sa carrière effective au sein des Ponts entre 1817 et 1830. Est-il dispensé de service effectif pendant quelque temps ? Seul Navier sera dispensé de service ordinaire pendant toute sa carrière d'enseignement, à son grand dam d'ailleurs, puisque, comme le rappelle Nathalie Montel, il demandera à plusieurs reprises une mission sur des constructions de ponts.

On sait qu'entre 1817 et 1819, il est en vacance du Corps des ponts, en attente d'une position à Paris³⁵, qui serait compatible avec sa position à Polytechnique. En 1821, il est en poste, puisqu'il écrit le 24 octobre à sa cousine :

Je suis toujours très content de mon chef c'est un homme qui me convient. Il sait tout dire : il a de la douceur, de l'indulgence, et avec cela de la vigueur et de l'ordre. Je pense que je pourrai finir par obtenir l'arrondissement de Sceaux.

Coriolis participe à la construction du pont d'Ivry en 1829, sous la direction de Charles Emmery³⁶, qui remercie ainsi Coriolis en introduction à son ouvrage :

Ces études m'ont souvent rappelé que je dois des remerciements sincères à M. Eustache, alors Ingénieur en chef directeur du département de la Seine, aujourd'hui Inspecteur divisionnaire, et que j'en dois également à M. l'Ingénieur Coriolis. Ce fut de concert avec M. Eustache que je préparai

35. Source manuscrit [ASM-AAS].

36. Henri-Charles Emmery (1789-1842, X1805, ingénieur des ponts et chaussées), pratiquement contemporain de Coriolis, est ingénieur en chef du département de la Seine dans les années 1820. Il conduit l'amélioration de la navigation sur la Marne, la construction du canal de Saint-Maur, du pont d'Ivry-sur-Seine et de la gare de Charenton, et participe à la distribution des eaux et au nouveau système d'égouts de la capitale. Nommé Secrétaire général du Conseil des Ponts et Chaussées, il retrouvera Coriolis à la Commission des *Annales des Ponts*. N. Montel nous indique, à propos d'un projet d'article d'un tiers sur l'emploi des freins dans les chemins de fer, qu'Emmery souhaite que Coriolis « jette un coup d'œil sur les calculs » (BENPC, PV du 22 novembre 1836, cité par Montel p. 265).

les projets du Pont d'Ivry ; ce fut M. Coriolis qui me seconda dans l'exécution d'une grande partie des routes neuves à établir.

Par ailleurs, il reste vigilant à son avancement au sein du Corps des ponts, notamment pour des raisons financières. En mai 1826³⁷, il demande au directeur général de l'École polytechnique, le général-comte de Bordesouille, de le soutenir auprès du directeur général des Ponts pour obtenir le grade d'ingénieur de première classe des Ponts et chaussées (il était ingénieur de seconde classe depuis 1817) :

(...) beaucoup d'ingénieurs de ma promotion et même plusieurs ingénieurs de promotions moins anciennes sont nommés de 1^o classe

Il souligne que, « malgré [s]a faible santé », il n'a pas manqué plus de dix à douze séances à Polytechnique depuis 1817. Sa démarche est couronnée de succès, puisqu'il est nommé ingénieur de 1^e classe dans l'année.

En tout état de cause, même s'il est difficile de reconstituer l'activité administrative de Coriolis entre 1817 et 1829, il est légitime de penser que sa carrière d'ingénieur des Ponts prend une place réduite par rapport à son activité scientifique : enseignement comme répétiteur, travaux mathématiques, écrits sur les machines. Ainsi, lorsqu'il enverra son ouvrage *Calcul de l'effet des machines* par lettre du 9 juillet 1829 au directeur général des Ponts et chaussées, toujours Becquey, il écrit :

Si j'ai pu consacrer quelques loisirs à une production qu'on a trouvée utile, je le dois Monsieur le Directeur à la bonté que vous avez eue de me laisser en service à Paris qui m'a permis de continuer ainsi mes fonctions à l'École.

ÉCHANGES MATHÉMATIQUES ENTRE CORIOLIS ET CAUCHY

Les relations entre un professeur et ses répétiteurs, à Polytechnique, peuvent être plus ou moins étroites. En ce qui concerne Cauchy et Coriolis, leurs relations semblent incontestablement avoir été étroites sur le plan professionnel et scientifique. À cet égard, leurs échanges ont pu être sous-évalués : il est frappant de constater qu'à plusieurs reprises dans ses ouvrages, Cauchy rend hommage aux idées que lui a données son répétiteur Coriolis, qui apparaît comme un interlocuteur de premier plan. Leurs affinités pouvaient aussi s'étendre au plan personnel : ils étaient tous les deux plutôt conservateurs – mais, à la différence de Cauchy, Coriolis ne mettra toutefois jamais en avant ses opinions politiques.

Que ce soit pour des raisons personnelles, ou des raisons scientifiques, un grand respect semble exister entre les deux hommes, pourtant en position hiérarchique (l'un étant le répétiteur du cours de l'autre). Ce respect mutuel entre un professeur et son répétiteur n'est pas si fréquent qu'on pourrait l'imaginer à l'École polytechnique de cette

37. Lettre du 19 mai 1826, AEP, dossier Coriolis.

période-là : quelques années plus tard, on le verra, Liouville semble faire peu de cas de ses répétiteurs. Était-ce la période de refondation de l'École entre 1816 et 1830 qui a permis ces rapports de connivence ? Cette période était-elle plus calme à Polytechnique que la période suivante (1830-1850) ? Était-ce dû au caractère de chacun des protagonistes, et à leurs affinités mutuelles ? Plus insidieusement, Cauchy avait-il matière à penser que citer Coriolis était une bonne manière, et que l'intéressé n'était guère susceptible de lui porter ombrage ? Même s'il est difficile d'y répondre, ces questions méritent d'être posées.

La convergence des produits infinis de facteurs (1821)

Intéressons-nous justement aux citations de Coriolis par Cauchy. Dans l'introduction par ce dernier de son *Cours d'analyse à l'École royale polytechnique* (Cauchy [1821]), on peut lire (p. vii) :

En terminant cette Introduction, je ne puis me dispenser de reconnaître que les lumières et les conseils de plusieurs personnes m'ont été fort utiles, particulièrement ceux de MM. Poisson, Ampère et Coriolis. Je dois à ce dernier, entre autres choses, la règle sur la convergence des produits composés d'un nombre infini de facteurs.

À la différence des sommités Ampère et Poisson, Coriolis est cité sur un sujet concret – manière aussi de montrer qu'il ne peut être placé sur le même plan que les deux autres. Autre interprétation possible, non nécessairement contradictoire : il est toujours utile de citer des sommités, si importantes à l'École, et de les remercier pour des discussions peut-être assez générales voire vagues, à la différence de la coopération avec Coriolis, portant sur un point précis et de ce fait sans doute plus fructueuse.



Cauchy détaille ce point précis (la convergence des produits composés d'un nombre infini de facteurs) et l'explique p. 561-576. Sans mentionner Coriolis à nouveau (mais il l'avait fait en introduction), il établit le théorème dit de convergence des produits infinis. Retranscrivons-le ici en en donnant un exemple :

- Soit u_n une suite de termes tous supérieurs à -1 .
- Si les séries u_n et u_n^2 sont convergentes (c'est-à-dire si $\sum u_n$ et $\sum u_n^2$ ont une limite finie), alors le produit infini $\prod(1+u_n)$ converge aussi, vers une limite finie différente de 0.
- Mais si la série u_n est convergente et la série u_n^2 ne l'est pas, alors le produit infini $\prod(1+u_n)$ converge vers 0.

La démonstration de Cauchy s'appuie sur le développement de Taylor de $\log(1+u_n)$ = $u_n - \frac{1}{2} u_n^2 + \text{etc}$: le produit infini $\prod(1+u_n)$ a un logarithme égal à la somme $\sum \log(1+u_n) = \sum(u_n - \frac{1}{2} u_n^2 + \text{etc})$, d'où l'intérêt de Cauchy pour la convergence des séries u_n et u_n^2 . On peut donner avec Cauchy l'exemple d'application d'un tel critère : la série u_n

égale à 1, $-1/\sqrt{2}$, $1/\sqrt{3}$, $-1/\sqrt{4}$,... converge, mais la série u_n^2 des carrés diverge ($\sum 1/n = \infty$), donc le produit $\prod (1+ u_n)$ converge vers 0.

Il reste difficile d'établir quel est l'apport propre de Coriolis et celui de Cauchy dans l'établissement de ce théorème. Le mathématicien américain Edgar Wermuth indique en 1992 dans l'*American Mathematical Monthly*³⁸ que le critère de convergence de Cauchy des produits infinis devrait être appelé critère de Coriolis. En notant que le célèbre mathématicien britannique Hardy (1877-1947) fait erreur en 1908 en baptisant ce test du nom de Cauchy, Wermuth va jusqu'à le désigner comme test de Coriolis. Nous n'avons cependant aucun élément – autre que le remerciement de Cauchy – pour aller en ce sens.

Le cercle osculateur (1826)

Une autre citation de Coriolis par Cauchy peut être trouvée dans l'ouvrage *Sur les applications du calcul infinitésimal à la géométrie* (Cauchy [1826]) :

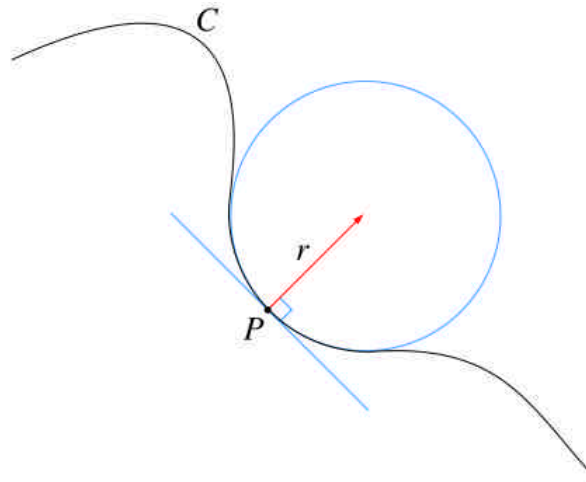
Du reste, en composant cet ouvrage, j'ai mis à profit les travaux des géomètres qui ont écrit sur le même sujet, ainsi que les lumières de MM. Ampère et Coriolis. Je dois à ce dernier, entre autres choses, la définition que j'ai donnée, dans la dix-septième Leçon, du rayon de courbure d'une courbe quelconque ; et c'est d'après ses conseils que j'ai placé la théorie du cercle osculateur avant celle des contacts des divers ordres.

Là encore, le même procédé est à l'œuvre : les « géomètres » et Ampère sont mentionnés sans autre précision, tandis que Coriolis est cité sur un point précis. On note aussi que Cauchy ne range pas Coriolis (ni Ampère) parmi les « géomètres », c'est-à-dire les mathématiciens, en tout cas pas ceux qui ont écrit sur le même sujet. Si l'on se rapporte à la XVII^e leçon pour laquelle Cauchy remercie Coriolis, on apprend le théorème suivant :

Pour obtenir le rayon de courbure d'une courbe en un point donné, il suffit de porter sur cette courbe et sur sa tangente, prolongées dans le même sens, des longueurs égales et infiniment petites, et de diviser le carré de l'une d'elles par le double de la distance comprise entre leurs extrémités. La limite du quotient est la valeur exacte du rayon de courbure. Nous avons déjà établi ce théorème pour les courbes planes ; mais on voit qu'il s'étend de même aux courbes à double courbure.

L'apport de Coriolis, celui du « rayon de courbure d'une courbe quelconque » (cf. citation de Cauchy), pourrait bien être relatif à ce théorème, qui est une extension à une courbe « à double courbure » (c'est-à-dire d'une courbe qui tourne dans l'espace et pas seulement dans le plan) d'une propriété établie pour les courbes planes (à simple courbure).

38. Wermuth [1992].



Cas d'une courbe plane : au point P on voit la tangente, la normale, le rayon de courbure r suivant la normale. Le rayon de courbure, inverse de la courbure, est le rayon du « cercle osculateur », qui est construit ainsi.

LES MOMENTS COMME RENCONTRE DE LIGNES DROITES

Mais, outre ses apports à Cauchy, Coriolis a ses propres résultats en mathématiques, notamment sur le sujet des moments. Ce sujet a la particularité – qui n'est sans doute pas étrangère à l'intérêt que Coriolis lui porte – de pouvoir être étudié en mathématiques (en géométrie, puissance d'un point par rapport à une droite), en statique (effet de levier, théorème des moments de Varignon) et en dynamique (moment d'une force par rapport à un point).

Un sujet présent tout au long de l'œuvre de Coriolis

Ce sujet va traverser son œuvre : c'est même le seul sujet de travail de Coriolis dont on arrive à suivre la trace sur une si longue période, de 1811 à 1835. C'est Coriolis lui-même qui nous donne la clef, dans un article de 1835 du *Journal de l'École polytechnique*. En introduction de cet article, intitulé « Sur la théorie des moments considérés comme analyse des rencontres des lignes droites », il fait référence à deux de ses travaux antérieurs.

Il mentionne tout d'abord un sien mémoire de 1811 à l'École des Ponts et Chaussées (quine semble pas avoir été conservé) :

Dans un mémoire composé en 1811 pour un concours à l'école des Ponts et Chaussées, j'ai indiqué comment, à l'aide de considérations statiques, on démontrait les deux modes de génération d'une surface gauche.

On retrouve d'ailleurs dans [Hachette 1813] la liste des prix à l'École des Ponts en 1810, 1811, 1812 : Coriolis y obtient, sans doute pour ce mémoire, le second prix dans la

catégorie «Mécanique appliquée», derrière Bélanger. On notera que seul le concours de 1811 comprend cette catégorie, ceux de 1810 et 1812 ne comprennent qu'une liste de sujets beaucoup plus appliqués. Nos deux ingénieurs des Ponts, Bélanger et Coriolis, avaient-ils déjà marqué leur promotion et l'École elle-même par leur goût de la théorie de la mécanique ?

Coriolis fait une autre mention de ce sujet dans la première phrase de son article de 1835, en faisant référence à un autre de ses écrits :

Depuis j'ai étendu ces considérations, et j'en ai déduit un assez grand nombre de théorèmes dont plusieurs ont été publiés en 1819 dans les Annales de mathématiques.

Notons qu'il est heureux que Coriolis nous indique ce fil d'Ariane sur le sujet, car son mémoire de 1811 aux Ponts n'a pas été conservé, et le sujet de 1819 du *Journal de Gergonne* n'est pas signé : il ne s'agit pas d'un article, mais de «Questions proposées», d'ordinaire non signées. Avec d'autres auteurs (Grattan-Guinness notamment), nous attribuons ces trois pages de 1819 à Coriolis pour les raisons suivantes :

- Ce sont les seules pages ayant trait au sujet des moments dans les *Annales de Gergonne* en 1819.
- Le style et les notations en sont très similaires, comme le montrent les extraits suivants :

(« Questions proposées », AMPA 1819) *Soient joints deux à deux par des droites ceux de ces points et des premiers dont les indices ne portent ni la répétition d'un même nombre ni même interruption dans les nombres, du plus petit au plus grand ; et soient désignées ces droites par l'ensemble des indices des deux points qui les déterminent, en cette manière (1)(23), (12)(3), (2)(34), (23)(4).*

(Article JEP de 1835) *Celles de ces droites qui joignent les points dont les indices réunis contiennent les trois mêmes numéros, se rencontreront. Si l'on désigne ces points de rencontre par ces trois numéros réunis, c'est-à-dire par (123), (345), (456), &c, on aura une nouvelle série de points à trois numéros.*

- Enfin, parce que Gergonne lui-même, dans un article³⁹ ultérieur de 1827, indique :

Au commencement de 1819 M. Coriolis me transmet, sans démonstration, un élégant théorème relatif à la géométrie de la règle. Sans même songer à la manière dont il pourrait être démontré, j'écris aussitôt son corrélatif à sa suite, et je les propose tous deux dans mon recueil (tome IX, p. 289).

39. En annotation d'un article de Poncelet, « Notes sur divers articles du bulletin des sciences de 1826 et 1827, &c. », *Annales de mathématiques pures et appliquées*, tome 18 (1827-1828), p. 125-142 [Numdam]. Gergonne fait dans cet article plusieurs remarques fort ironiques contre Poncelet, qui lui dispute une priorité sur les polaires. Il utilise sa publication de l'article de Coriolis en 1819, et le complément qu'il lui donne, à l'appui de son argumentaire contre Poncelet en 1828 : « au commencement de 1819 (...) mes idées sur la dualité de situation étaient alors déjà bien fixées » et, plus loin, « j'ai déjà prouvé que, dès 1819, la dualité des théorèmes de situation n'était plus pour moi une chose douteuse ».

On remarquera aussi que les « Questions proposées » de 1819 sont au nombre de deux, les « Théorèmes appartenant à la géométrie de la règle » et un « Problème d'analyse algébrique », tous deux non signés, le premier étant attribuable à Coriolis. Or ces deux sujets sont de facture très différente, comme le montrent d'ailleurs leurs titres et leurs longueurs respectifs. Le second correspond effectivement à des questions posées en fin d'énoncé, tandis que l'écrit de Coriolis ne propose pas au lecteur de problème à résoudre – il énonce des théorèmes. Le second tient en une demi-page, tandis que le premier tient en trois pages.

Cet écrit aurait pu faire l'objet d'un article signé, et non d'une « question proposée ». Pourquoi n'est-ce pas le cas ? Nous nous sommes demandé si c'est parce que Coriolis était un mathématicien peu connu et sans publication en 1819, à vingt-sept ans : ainsi il n'aurait pas signé son article, et Gergonne ne lui a pas proposé de le signer... On peut néanmoins trouver d'autres pistes pour répondre à la question ci-dessus. Plus élaborées, elles éclairent peut-être la façon dont Gergonne concevait son travail d'éditeur en 1819.

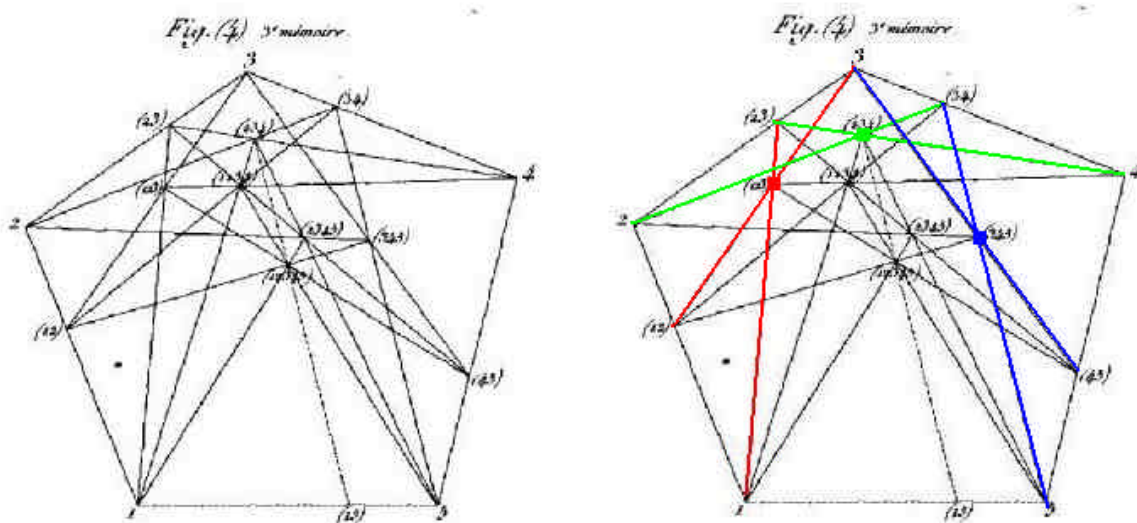
En effet, Coriolis propose un théorème relatif à la géométrie de la règle, « sans démonstration » insiste Gergonne. Même « élégant », même intuitif, un énoncé sans démonstration s'apparentait plutôt à un problème posé (charge aux lecteurs de proposer une démonstration qui serait publiée par la suite) qu'à un article scientifique. En outre, Gergonne nous précise qu'il « écrit aussitôt son corrélatif à sa suite » : on peut donc supposer que la deuxième partie du « problème posé », séparé en deux parties distinctes, est de Gergonne.



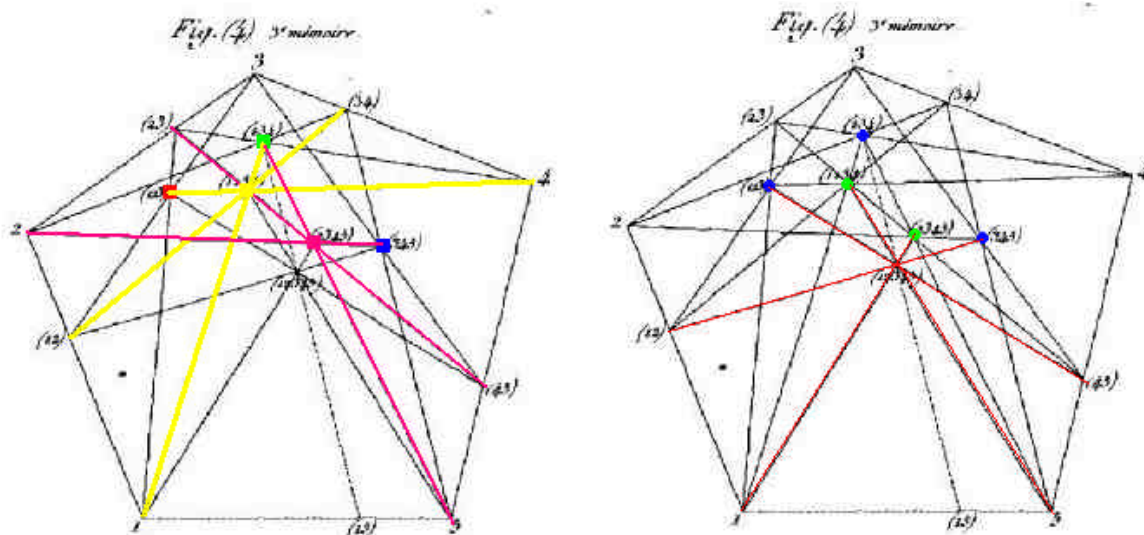
Coriolis part de n points, bâtit $(n-1)$ points sur les $(n-1)$ droites joignant les points initiaux, puis les $(n-2)$ points de concours de droites prises deux à deux, puis les $(n-3)$ points de concours de trois droites chacun, puis les $(n-4)$ points de concours de quatre droites chacun, ... enfin l'unique point de concours de $(n-1)$ droites. Gergonne part, lui, de n droites, bâtit $(n-1)$ droites passant par les $(n-1)$ points de concours des n droites initiales, puis $(n-2)$ droites contenant chacune deux des points déjà construits, puis $(n-3)$ droites contenant chacune trois des points déjà construits, ... enfin une droite unique contenant $(n-1)$ points ainsi construits. Le problème posé par Gergonne est le problème *dual* de celui posé par Coriolis. C'est donc une partition à deux auteurs que nous donne ce texte de 1819, sous forme de problème posé aux lecteurs dans les *Annales de mathématiques pures et appliquées*.

Une illustration du « problème posé » en 1819 par Coriolis (celui qui part de n points pour arriver à un point de concours unique) est donnée dans son article de 1835 (l'écrit de 1819 ne comporte pas de figures). On remarquera que la figure semble restreindre la généralité du sujet, puisque le point (12) est choisi à l'intérieur du segment constitué par

les points 1 et 2, et ainsi de suite à chaque fois – alors que le théorème reste vrai même si ce n'est pas le cas.



Légende : (à g.) figure de Coriolis, article de 1835 – on choisit 5 points numérotés de 1 à 5, et sur chacun des côtés, cinq autre points notés (12), sur le côté reliant 1 à 2, (23), etc. ; (à dr.) suivant Coriolis, on relie les points 1 à (23), et (12) à 3 – ces deux droites rouges nous donnent un point rouge noté (123) ; on relie 2 à (34) et (23) à 4 – ces deux droites vertes nous donnent un point vert noté (234) ; on relie 3 à (45) et (34) à 5 – ces deux droites bleues nous donnent un point bleu noté (345)



Légende : (à g.) étape suivante – on a reporté les points rouge, vert, bleu, qu'on va appeler « de première génération » – on relie le point rouge (123) à 4, le point 1 au point vert (234), enfin les points (12) et (34) : ces trois droites jaunes sont **concourantes** en un point jaune noté (1234) – on relie le point vert (234) à 5, le point 2 au point vert (345), enfin les points (23) et (45) : ces trois droites roses sont **concourantes** en un point rose noté (2345) ; (à dr.) étape finale pour 5 points, figure de Coriolis – attention on a changé les couleurs des points : les points de première génération (123), (234) et (345) figurent en bleu, et les points de seconde génération (1234) et (2345) figurent en vert – on relie alors le

point 1 au point (2345), le point (12) au point (345), le point (123) au point (45), le point (1234) au point 5 : ces quatre droites rouge son concourantes en un point rouge noté (12345).

Analyse comparée des articles de 1819 et 1835

Bien que l'article de 1811 n'ait pas été conservé, Coriolis le mentionne dans son manuscrit [ASM-AAS] – à preuve que ce sujet lui paraît, à la fin de sa vie, comme une réalisation importante de sa carrière :

Il avait eu de lui-même l'idée de l'emploi de la statique ou plutôt de la théorie des moments pour la solution de la question de rencontre des lignes droites (...) mais son mémoire ne paraît que beaucoup plus tard dans le Journal de l'École polytechnique.

On ne trouve cependant pas trace de cette approche par les moments dans l'article de 1819 – article malheureusement sans démonstration: on ne peut donc savoir quelle clef de résolution il propose à ce moment-là. Mais, d'après la citation de son « testament » ci-dessus, il avait déjà en mains en 1811 sa démonstration de 1835.

L'article de 1819 est bref, exclusivement géométrique – c'est quasi un problème de constructibilité (à la règle et sans compas). Gergonne ne s'y trompe pas, qui qualifie le problème de Coriolis comme « appartenant à la géométrie de la règle ».

Ce qui apparaît comme une approche géométrique du problème de rencontre des lignes droites (1819) se transforme explicitement en une approche mécanique du même problème (1835). L'intention de l'auteur est clairement affirmée à plusieurs reprises dès l'introduction du texte de 1835 :

Je crois qu'à cette époque on n'avait pas encore considéré les moments comme fournissant une analyse propre à résoudre certaines questions de la géométrie des rencontres.

(...)

On doit considérer dans les forces appliquées aux corps solides trois éléments : leur grandeur, leur direction et leur position. (...) La position peut se donner (...) par les trois moments de ces projections sur trois plans.

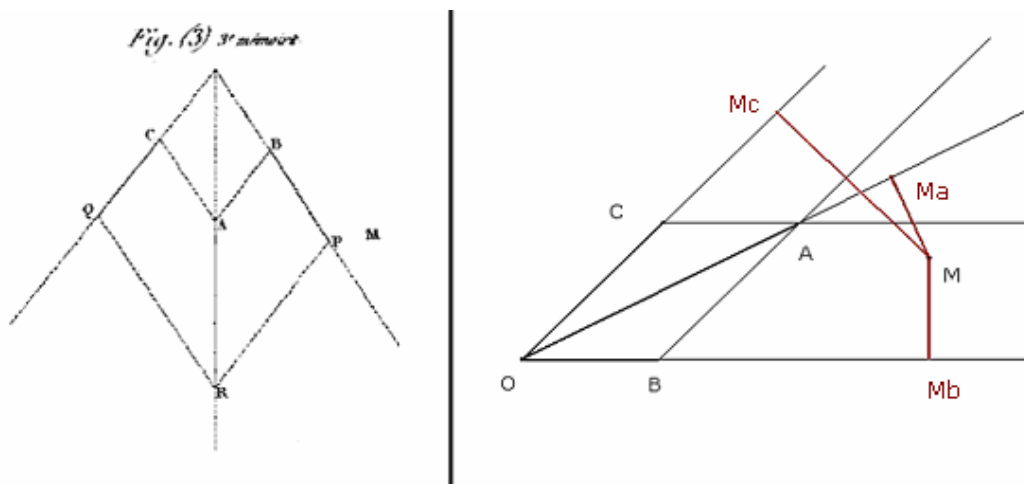
(...)

On sent donc comment les conditions d'équilibre des forces appliquées à un corps solide, exigeant que les dernières résultantes se rencontrent, entraînent les équations des moments entre les composantes de ces forces sur les plans coordonnés.

En 1835 apparaît dans le terme « moment » – nous ne sommes plus dans la géométrie pure :

Ainsi, veut-on vérifier si une droite AR (fig.3) passe par le point de rencontre de deux autres BP, CQ, tracées sur le même plan ; il suffira de porter sur AR une longueur qui soit la diagonale des deux longueurs prises en BP et CQ : la condition de rencontre sera qu'en prenant un point quelconque M, et faisant les produits des longueurs AR, BP et CQ par les perpendiculaires

abaissées de M sur ces droites, le produit répondant à AR soit la somme ou la différence des produits répondants à BP et CQ. Cette relation, dite des moments, est ainsi la manière la plus simple d'exprimer la condition de rencontre de AR avec les droites BP et CQ.



Légende : (à g.) figure de Coriolis ; (à dr.) on n'enlève rien à la généralité du sujet posé par Coriolis en le simplifiant comme suit : B et C sont posés au départ – les points P, Q et R (notations de Coriolis) se confondent avec O point de concours des droites OB & OC (droites PB & QC pour Coriolis). Le point A est construit par le parallélogramme, comme dans la figure de Coriolis.

Le théorème des moments (ou théorème de Varignon, 1688) exprime en fait l'identité vectorielle $\overline{OA} = \overline{OB} + \overline{OC}$ s'appliquant au parallélogramme, soit : la force s'exerçant de O vers A (qu'on appellera par extension force \overline{OA}) est la résultante *i.e.* la somme de la force s'exerçant de O vers B (force \overline{OB}) et de la force s'exerçant de O vers C (force \overline{OC}). On peut donc écrire :

$$\overline{OM} \wedge \overline{OA} = \overline{OM} \wedge (\overline{OB} + \overline{OC}) = \overline{OM} \wedge \overline{OB} + \overline{OM} \wedge \overline{OC} \quad (1)$$

Sachant que l'on a $\|\overline{OM} \wedge \overline{OA}\| = OA \times OM \times \sin(\widehat{OM, OA}) = OA \times MM_a$, et ainsi de suite pour B et C, l'égalité vectorielle (1) ci-dessus se traduit par :

$$OA \times MM_a = OB \times MM_b + OC \times MM_c$$

Cette égalité correspond à la phrase énoncée par Coriolis dans la citation ci-dessus (modulo le signe – l'égalité ci-dessus est valable en valeurs algébriques, en fait). On notera qu'il existe des cas d'angles obtus (non représentés ici) où les cosinus sont négatifs : des signes moins apparaissent alors dans la somme des produits de distance ; c'est pourquoi Coriolis précise « la somme ou la différences des produits répondant à BP et CQ ».



Une seconde différence entre les deux articles est que celui de 1835 est nettement plus élaboré, puisqu'il comprend pas moins de neuf théorèmes, qui par ailleurs sont

démontrés – alors qu'en 1819 c'était un simple énoncé. Le premier de ces théorèmes reprend celui de l'article de 1819, et la démonstration en est donnée de manière très succincte :

En effet , si l'on regarde les points de la première série comme des points d'application de forces parallèles dont les rapports de grandeurs soient tels que chaque point de la seconde série soit le point d'application de la résultante des deux forces répondant aux deux numéros successifs de la première série , c'est-à-dire aux extrémités du côté sur lequel se trouve ce point de la seconde série ; il est clair que chacune des deuxième, des troisième, des quatrième séries de droites contiendra le centre des premières forces appliquées aux points portant les numéros qui sont contenus dans la réunion des indices des deux points par où elles passent : elles devront donc se rencontrer au centre unique de ces forces parallèles.

On notera que dans cette démonstration seules interviennent des résultantes de forces (ce qui s'apparente à une construction géométrique), et non des moments de forces (qui feraient intervenir des produits de distance, comme Coriolis les considère par ailleurs dans son article (*cf.* ci-avant).

Coriolis donne aussi une application pratique du théorème principal, destinée à tester l'aptitude d'un dessinateur à tracer des lignes :

Ce théorème, quand on l'applique à des points sur un plan, donne un moyen commode de vérifier l'exactitude que met un dessinateur au trait à tracer des lignes et à marquer leur rencontre ; si toutefois il ne connaît pas l'énoncé ci-dessus. Pour cela on lui posera les points de la première série, puis on lui prescrira de les joindre (...). Alors il se trouvera plusieurs des droites qu'il aura tirées qui devront se rencontrer au même point, s'il les a bien tracées et s'il a marqué avec précision les points de rencontre. C'est donc ce qu'on reconnaîtra d'un coup d'œil.

Cette incise montre une vision très pratique des questions de géométrie ou de mécanique qu'avait Coriolis – elle est à rapprocher de sa conception d'un intégraphe en 1836, outil concret de calcul des surfaces. Sa démarche vers l'amont (appliquer des principes de statique et de mécanique rationnelle à la géométrie) se double d'une inventivité à l'aval (de la mécanique au dessin « industriel »), à laquelle correspond cette incise.



Il énonce dans la suite de l'article plusieurs théorèmes analogues. Après le premier résultat (celui correspondant à l'article de 1819), il ne reprend pas à son compte le problème dual donné par Gergonne en 1819 – peut-être parce qu'il correspond beaucoup plus à un problème de construction géométrique. Les deux théorèmes suivants, qui s'appliquent comme le premier à des lignes droites quelconques dans l'espace, font intervenir des produits de distances, donc des moments.

Les théorèmes quatrième et cinquième ont trait à la rencontre de droites sur une sphère, c'est-à-dire de grands cercles ; ils correspondent à l'application des théorèmes

premier et second à la sphère. Déjà, en 1819, le « problème posé » se terminait par une incise (était-ce une idée de Coriolis ou de Gergonne ?) précisant que les deux théorèmes proposés étaient vérifiés avec les grands cercles d'une sphère, sachant que dans ce cas « les points d'intersection sont en nombre deux fois plus grands que dans un plan⁴⁰ » : on a lieu de penser que c'était plutôt une idée de Coriolis.

Coriolis, quel apport sur les transversales ?

Que nous dit Coriolis sur le sujet, par rapport à ce que Jean Ceva en 1678 (que Coriolis mentionne en indiquant avoir eu connaissance de ses travaux après les siens propres), Carnot en 1800, Poncelet ou Chasles ne nous ait déjà dit ? Il est difficile de se prononcer sur cette question, mais il semble que Coriolis apporte une vision de statique et de mécanique rationnelle à un problème qui était traité de manière purement géométrique par ces autres auteurs, dans la lignée du théorème dit de Ménélaus (Chemla [1998]).

La grande tradition géométrique depuis l'Antiquité, celle qui mène du problème de Pappus à l'invention des coordonnées par Descartes⁴¹, du théorème de Ménélaus aux transversales de Carnot, était la voie royale de résolution des problèmes. Coriolis s'en affranchit, apportant une autre méthode à des résultats connus, et en trouvant d'autres ; c'est la *méthode* qui l'intéresse, comme il indique dès l'introduction de son article :

Je le fais moins pour ces théorèmes en eux-mêmes que pour bien montrer l'essence de la théorie des moments

Cette originalité va de pair avec une autre originalité, qui lui est liée, à savoir la concision des termes de démonstration. Certes, c'est la manière de Coriolis d'avoir un style souvent elliptique, mais la concision est aussi liée, dans ce cas, à la méthode choisie – celle des résultantes et des moments. La citation ci-dessus (« En effet... parallèles ») est représentative de cette grande élégance démonstrative. Michel Chasles ne s'y trompe pas, qui dans son traité concomitant (Chasles [1837]) indique à propos de l'article de Coriolis :

M. Coriolis y démontre, en peu de mots et sans calculs, par la théorie des moments, des théorèmes de la nature de ceux qui se trouvent dans la théorie des transversales de Carnot, mais qui présentent une plus grande généralité. On y remarque particulièrement une démonstration de la double génération de l'hyperboloïde à une nappe par une ligne droite.

Chasles relie les résultats de Coriolis au mémoire de Ceva de 1678, qu'il avait commenté en note VII de son ouvrage – il indique dans ses addenda que la note de Coriolis « a le même objet que cet ouvrage de Ceva ». Coriolis lui-même avait indiqué en introduction :

40. En géométrie sphérique, les droites (géodésiques) sont les grands cercles, qui à la différence de droites dans un plan se coupent en deux points et non en un seul.

41. Sur la façon dont Descartes introduit les « coordonnées cartésiennes » à partir du problème antique de Pappus, voir l'article d'André Warusfel, « Le Livre Premier de la Géométrie de Descartes », site *BibNum*, novembre 2009 (en ligne à <http://www.bibnum.education.fr/mathematiques/geometrie/le-livre-premier-de-la-geometrie-de-descartes>)

(*) M. Olivier, professeur à l'École des Arts et Manufactures et répétiteur à l'École Polytechnique, vient de me montrer un Traité publié en 1678 par Jean Céva, sous le titre de *De rectis lineis invicem secantibus statica constructio*. On voit par le titre même que cet ouvrage contient l'idée de ce petit Mémoire. Cependant, comme je n'ai trouvé dans l'auteur italien, parmi les propositions que je donne ici, que la neuvième et la deuxième appliquées au triangle, et que d'ailleurs l'impression et la planche de ce Mémoire étaient terminées, je n'ai pas cru devoir le retirer de ce Recueil.

Chasles rappelle la méthode de Ceva basée sur la statique : on place des poids bien choisis aux intersections de droites, et des rapports entre les poids, donnés par « le principe statique du levier », on déduit des rapports entre les segments. Mais, comme le souligne Coriolis, il ne s'intéresse qu'au triangle – on en restait à l'idée des transversales⁴², et on en restait à l'approche antique de Ménélaüs en géométrie plane. Par ailleurs, la démonstration de Ceva retranscrite par Chasles, quoique simple, comporte encore quelques calculs.

Finalement, l'apport de Coriolis nous paraît être : 1°/ par rapport à Ceva qui avait eu l'idée de la statique, sa grande généralité de résultats (figure quelconque à n points dans l'espace, et non plus simplement transversales d'un triangle) ; 2°/ par rapport à Carnot, la méthode elle-même ; 3°/ par rapport aux deux, l'élégance démonstrative hors calculs, ainsi que certains résultats complémentaires.

42. Une transversale est, sur le plan, une droite qui coupe chacun des côtés d'un triangle sans intercepter un de ses sommets.

Chapitre 4. La définition physique du travail

Un des apports majeurs généralement attribués à Coriolis est celui de la définition physique du *travail*. Même si cette attribution est discutée par certains (nous examinerons cela plus avant), il est certain que Coriolis contribue de manière décisive à la définition physique du travail. Par *définition physique*, on entend à la fois le fait de proposer une appellation à l'entité Fds , produit de la force appliquée par l'unité de longueur (auparavant appelée de diverses manières), mais aussi – ce qui est moins souvent souligné – donner une correspondance en physique à la notion de travail issue du langage commun.

Avant d'être développée dans le *Calcul* en 1829, la proposition de Coriolis apparaît pour la première fois dans un mémoire d'août 1826 à l'Académie des sciences⁴³. C'est le premier écrit connu de Coriolis en mécanique, puisque ses notes de 1819 n'ont pas été retrouvées : ce document manuscrit a un statut officiel – il constitue une réponse au concours lancé par l'Académie – tandis que ses notes de 1819 n'avaient pas de statut officiel. Ce mémoire s'intitule « Observations sur le choix d'une nouvelle dénomination et d'une nouvelle unité dans la dynamique » ; Laplace, Fourier et Navier en sont nommés rapporteurs. S'agissant d'un apport déterminant de Coriolis en mécanique, nous détaillerons son approche du sujet, en puisant à la fois dans son mémoire de 1826 et dans son ouvrage de 1829.

LA NOTION DE TRAVAIL

Le mot travail est proposé comme une définition physique

Coriolis rappelle la quantité à laquelle il s'agit de trouver une dénomination :

Cette quantité peut se définir de la manière suivante :

Si un point en mouvement est soumis à une force, qu'on prenne la composante de cette force dans le sens de la courbe décrite par le point, et qu'on multiplie cette composante par la différentielle de l'arc parcouru, l'intégrale de l'élément différentiel que forme ce produit sera la quantité en question [NB : il s'agit de l'intégrale $\int Fds$] (...)

L'objet de cette note étant de proposer un nom pour cette quantité.... [1826]

L'objectif est en effet d'unifier un certain nombre d'appellations qui ne l'avaient jamais été auparavant :

43. On peut trouver ce mémoire manuscrit dans la pochette de la séance du 7 août 1826. Dans [ASM-AAS], Coriolis indique que c'est dans ses notes manuscrites, écrites entre 1817 et 1819, qu'il « introduisit la dénomination de travail appliquée à l'intégrale qui entre dans l'équation des forces vives, dénomination qui a été généralement adoptée ».

J'ai employé dans cet Ouvrage quelques dénominations nouvelles : je désigne par le nom de travail la quantité qu'on appelle assez communément puissance mécanique, quantité d'action ou effet dynamique. [1829, Avertissement]

Les géomètres ont donné différents noms aux quantités de l'espèce de $\int Pds$: on les a appelées effet dynamique, puissance mécanique, quantité d'action, et même simplement force, en détournant ce mot de la signification ordinaire. [1829, §14]

De manière liée, l'objectif de l'Académie est aussi de trouver une désignation qui puisse se répandre facilement, chez les savants comme chez les professeurs et les élèves, les diverses dénominations antérieures n'ayant pas rempli ce rôle :

L'objet de cette note étant de proposer un nom pour cette quantité, de présenter des observations sur le choix de son unité et de faire sentir en même temps combien il est utile d'en rendre la notion commune (...) [1826]

Il y avait donc, aussi, le souhait de trouver un terme qui puisse se répandre : à cet égard, le choix par Coriolis de transposer dans le domaine de la mécanique un terme utilisé dans le domaine courant et dans le domaine économique était un excellent choix :

*(**) Ce mot de travail vient si naturellement dans le sens où je l'emploie, que, sans qu'il ait été proposé, ni reconnu comme expression technique, cependant il a été employé accidentellement⁴⁴ par M. Navier (...) et par M. de Prony (...) [1829]*

La locution « expression technique » est là particulièrement significative : Coriolis va donner une signification physique au mot travail. Ce faisant, Coriolis ne procède pas simplement à une unification d'appellations – il fait correspondre une notion qui jusqu'alors était une notion économique ou de bon sens (le travail) à une grandeur physique $\int Fds$ telle que décrite ci-dessus. Il donne ce contenu physique au mot « travail » que conservera la postérité.

Le mémoire de 1826

Ce mémoire est le document effectif de présentation du terme physique de « travail ». D'emblée, dans ce qui est son premier mémoire à l'Académie, Coriolis indique quelle est sa légitimité pour s'adresser à elle :

Comme répétiteur de mécanique à l'École polytechnique et comme ingénieur des Ponts et chaussées, j'ai eu occasion de faire depuis longtemps diverses études sur la théorie des machines.

Coriolis va essayer d'établir ce qu'il appelle dans le début de son mémoire « la quantité d'action » d'un moteur comme une véritable grandeur physique correspondant à la notion économique du travail :

44. Nous reviendrons sur ces antériorités potentielles, emplois « accidentels » du mot travail selon Coriolis.

Il me suffira pour l'objet de cette note de montrer que c'est à cette quantité [NB : la quantité d'action définie plus haut] que se rapportent toutes les questions d'économie dans les machines.

Il s'agit pour lui de montrer 1°/ que la quantité $\int Fds$ correspond à une grandeur physique, au sens où elle est effectivement *mesurable* (au même titre que la vitesse ou le volume, et avec les mêmes approximations de mesure), 2°/ que cette grandeur physique est directement en rapport avec l'acception usuelle du « travail » fourni, au sens économique du terme. La clef de la correspondance – presque une démonstration donnée par Coriolis – est là :

Le travail qu'une machine reproduit indéfiniment en produisant un certain effet, comme le brisement d'une certaine mesure de blé, la torsion d'une certaine longueur de fil, l'aplatissement d'une certaine longueur de barre de fer est proportionnel au nombre de ces effets. Comme le même effet est accompagné des mêmes forces et du même déplacement, conséquemment de la même quantité d'action, il en résulte que le travail produit est proportionnel à la quantité d'action⁴⁵ totale due aux forces que ce travail a fait naître sur la machine.

C'est la première étape du raisonnement : le travail produit, au sens commun du terme – le concassage d'un litre de blé par un moulin, ou le laminage de moitié d'épaisseur d'une barre de fer de longueur initiale d'un mètre par une presse – est proportionnel à la *quantité d'action* développée par la machine – moulin ou presse. La deuxième étape du raisonnement suit immédiatement :

(...) mais comme cette quantité d'action totale due à l'effet produit est sensiblement égale à celle qui est due au moteur en supposant un instant qu'on puisse négliger les frottements ; il en résulte que dans une même machine, le travail produit est sensiblement proportionnel à la quantité d'action due au moteur.

*(...) Il en résulte que les quantités de blé moulues par des moteurs différents avec des machines différentes sont proportionnelles aux quantités d'action de ces moteurs. **Ces quantités d'action mesurent donc les quantités de travail produit.***

La dernière phrase – c'est nous qui soulignons – résume à elle seule le raisonnement de Coriolis. La correspondance entre trois notions est ainsi établie, illustrons-la avec deux exemples :

- le travail fourni par la machine à vapeur de Watt (travail du moteur, n°1) est proportionnel au travail induit dans la presse qu'il meut (travail induit dans l'outil, n°2), lui-même proportionnel au travail économique résultant, le laminage de moitié d'une barre de 1 mètre (travail effectif, n°3)
- le travail fourni par une roue à aubes au fil d'une rivière (travail du moteur, n°1) est proportionnel au travail induit dans la roue de concassage (travail induit dans l'outil, n°2), lui-même proportionnel au travail économique résultant, le concassage d'un litre de blé en farine.

45. Souligné à la main par Coriolis.

Travail n°1		Travail n°2		Travail n°3
Travail ou quantité d'action de la machine	↔	Quantité d'action des forces produites par la machine (presse, roue de concassage)	↔	Travail effectif produit (laminage d'une barre, concassage d'un litre de blé)

On retrouvera la même analyse dans le rapport introductif que fait Navier sur le Calcul en 1829 :

L'auteur (...) nomme travail la valeur de l'intégrale dont on vient de parler ; valeur qui est effectivement, ainsi qu'il l'explique en détail, la véritable expression numérique des actions exercées par les moteurs sur les machines, et par les machines sur les résistances qu'elles doivent surmonter pour remplir l'objet auquel elles sont destinées.



Coriolis est néanmoins insatisfait d'avoir négligé le frottement : entre travail n°1 et travail n°2, travail n°2 et travail n°3, existent certaines pertes dues au frottement, par exemple des roues sur leur axe, ou des grains de blé autour de la roue,...

Ceci n'enlève cependant rien au raisonnement : le travail du moteur est la grandeur physique «mesurant les quantités de travail produit». Pour en convaincre son lecteur et renforcer son propos, il va traiter la question du frottement en faisant une analogie avec la notion de volume⁴⁶ – acceptée par tous comme une grandeur physique. Il utilise de deux manières cette analogie, qui nous montre à quel point il était nécessaire à cette époque de faire accepter la notion de travail comme une grandeur physique – c'était loin d'être le cas.

La première analogie entre volume et travail se fait en comparant les pertes de travail dues au frottement et les pertes de volume liées à la découpe des corps :

(...) on établit la valeur de certains corps en estimant leurs volumes, comme on le fait pour les bois, pour la pierre et pour beaucoup d'autres. On admet qu'avec un corps qui a un volume de deux unités, on peut faire deux volumes unitaires. Or, pour réaliser cette conception, il faut scier [NB : bois] ou tailler [NB : pierre] ce corps et en perdre une partie pour cette opération. Dès lors la rigueur de l'évaluation géométrique [NB : mathématique] ne subsiste plus pour l'évaluation en argent. Dans ce rapport, il y a tout à fait analogie entre le volume de certains corps et la quantité d'action que peuvent produire les moteurs. Les pertes dues au frottement dans les machines correspondant aux pertes de matière dues à la division des corps.

La seconde analogie, moins intuitive, a trait à ce qu'on pourrait appeler frais fixes ou frais d'établissement :

46. Cette même analogie apparaît aussi au §28 du *Calcul*.

(...) pour évaluer des moteurs différents par les quantités d'action qu'ils peuvent produire, on suppose qu'on ait construit des machines propres à appliquer ces moteurs au même travail. Ces constructions exigent des dépenses qui entrent dans la comparaison des valeurs des moteurs. Là se retrouve encore la même analogie avec l'estime des pierres, des bois ou des métaux par leur volume. Cette estimation dans le commerce exige aussi que l'on ait égard à ce qu'il en coûte en machine et en main d'œuvre pour effectuer les divisions et les réunions de matière afin de ramener ces corps à des volumes unitaires qui servent de comparaison.

Mais, dans un cas – volume –, comme dans l'autre – quantité d'action –, ces grandeurs sont directement liées à la notion qu'on souhaite caractériser économiquement. Elles en constituent le fondement :

Mais bien qu'à cause de ces pertes et de ces frais pour changer d'une part les éléments de volume et [d'autre part] la quantité d'action ces quantités ne soient pas toujours ce qui établit seulement la valeur dans le commerce [NB : ces quantités ne sont pas les seules prises en compte dans l'établissement de la valeur commerciale], elles sont néanmoins les principaux éléments de cette valeur.

On est encore assez loin de la définition des frais variables – mais l'intuition de Coriolis est réelle quand il montre que, hors frais fixes, la valeur économique est directement proportionnelle à la quantité d'action. De cette analogie, Coriolis déduit :

On sent donc combien la notion précise de cette quantité [NB : la quantité d'action] a besoin d'être répandue. Mais il importe pour cela de lui donner un nom définitif et de fixer son unité. Après cela on pourra, si l'on veut, fixer encore l'unité de dépense continue en 24 heures.

(...) Examinons donc d'abord quel nom peut le mieux convenir à la quantité en question dont les éléments sont le chemin parcouru et la force dans le sens de ce chemin.

Coriolis élimine le mot quantité d'action – tout en précisant qu'il s'en est servi au cours du document – parce que, selon lui, le terme *action* renvoie à la notion de force (action et réaction), ou au principe de moindre action, «intégrale de la vitesse multipliée par la différentielle de l'arc décrit». Il élimine successivement *puissance* car sujet à confusion, *effet dynamique* parce que peu susceptible de se répandre. Puis arrive la fameuse proposition du terme *travail*, la première fois, donc, en août 1826 :

Je proposerais de donner à la quantité en question le nom de travail. Ce mot ne fera confusion avec aucune autre dénomination mécanique (...) L'idée de force et de chemin y est attachée car on ne dirait pas qu'il y a un travail produit [là] où il y a seulement un effort exercé sur un point immobile comme dans une machine en équilibre. On n'appliquerait pas non plus l'expression de travail à un déplacement sans aucune résistance vaincue. Ce mot me paraît tout à fait propre à désigner la réunion des deux éléments chemin et force.

Coriolis poursuit dans sa volonté d'imposer le vocable *travail* comme unité :

On serait déjà compris si l'on parlait du travail qu'un cheval produit par jour, du travail que peuvent [sic] donner la combustion de cent kilogrammes de charbon, du travail que produit une

machine à vapeur en 24 heures. Ce nom se répandra facilement sans qu'il y ait à craindre la moindre confusion.

Dans les cours de mécanique destinés aux applications, on définirait le travail en même temps qu'on définirait la vitesse, la force, la quantité de mouvement et les autres quantités dynamiques : on dirait le travail dû à telle force appliquée en tel point (...) ces expressions sont de nature à être facilement comprises.

Y avait-il le souci chez Coriolis d'avoir une notion claire et cohérente à expliquer à ses élèves, comme il proposera en 1829 de redéfinir la notion de *force vive* pour qu'elle soit plus compréhensible par ses élèves ? En tout état de cause, Coriolis va jusqu'au bout de sa logique – et de la logique induite par l'Académie dans sa question – en mettant le travail sur le même plan que d'autres unités physiques bien connues, telles la vitesse ou la force.

La notion de travail dans le Calcul

La présentation de 1826 et celle de 1829 ont de nombreux points communs – d'ailleurs certains paragraphes sont les mêmes. L'approche de 1829 est toutefois légèrement différente. En 1826, il s'agissait de montrer, dans un concours à l'Académie, que le concept économique ou usuel de travail pouvait être mis en relation avec $\int Fds$. En 1829, ce point paraît acquis – il revient dans l'*Avertissement* mais n'est pas développé : il s'agit plus – dans ce traité d'un certain volume avec force formules, qui n'est plus un mémoire de quelques pages entièrement rédigé et sans formule aucune – de faire résonner un certain nombre d'autres concepts à l'unisson du travail, ne serait-ce que *Fds* qui entre dans l'intégrale $\int Fds$. En 1826, Coriolis ne s'intéresse qu'à la « quantité intégrée » ; en 1829, il part de la notion infinitésimale, qu'il va baptiser « quantité de travail élémentaire ». Dans le *Calcul*, Coriolis est « à la manœuvre » pour convaincre les géomètres de la mécanique rationnelle d'accepter la notion de travail, en montrant sa cohérence avec d'autres concepts – une sorte de cohérence interne ou de caractère autoportant de cette notion.

Il procède ainsi à une démarche méthodique dès les premières notes du *Calcul*, introduisant successivement trois quantités pour mieux mettre en valeur la dernière d'entre elles :

- En §8, il commence par introduire la notion de *travail virtuel élémentaire*, produit de la *vitesse virtuelle* (qu'il a définie un peu laborieusement plus haut) par la composante de la force projetée sur la direction de la vitesse, soit en notations modernes fds ou fdx ⁴⁷. Coriolis substitue cette notion à celle de *moment virtuel* qui avait cours jusqu'alors, notamment chez les géomètres.

47. Selon qu'on considère une trajectoire courbe (abscisse curviligne ds) ou une trajectoire droite (abscisse cartésienne dx).

- En §11, il introduit la notion de *travail élémentaire*, qu'il écrit

$$p/g \int d^2e/dt^2 \int de$$

qu'on pourrait traduire en notations modernes $mgds$ ou fds . Le *distinguo* entre travail virtuel élémentaire et travail élémentaire n'est pas clair, puisque les deux définitions correspondent au même résultat fds : il semblerait que Coriolis cherche à convaincre, là aussi, les «géomètres» d'abandonner leur notion de moment virtuel, pas nécessairement associée à un mouvement effectif, en associant cette notion à la notion équivalente des mécaniciens (qui correspond à un mouvement effectif), qui n'est pas baptisée par eux, et que Coriolis baptise donc *travail élémentaire*.

Autrement dit, c'est une tentative d'unification des notations entre géomètres et mécaniciens à laquelle Coriolis se livre ici, comme il le fera pour la notion de force vive. En §12, sûr de sa définition du travail élémentaire, il abandonne les italiques et nous livre la définition suivante, encore en vigueur de nos jours :

ds étant le petit arc décrit que nous prenons pour vitesse virtuelle, il s'ensuivra que le travail élémentaire, dû à chacune de ces forces données sera le produit Pds .

- Enfin, troisième étape, en note §16, après ces deux définitions, il en arrive à la définition du travail comme étant l'intégrale des travaux élémentaires $\int Pds$.

Nous proposerons la notion de travail dynamique, ou simplement travail, pour la quantité $\int Pds$ définie comme on vient de le dire. Ce nom ne fera confusion avec aucune autre dénomination mécanique ; il paraît très propre à donner une juste idée de la chose, tout en conservant son acception commune dans le sens de travail physique (...) Nous verrons d'ailleurs, à mesure que nous avancerons, que les propriétés des quantités telles que $\int Pds$ donnent encore plus de motifs de les désigner par le nom de travail.

Il y a là une grande habileté sémantique et de raisonnement de Coriolis à introduire ainsi – par étapes (travail virtuel élémentaire, travail élémentaire, travail) – la notion de travail. De la même manière qu'il tâche d'unifier la notation des géomètres et celle des mécaniciens, il tente d'unifier les notations relatives à Pds (travail élémentaire) et $\int Pds$ (travail). Beaucoup plus logiquement qu'avec les intitulés antérieurs, le travail devient l'intégrale des travaux élémentaires – et c'est pourquoi Coriolis propose que le travail remplace les notations trop diverses des géomètres : *effet dynamique, puissance mécanique, quantité d'action, force*.



Remarquons néanmoins, de manière incidente, que, dans l'ouvrage de 1829, Coriolis va parfois moins loin qu'il ne le pourrait. La proposition du terme est moins nette qu'en 1826, Coriolis mentionnant aussi le « travail dynamique » (*cf.* ci-dessus), terme qu'il n'utilisait pas en 1826. Aussi, parlant de l'équation des forces vives [§18], il parle pour $\sum \int Pds$ de « la somme des quantités de travail dues aux forces mouvantes » : la locution « le

travail dû au forces mouvantes» serait amplement suffisante – par la suite Bélanger ([1866]) critiquera, chez d'autres auteurs mais aussi chez Coriolis, l'utilisation de « quantités de travail » au lieu du simple « travail » ; sans doute l'analogie avec le terme de *quantité d'action* en vigueur antérieurement était encore présente, y compris chez Coriolis.

Il n'est toutefois pas si étonnant que ces termes soient employés en 1829 : le mémoire manuscrit de 1826 est bref, destiné à être lu par les académiciens uniquement ; l'ouvrage de 1829 est beaucoup plus complet et didactique. Coriolis peut se permettre d'utiliser des termes intermédiaires comme « quantité de travail » : cela permet à ses pairs lecteurs de s'accoutumer au terme « travail », et n'enlève rien à la novation apportée par l'auteur.

L'emploi de la locution « quantité de travail » est aussi à mettre en regard avec les expressions homologues qui avaient cours jusqu'à ce moment-là, comme « quantité d'action » ou « quantité de mouvement » : l'idée commune était de donner une valeur physique – quantifiable – à une notion commune, comme le mouvement, l'action ou le travail⁴⁸. À l'opposé de cette approche, Bélanger aura sans doute raison de stigmatiser la notion de « quantité de travail », en rappelant qu'on ne parle pas de « quantité de volume » ou de « quantité de longueur ».

Ainsi, même si du vivant de Coriolis, ses contemporains lui attribuent la notion de travail, l'expression peine encore à passer dans son expression la plus simple. Dans une annexe, intitulée *Addition relative à l'usage du principe des forces vives dans le calcul...* de la deuxième édition de son *Traité de mécanique*, Poisson ([1833]) mentionne Coriolis à propos du travail – c'était une forme de consécration que d'être mentionné dans le "Traité de mécanique" d'un éminent géomètre, et prouve que Coriolis les avait convaincus. Mais c'est encore l'expression « quantité de travail », par analogie avec « quantité d'action », qui vient sous la plume de Poisson :

Les produits Pdp et Qdq [sic], dont les sommes sont soumises à ces intégrations, ont reçu différentes dénominations : on les appelle quantités d'action, moments d'activité, effets dynamiques, des forces P et Q . Il serait à désirer qu'on les appelât toujours par un même nom. M. Coriolis a proposé de les nommer quantités de travail élémentaire ; nous adopterons cette dénomination. Les sommes $S Pdp$ et $S Qdq$ seront donc....



Finalement, nous nous sommes demandé quelle était la source pour la définition du *travail* par Coriolis : le mémoire de 1826 ou l'ouvrage de 1829 ? Il est incontestable que la définition physique de la notion de travail date du manuscrit de 1826. Cependant, les deux présentations sont légèrement différentes et ont toutes deux leur intérêt.

48. Il est intéressant de voir ce que représentent ces trois notions aujourd'hui : *quantité d'action* et *quantité de travail* ont disparu au profit de la notion de *travail*, proposée par Coriolis. La *quantité de mouvement mv* a été conservée (elle est toujours en usage en français et dans les langues latines).

Le mémoire de 1826 est bref, entièrement rédigé sous forme littéraire, sans formule aucune, à caractère vulgarisé, et très condensé sur la notion de travail. L'ouvrage de 1829 est un *Traité* à usage de ses pairs et du monde savant en général, avec de nombreuses formules, et supposant un certain nombre de concepts acquis.

Chatzis ([1997]) indique que le travail est présenté comme simple innovation terminologique au début de l'ouvrage de 1829 de Coriolis, et accède progressivement au statut de concept : cette remarque est à la fois vraie et fausse. Il est vrai que dans son ouvrage, Coriolis arrive progressivement à la notion de travail, après la définition du travail élémentaire, du travail virtuel, comme nous venons de le voir, à la fois pour des raisons pédagogiques et vis-à-vis du monde savant. Cependant, Coriolis introduit le concept de travail dans son acception globale et innovante dès l'Avertissement de l'ouvrage – et ce parce qu'il a déjà largement explicité cette notion dans son mémoire de 1826. En ce sens, c'est plus cet écrit-là qui est réellement novateur, et à l'origine du mot « travail » en physique.

LES INSPIRATEURS DE CORIOLIS

À propos du terme *travail*, examinons à qui Coriolis se réfère et quels sont les travaux précurseurs sur cette notion importante, encore en vigueur de nos jours.

En page II de son avertissement, il cite Petit, Navier, Poncelet, et indique que leurs « publications [lui] ont ôté aujourd'hui toute priorité sur quelques idées où il était naturel de se rencontrer ». De manière plus précise, il indique n'avoir eu connaissance, *au début de ses travaux*, que de ceux de Carnot et Guényveau, et qu'entre le début de ses travaux et leur présente publication sont venues les contributions de Petit, Navier et Poncelet⁴⁹.

Ce propos prudent, qui semble s'appliquer à la globalité de l'ouvrage, contraste avec une note du bas de la page suivante (page III), où Coriolis, au sujet spécifique de la notion de travail, est beaucoup plus affirmatif sur le caractère novateur de sa définition :

Ce mot de travail vient si naturellement dans le sens où je l'emploie, que, sans qu'il ait été ni proposé, ni reconnu comme expression technique, cependant il a été employé accidentellement par M. Navier dans ses Notes sur Bélidor, et par M. de Prony dans son Mémoire sur les Expériences de la Machine du Gros-Caillou.

Notons le ton assez inhabituellement sûr de lui de l'auteur : Coriolis est bien conscient que, si son traité *Du calcul de l'effet des machines* rencontre les travaux d'autres mécaniciens –

49. Concernant Petit et Navier, leurs publications sur le sujet datent de 1819 : c'est donc au début des travaux de Coriolis sur le travail des machines qu'elles paraissent. S'il commence en 1817 (d'après ses propres dires [AAS-ASM]), pour produire ses notes manuscrites de fin 1819, il ne connaît pas ces travaux ; toutefois il vient sans doute à les connaître très rapidement après leur publication, au moins dès 1820. Mais ses propres travaux allant plus loin que ceux-ci, il aurait pu être plus explicite sur l'apport de Navier et de Petit. Concernant Poncelet, c'est plus délicat, du point de vue des dates effectives de *publication* (le premier apport de Poncelet date de mars 1826) comme du point de vue des contenus, plus proches : c'est pourquoi nous ferons cette comparaison plus en détail ci-après.

tout en en faisant une présentation globale –, certaines idées comme la définition du travail lui sont propres.

Examinons donc à quoi Coriolis fait allusion quand il parle lui-même d' «emploi accidentel» du mot *travail* chez Navier et Prony.

L'« emploi accidentel » du mot travail chez Navier

Concernant Navier, son texte⁵⁰ a déjà été étudié en regard de celui de Coriolis à diverses reprises (Vatin [1993], Chatzis [1997]). Rappelons qu'il s'agit de la réédition en 1819 de l'ouvrage de Bélidor, augmenté de notes importantes de Navier : notes de bas de page, notes annexes aux chapitres. Comme le dit Prony dans son rapport à l'Académie imprimé en préface du livre⁵¹, les compléments de Navier remplacent souvent bien avantageusement le texte de Bélidor lui-même, compte tenu des progrès de la science : Prony limite d'ailleurs son rapport aux notes de Navier.

Pour Vatin, chez Navier le travail n'est pas un concept physique déterminé, mais une notion de sens commun et d'interprétation économique⁵². Navier, comme Coulomb, n'emploie pas le terme « travail » dans le sens physique qu'impose Coriolis. Les premières occurrences du mot chez Navier semblent confirmer cette interprétation :

la quantité de travail que [les machines] exécutent, et le prix de ce travail.



Mais voyons néanmoins quelle est la partie physique de l'exposé de Navier. Il émet l'idée que «le genre de travail le plus propre à servir à l'évaluation de tous les autres est l'élevation verticale des corps pesants». Cette phrase est celle qui se rapproche le plus de la définition de Coriolis. Mais Navier reste là dans une évaluation relative et qualitative, comme le montre l'emploi du pluriel (« tous les autres») appliqué à la notion de travail : il n'y a pas chez Navier un souci d'unification en une notion physique – l'emploi du pluriel montre une conception qui reste vague. Même si l'intuition est là du choix de l'énergie potentielle comme étalon du travail, le raisonnement physique ne va pas au-delà.

En outre, les formulations physiques restent plus rudimentaires que chez Coriolis : Navier introduit la valeur Qq , produit de Q pression qui s'exerce au point d'application de

50. *Notes sur Bélidor*, 1819, pages 376-396.

51. On retrouve là une autre occurrence de la pratique qu'adoptera Coriolis dix ans plus tard lors de la publication de son *Calcul de l'effet des machines* : présentation du manuscrit à l'Académie des sciences pour établissement d'un rapport, inclusion du rapport en préface de l'ouvrage imprimé et diffusé.

52. Vatin va même jusqu'à considérer que ce texte, « malgré sa notoriété en histoire des sciences », n'apporte aucun élément nouveau du point de vue de la physique ; ce texte viserait en fait à montrer que « la quantité d'action » (notion de Coulomb que finalement Navier conserve) est un bon instrument d'évaluation économique. Selon cet écrit de Vatin (que Chatzis [1997] qualifie de « tendancieux »), ce texte ne peut se comprendre que dans un cadre d'interprétation économique. Nous tempérerons cette interprétation, le texte de Navier comportant des intuitions physiques intéressantes, notamment pour la définition du $\text{kg}\cdot\text{m}$. Nous reviendrons sur ce sujet à propos du débat sur les unités.

la résistance, par q l'espace parcouru par ce point dans le sens de cette pression et dans un temps donné. Cette valeur Qq est la « quantité de travail » ou *l'effet* de la machine. Page suivante, Navier appelle Pp la « quantité d'action » qui se consomme au point d'application du moteur. On reste dans un foisonnement de concepts.

Ceci dit Navier, comme Coriolis, se pose déjà la question d'une unification des terminologies, et, à la différence de Coriolis, il nomme les auteurs ou utilisateurs des diverses terminologies : Smeaton pour la notion de *puissance mécanique* ; Carnot pour la notion de *moment d'activité* ; Monge pour la notion d'*effet dynamique* ; Coulomb pour la *quantité d'action*. C'est toutefois à la dernière notion, celle de Coulomb, la quantité d'action, que Navier se rallie :

L'expression de quantité d'action adoptée par Coulomb m'a semblé préférable aux autres, comme s'éloignant moins du langage ordinaire, et plus significative...

Il n'y a pas innovation terminologique chez Navier : il se contente de faire un choix parmi les acceptions existantes. Il ne manque pourtant pas de signaler que l'appellation qu'il choisit possède un inconvénient, celle de créer une confusion avec le principe de moindre action, « employée en mécanique dans un sens un peu différent ». Mais il reste clair qu'en §2 de sa note, Navier adopte la terminologie **physique** de *quantité d'action* pour qualifier la notion de travail : il maintient à cette dernière un caractère intuitif et une acception de sens commun – comme le montre sa phrase « comme s'éloignant moins du langage ordinaire ». Face à ces incohérences, Navier n'est pas dans l'état d'esprit de franchir le pas, ni de définir une nouvelle appellation : il reprend celle de Coulomb. Il semble que nous soyons là dans un cas typique d'histoire des sciences où la notion est *dans l'air*, et où plusieurs savants la manipulent sans oser franchir le pas – soixante-dix ans auparavant il en était de même des supputations autour du 5^e postulat euclidien (Legendre, Saccheri), et soixante-dix ans plus tard, il en sera de même de la notion de relativité du temps (Lorentz, Poincaré, FitzGerald).

Coriolis, lui, ne mentionnera en 1826 les différentes notions rappelées par Navier en 1819 que pour mieux les écarter : il élimine successivement *quantité d'action*, *puissance mécanique*, *effet dynamique*. C'est pourquoi, on peut considérer, avec Coriolis⁵³, que Navier aborde en effet de manière incidente la notion physique de travail, ce qu'il fait lorsqu'il propose de tout mesurer à l'aune de l'énergie potentielle, avec l'unité du $kg*m$ qu'il lui associe. Mais, au final, pour la terminologie physique, c'est la « quantité d'action » qu'il conserve : comme l'indique Chatzis ([1997]), les dix ans qui séparent les travaux de Navier de ceux de Coriolis ne se sont pas écoulés en vain.



53. Coriolis lui-même indiquera à propos des *Notes de Navier sur Bélidor*, au soir de sa vie ([ASM-AAS]), qu'« il y avait plus de netteté dans [son propre] travail tel qu'il était alors [en 1819, au moment où Navier publie] et qu'il a été publié depuis ».

Finalement, c'est peut-être la réflexion sur l'unité de mesure qui constitue l'aspect intéressant, du point de vue de la physique, du travail de 1819 de Navier. Il commence par constater que «le choix d'une unité de mesure est jusqu'à un certain point arbitraire»; l'action d'un cheval, prise par les Anglais, est sujette à nombreuses discussions, son évaluation «variant dans le rapport de 1 à 2». Puis, en accord avec son intuition sur «l'élévation verticale des corps pesants» (mgh), il s'attache à proposer l'unité du kilogramme×mètre. Prony, dans son rapport à l'Académie sur l'ouvrage de Navier, évoque cet apport de Navier :

Il montre d'abord la nécessité d'admettre une mesure commune dans les travaux de tout genre effectués par les machines, et que cette mesure doit être le travail nécessaire pour élever l'unité de poids à l'unité de hauteur.

Dans son intéressante réflexion sur la nécessité d'une unité commune, Navier dresse un tableau comparant et chiffrant différentes natures de *travail* (au sens commun), en les convertissant en *quantité d'action* (au sens physique), par seconde puis par jour, dont voici un extrait :

Nature du travail	Poids transporté ou effort exercé	Vitesse par seconde	Quantité d'action par seconde	Durée du travail journalier	Quantité d'action journalière
	(<i>kg</i>)	(<i>m</i>)	(<i>kg · m</i>)	(<i>heures</i>)	(<i>kg · m</i>)
Un homme marchant sur un chemin horizontal	65	1,5	97,5	10	3 510 000
Un cheval attelé à un manège et allant au trot	30	2	60	4,5	972 400

Ce tableau nous confirme que le terme de «travail», chez Navier, continue à ressortir du langage commun (première colonne à gauche, «Nature du travail»), le concept physique restant la «quantité d'action» (dernière colonne à droite). Mais il dénote aussi une incompréhension fondamentale de ce que sera la notion physique effective de travail que Coriolis définira : il fait état du travail horizontal d'un poids – or Coriolis s'attachera à lutter contre cette idée reçue qui est totalement contraire à la définition physique du travail : le poids *ne travaille pas* sur route horizontale.

Sans doute Navier sait-il que le produit Pds est nul sur route horizontale, et il ne fait pas d'erreur. Mais son tableau récapitulatif signe l'ambiguïté entre une notion physique qui n'est pas encore totalement comprise et une notion économique (la «quantité d'action

produite par un homme sur un chemin horizontal ») qui a peut-être son intérêt, mais est sans rapport avec la définition physique du travail d'une force.

Prony, quel « emploi accidentel » du mot travail ?

Prony est, après Navier, le second auteur mentionné par Coriolis comme ayant utilisé avant lui le mot *travail*, et ce « accidentellement ». L'ouvrage concerné de Prony, nous rappelle Coriolis, est le « Mémoire sur les Expériences de la Machine du Gros-Caillou ». Ce mémoire paraît dans les *Annales des Mines*, tome 12 (1826), et est par ailleurs imprimé séparément en un petit opuscule.

Dans ce mémoire, Prony s'attache principalement à ce qui deviendra la *puissance*, c'est à dire le travail développé en une unité de temps: dès la première phrase, il parle de la puissance de la machine du Gros Caillou. Il fait sans doute référence, comme Navier le fait pour le travail, à une notion de sens commun, mais il en ébauche une définition physique :

L'effet d'une machine équivalent à l'élevation d'un poids de 850 kgs à un mètre de hauteur pendant une seconde de temps, on dirait de manière plus simple que cet effet est de 8½ unités dynamiques.

Prony définit son « unité dynamique » comme poids \times hauteur \times durée de l'ascension, qu'il propose d'étalonner en $100 \text{ kg} \times 1 \text{ m} \times 1 \text{ s}$:

Il serait important de convenir du choix d'une unité dynamique exactement définie, dont l'usage serait obligatoire, et de mettre enfin dans cette partie du système général des mesures la fixité qui existe dans les autres parties. (§20)

Prony, comme Coriolis et Navier, s'attache à définir une unité de mesure, mais c'est à la notion physique de ce qu'on appelle maintenant la *puissance* qu'il s'intéresse en priorité. Il serait d'ailleurs intéressant d'examiner comment cette notion à présent unanimement reconnue, et qui découle directement de la notion de travail attribuée à Coriolis, peut être créditée à Prony.

Cependant, Prony, comme Navier, continue à appeler « quantité d'action » (page 6) ce que Coriolis baptisera « travail ». L'emploi du mot « travail » par Prony se fait dans un contexte particulier, qui n'en fait pas une notion physique. Ainsi, on trouve une première occurrence – en fait juridique – du terme :

(...) en omettant de définir exactement dans le contrat de vente d'une machine l'unité dynamique à laquelle on rapporte son travail, on rendait l'exécution des conditions du marché sujette à des débats très fâcheux...

Une machine dont une seule unité de cette espèce mesurerait le travail, et qui serait en activité pendant vingt-quatre heures, donnerait une quantité d'action totale égale à 2400000 kilogrammes élevés à un mètre de hauteur...

Cette dernière phrase montre bien la différence entre le « travail » chez Prony, qui reste un terme du langage courant, ou un concept économique, et la « quantité d'action » qui seule reste pour lui la grandeur physique.

Carnot, inspireur de Coriolis ?

On lit souvent que Coriolis, dans sa définition physique du concept de travail, s'est inspiré de Lazare Carnot. Coriolis lui-même mentionne, sans reconnaître d'inspiration particulière dans ses travaux, qu'il avait connaissance, au début de sa réflexion sur son ouvrage, des travaux antérieurs de Carnot et de Guényveau⁵⁴. Gillispie pense que « Coriolis aurait pu également mentionner Carnot⁵⁵ » lorsqu'il parle des emplois antérieurs du mot « travail » par Prony ou Navier. Nous distinguerons deux sujets dans la mise en perspective entre Carnot et Coriolis : l'emploi du mot travail d'une part, le « principe de transmission du travail » d'autre part.



Concernant l'emploi du mot « travail », Gillispie s'appuie principalement sur une (seule) citation de Carnot :

*On ne peut inventer aucune machine par laquelle il soit possible, avec le même travail (c'est-à-dire la même force et la même vitesse que dans le premier cas), d'élever dans le temps donné le même poids à une plus grande hauteur, ou un poids plus grand à la même hauteur (...)*⁵⁶

On remarque qu'il s'agit là plutôt d'une référence à la puissance (travail par unité de temps), puisqu'il s'agit d'une force multipliée par une vitesse – la référence à une notion *économique* de travail se rattache généralement, on l'a vu ci-avant, à celle de puissance. Mais il est certain que les prémisses de la conservation du travail sont posés : une machine ne peut *créer* du travail, elle ne peut que le *transmettre*.

Compte tenu de ce quasi-unique emploi du mot travail à un sens avoisinant celui que lui donnera Coriolis, on peut parler, comme a fait Coriolis pour Navier et Prony, d'« emploi accidentel » du mot chez Carnot. Mise à part cette occurrence, le mot est beaucoup employé par Carnot, et dans son sens commun :

*C'est ainsi également qu'on évalue le travail des ouvriers et qu'on paye leur salaire*⁵⁷.

Du point de vue de la notion physique, comme le rappelle Navier, Carnot s'en tient rigoureusement à la notion de moment d'activité – sans doute la moins intuitive du point de vue de la terminologie –, qu'il définit comme suit :

54. Mal orthographié par Coriolis ou mal imprimé, il s'agit d'André Guényveau (1782-1881), auteur de *l'Essai sur la science des machines* (1810). On retrouvera cet ingénieur des mines (X1802) plus loin quand il soutiendra en 1840 le projet de réforme de l'enseignement de Coriolis à Polytechnique et dans les écoles d'application.

55. Charles C. Gillispie et Adolf P. Youschkewitch [1979].

56. Carnot [1783], § LIV, p. 85. Repris dans Carnot [1803], p. 234.

57. Carnot [1803], p. 231.

Le moment d'activité exercé par une force quelconque dans un temps infiniment court est en général le produit de cette force, par le chemin qu'elle décrit dans ce temps infiniment court, multiplié par le cosinus du plus petit des deux angles formés par les directions de cette force et de la vitesse.



Toutefois, cette dernière citation nous montre clairement que, même s'ils ne mentionnent pas le terme de «travail» au sens de Coriolis, les travaux de Carnot ont largement inspiré Coriolis (comme celui-ci le reconnaît d'ailleurs), et ce sans doute plus que les travaux de Navier ou de Prony. On peut citer d'autres exemples, parmi ceux que cite Gillispie :

Dans une machine dont le mouvement change par degrés insensibles, le moment d'activité, consommé dans un temps donné par les forces sollicitantes, est égal au moment d'activité, exercé en même temps par les forces résistantes⁵⁸.

Désignons donc par Q le moment d'activité consommé par les forces sollicitantes, et par q le moment d'action exercé en même temps par les forces résistantes : cela posé, quel que soit le mouvement de la machine, nous aurons toujours, par le corollaire V , $Q = q$ ⁵⁹.

Carnot énonce en termes mathématiques simples et sur des exemples concrets ce que Coriolis développera plus profondément plus tard, avec le principe de transmission du travail, le travail moteur, le travail résistant.

Il nous semble toutefois que Gillispie, peut-être emporté par son sujet, sollicite un peu trop le lien entre Coriolis et Carnot, quand il parle pour ce dernier de «ce qu'on pourrait appeler son Principe du Travail», ou quand il indique, à propos d'une séquence mathématique assez simple de Carnot qui aboutit à une formule de type « conservation du travail » ? $Mk^2 = MK^2 + MV^2$ ⁶⁰ :

Cette séquence élémentaire illustre très simplement les raisons arithmétiques qui conduiront cinquante ans plus tard Coriolis à ramener à la moitié des forces vives la nouvellement baptisée notion de travail.

Carnot n'est pas aussi didactique que Coriolis le sera : il n'énonce pas de «principe». Par ailleurs, il est réducteur, nous le verrons, de considérer la motivation de Coriolis pour redéfinir les forces vives à $\frac{1}{2}mv^2$ comme simplement «arithmétique», ou même «pédagogique» (comme Gillispie le fait aussi). Car, malgré cette inspiration dont Coriolis ne se défend pas, l'apport de ce dernier est, à notre sens, de concevoir une véritable «théorie du travail», donnant une définition physique au mot, inversement unifiant les différentes appellations de cette notion physique, précisant ce qu'elle n'est pas, enfin tirant toutes les conséquences de cette notion physique – comme la notion de *travail résistant* ou de *travail moteur*. L'apport de Coriolis, comparé à Carnot, est, aussi de se placer dans une

58. Carnot [1783], § XLI, p. 75-76 ; cité par Gillispie, p. 68 et p.94.

59. Carnot [1783], LII, p.83

60. Carnot [1778], §43, corollaire 13; calcul équivalent dans Carnot [1803], §175, p. 145-146.

beaucoup plus grande généralité, y compris dans ses formulations mathématiques : en ce sens, on pourrait dire que Coriolis s'inspire de la matière et des travaux de Carnot, en les inscrivant dans la rigueur et la tradition lagrangiennes.

Entre Carnot qui fait en 1783, puis en 1803⁶¹, des apports tout à fait intéressants autour de la notion de moment d'activité, et Coriolis qui en 1826 rassemble un certain nombre d'éléments épars autour de la notion physique de travail et procède à une définition physique effective du terme, le progrès est important. Nous serons finalement d'accord avec Gillispie pour souligner que l'ouvrage de 1829 de Coriolis présente, par rapport à ceux de Carnot, « un énorme progrès en complétude, en finesse et en langage ».

UNE THÉORIE DU TRAVAIL

Pour aller plus loin, nous croyons pouvoir dire qu'au-delà de la simple définition du mot « travail », Coriolis assure à ce concept une réelle consistance : c'est une véritable « théorie du travail » qu'il ambitionne de bâtir dans son *Calcul*.

Il emploie à plusieurs reprises ce terme de *théorie* qui, à notre sens, doit être entendu dans son acception la plus large : 1°/ Au sens courant du terme : il donne les bases théoriques de la notion physique correspondant au travail. 2°/ Au sens que lui donnent les physiciens : une théorie n'est pas une simple hypothèse, mais un système d'idées validé par l'expérience. Voici quelques exemples d'occurrence de l'expression « théorie du travail » sous la plume de Coriolis [1829] :

[§36, introduisant la notion de raideur d'un ressort] (...) *donne lieu à l'introduction d'une quantité dont la notion est très utile dans la théorie du travail.*

[§44, introduisant le travail dû à un fluide] *Nous allons nous occuper d'une autre question très utile que présente la théorie du travail (...)*



Le terme *travail* est défini par Coriolis comme un concept scientifique, mais Coriolis va lui donner une forte consistance. Ainsi, il rebaptise avec ce terme des principes désignés auparavant de manière différente :

[§18] (...) *la somme des quantités de travail dues aux forces mouvantes est égale, dans ce cas, à la somme des quantités de travail dues aux forces résistantes. Cet énoncé renferme le principe le plus important de la Mécanique ; on peut le nommer principe de la transmission du travail, parce qu'en effet (...) le travail produit par les forces mouvantes (...) se retrouve tout entier dans celui qui est dû à toute espèce de forces résistantes.*

61. Carnot [1803]. On sait que la carrière scientifique du « grand Carnot » connaît une interruption due à ses activités politiques sous la Révolution.

Navier, beau joueur, ne manquera pas de souligner cette innovation dans son rapport sur le *Calcul*, en indiquant «Le principe de la conservation des forces vives devient pour [Coriolis] le *principe de la transmission du travail* ».

Le mot est aussi décliné dans différentes significations possibles, ce qui montre la vision globale que Coriolis donne au mot *travail* dans son acception physique :

[1829, §30] *Les expressions de travail moteur, travail résistant, travail utile et travail perdu, qui forment toutes les distinctions à établir dans l'emploi de ce mot pour la théorie des machines, seront d'un usage clair et facile.*

Le mot *travail* devient ainsi un fil directeur permettant de relier un certain nombre de concepts entre eux (ce qu'était loin d'avoir fait Carnot). Ces concepts auparavant épars sont ainsi reliés : n'est-ce pas là la définition d'une théorie ? N'est-ce pas là l'œuvre du théoricien qu'était Coriolis ?

Une autre innovation du *Calcul* est à rattacher à cette vision de Coriolis : c'est la proposition de baptiser «forces vives» la quantité $\frac{1}{2} mv^2$ (au lieu de mv^2). Nous la discutons plus loin – mais d'ores et déjà indiquons que c'est une innovation que l'on peut qualifier de subtilement majeure : la *force vive* ainsi redéfinie apparaît dans le membre de droite du principe de transmission du travail ; elle devient un «travail disponible ou travail possédé par un corps» (Coriolis [1829] p. 26). Coriolis rattache ainsi la force vive au travail – Chatzis [1997] va même plus loin en disant qu'il la subordonne au travail, qui lui ravit la primauté conceptuelle.



C'est, aussi, une façon de faire valoir sa théorie du travail que de lutter contre les idées fausses, pourtant intuitives, qui régnaient jusqu'alors à propos de la notion de travail.

Coriolis prend l'exemple du transport des charges sur terrain plat (§32, « transfert horizontal des fardeaux ») : on a vu l'ambiguïté involontairement conservée par Navier en 1819 à ce propos. Coriolis avertit que la multiplication de la distance parcourue par le poids transporté sur route horizontale est improprement appelée travail – cette idée est pourtant contre-intuitive, y compris chez les scientifiques de l'époque (y compris de nos jours dans un public peu familier de ces notions), et c'est un des mérites de Coriolis de faire rendre gorge à cette idée reçue :

C'est différent, justement, sur une route plus cabossée, c'est le travail horizontal qui compte. Dès que la viabilité change, il faut changer les bases d'évaluation, précisément en raison de la quantité que nous appelons travail.

Le poids ne travaille que sur une route en déclivité. Sur terrain plat, la grandeur verticale (le poids P) multipliée par la grandeur horizontale (le déplacement L sur terrain plat) donne un produit scalaire $P \times L$ nul : ce n'est ni un travail moteur (produit positif, force dans le sens du déplacement), ni un travail résistant (produit négatif, force dans le sens

contraire du déplacement). Pour déplacer une charge sur terrain horizontal, c'est simplement le frottement qu'il faut vaincre, et non la gravité⁶².

Coriolis donne en §33 un autre exemple didactique – visant aussi à éviter des mésinterprétations – à propos du travail lié à un volume d'eau extrait d'un bief. Qu'on prenne l'eau en haut du bief en la laissant tomber de sa hauteur, ou qu'on la prenne en bas du bief, le travail est le même :

Ce résultat s'aperçoit sans démonstration lorsqu'on tire l'eau par la superficie, parce qu'alors le mètre cube tiré descend en effet de toute la hauteur de la retenue ; mais quand on ouvre une vanne au fond, ce n'est pas l'eau qui occupait la tranche supérieure qui vient sortir par la vanne, et néanmoins le travail produit a la même valeur que si c'était cette même eau qui fût descendue, sans que le reste du liquide eût pris part au mouvement.



Coriolis a donc à notre sens l'ambition de bâtir une *théorie du travail*. Il définit le terme, précise ce qu'il n'est pas. Il définit les notions de *travail moteur* et de *travail résistant*. Il donne une interprétation nouvelle, sur ces bases, de l'ancien principe des forces vives. Il propose implicitement de privilégier comme grandeur physique le travail, plutôt que la force vive (qui ne correspond pas à une entité physique). Indice de cette volonté de substitution, le principe des forces vives devient sous sa plume le principe de transmission du travail : inspiré par Lagrange, il n'hésite cependant pas à rebaptiser une des formulations les plus connues du grand mécanicien.

Partant d'une notion venant de l'art des machines – ou plutôt de l'effet⁶³ des machines (p.ex. le travail d'une machine nécessaire au concassage d'un litre de blé, *cf. supra*), donc de la mécanique appliquée, il en fait une notion de mécanique rationnelle, celle de Lagrange, qu'il admirait. Paraphrasant le Turinois, il aurait pu écrire avec la même superbe – mais elle ne correspondait pas à son caractère : « Ceux qui aiment la mécanique rationnelle verront avec plaisir l'effet des machines en devenir une nouvelle branche, et me sauront gré d'en avoir ainsi étendu le domaine⁶⁴ ». De cette notion qu'il importe de la mécanique appliquée à la mécanique rationnelle, il essaie de convaincre les géomètres – leur suggérant d'abandonner leurs anciens vocables. Et, par surcroît, il fait de cette notion une théorie de la mécanique rationnelle, la *théorie du travail*. C'est bien ce type de démarche qui nous paraît caractériser Coriolis comme théoricien de la mécanique appliquée.

62. On s'en convaincra aisément en poussant avec le doigt un bloc de fonte de 200 kg posé sur de la glace ou sur une surface huilée.

63. « L'art » des machines peut être compris comme celui de la *fabrication* des machines. « L'effet » des machines, terme majeur chez Coriolis, ôte toute ambiguïté à ce propos, et est plus précis.

64. « Ceux qui aiment l'analyse verront avec plaisir la mécanique en devenir une nouvelle branche, et me sauront gré d'en avoir ainsi étendu le domaine » (Lagrange, *Mécanique analytique*, 1788)

LE DÉBAT AUTOUR DE L'UNITÉ DE TRAVAIL : DU DYNAMODE AU JOULE

Dans son appel à mémoires de 1826, l'Académie avait aussi souhaité donner un nom à l'unité correspondant au travail. Coriolis ne se prononce guère à ce sujet dans son mémoire. Il indique qu'il lui paraît nécessaire de « nommer d'abord l'unité simple plutôt que l'unité de produit continu en 24 heures, car avec la seconde on peut se passer de la première, en disant qu'une machine produit tant par jour ». Il fait aussi remarquer fort judicieusement que :

Si l'on veut dresser une table du travail que produit la combustion de mille kilogrammes de différentes espèces de charbon, si l'on veut énoncer le travail nécessaire pour moudre un hectolitre de blé, ou pour forger mille kilogrammes de fer, ou enfin pour produire une quantité déterminée de toute espèce de fabrication, il faudra bien faire usage d'une unité indépendante du temps.

Il enfonce le clou puisqu'il conclut son mémoire de 1826 par la phrase suivante :

Ainsi, comme il est très facile d'énoncer des produits et d'annoncer l'expression par jour, il paraît superflu de charger la nomenclature métrique d'une unité de dépense continue, une fois qu'on aura fixé l'unité simple.

On devine derrière ces arguties une divergence entre savants, qu'on traduirait en termes modernes ainsi : faut-il trouver une unité relative au travail ou une unité relative à la puissance (unité de travail par seconde) ? Coriolis opte clairement pour la première alternative : en ce sens, il s'inscrit dans le souci de l'Académie – le contraire eût été étonnant pour un homme jeune, de trente-quatre ans, qui répond à un problème dont l'énoncé est fixé par l'Académie elle-même⁶⁵. Mais il n'oublie pas que les débats existent – on a vu que Prony s'intéressait surtout à l'unité de puissance.

Mais, curieusement, Coriolis ne propose pas vraiment, en 1826, de nom d'unité pour le travail. Il le fera en 1829 dans son *Calcul*, mais l'expression proposée, le « dynamode », ne sera pas vraiment utilisée. Ainsi, Coriolis verra son nom attaché à la définition physique du travail – mais le débat autour de l'unité correspondante lui échappera complètement, ainsi qu'au monde des mécaniciens d'ailleurs.

Examinons la proposition de 1829 de Coriolis et la façon dont le débat autour de l'unité de travail se développe par la suite. Dès avant la définition physique du travail par Coriolis [1826], on a vu diverses tentatives de définition d'une unité de mesure : Navier [1819] propose d'employer l'unité du $\text{kg} \times \text{m}$ pour ce qu'il continue à appeler la *quantité d'action*. Coriolis, dans *Calcul de l'effet des machines...*, §31, prend là encore le contre-pied de la position de Navier, en faisant remarquer que, pour éviter de manipuler des nombres

65. Sérís [1987] indique que Coriolis « recule » devant l'introduction du mot *puissance* et le choix d'une unité. Nous ne pouvons confirmer une telle interprétation

trop importants (*cf. supra* le tableau de Navier où la quantité d'action d'un homme marchant sur une route s'élève à 3 500 000 kg×m), il a été «généralement convenu de prendre pour unité» la grandeur de 1 000 kg×m. Coriolis lui donne un nom : notant que certains mécaniciens ont commencé à l'appeler *dynamie*, il propose quant à lui le nom de *dynamode* [masc.], qu'il emploiera dans son ouvrage.

Le dynamode de Coriolis (1829)

Comme nous l'avons remarqué, Coriolis ne propose pas de nom d'unité pour le travail dans sa note de 1826. Paradoxal dans un concours ayant l'objectif de qualifier cette notion et de lui donner une unité, et paradoxal compte tenu du titre donné par Coriolis à son écrit, «Mémoire sur une nouvelle dénomination et une nouvelle unité à introduire dans la mécanique». Est-ce que parce que le puissant Laplace n'estimait pas que ce fût le rôle de l'Académie de désigner une unité, comme Coriolis nous l'indique dans son Avertissement au *Calcul* en 1829 ?

Le célèbre Laplace, qui faisait partie d'une commission nommée pour cet objet, voulut bien me dire qu'il ne croyait pas que l'Académie dût prendre l'initiative pour choisir des noms, qu'elle ne pourrait que sanctionner l'usage quand il commencerait à s'établir. Selon cet illustre géomètre, c'était aux personnes qui s'occupaient des machines à essayer d'introduire les termes qu'elles jugeaient les plus convenables. D'après une opinion d'un aussi grand poids, il m'a semblé que l'on ne pourrait me blâmer de proposer et d'employer des dénominations qui m'ont paru plus claires et plus convenablement choisies dans leurs étymologies⁶⁶.

En 1826, Coriolis présentait pour la première fois un écrit à l'Académie – d'ailleurs son premier écrit ; il ne se range pas encore forcément lui-même dans les «personnes qui s'occupent des machines». En 1829, le point de vue est différent : Coriolis publie un volumineux ouvrage qui le range clairement dans cette catégorie... Il suit alors le conseil de Laplace et va proposer une unité de travail, le *dynamode*.

Il explique son choix par rapport à la «dynamie» de Navier :

Si l'on veut prendre ainsi une dénomination dérivée du grec, on devrait y conserver quelque choses des racines de force et de chemin : sous ce rapport nous proposerions l'expression de dynamode (...)

Ainsi, la seconde racine grecque «(h)odos⁶⁷», qui mesure le chemin, vient s'accoler à la première racine «dynamos» : belle construction intellectuelle de Coriolis, elle reflète exactement la notion de travail, une force multipliée par une distance. Cette idée était déjà en gestation en 1826 : dans le *Mémoire*, même s'il ne propose pas d'unité, il indique à

66. Notons au passage l'importance de ce paragraphe, qui conclut l'Avertissement de l'ouvrage : Coriolis est habile de conclure en se plaçant sous l'aura de Laplace, et laissant accroire ainsi qu'elle s'étend à l'ensemble de son ouvrage, qui commence effectivement à la page suivante. C'est souvent, aussi, une figure de style obligée que de mentionner un prestigieux savant récemment décédé (Laplace était mort en mars 1827).

67. On retrouve cette racine dans le mot «odomètre».

propos de cette unité « qu'il convient de [la] faire dériver d'un mot signifiant travail, ou de deux mots ayant la signification de force et de chemin ».

De nouveau assez immodestement, en note de bas de page du *Calcul*, il nous indique à propos du dynamode :

M. Hachette, qui peut faire autorité à ce sujet, a l'intention d'adopter cette dénomination dans la première édition de son Traité des Machines.

Coriolis utilise une fois ce terme dans le *Calcul*, §43 :

(...) en prenant ici pour unité le poids p d'un mètre cube d'eau qui est de 1000 kilog., afin d'avoir le travail exprimé en dynamodes, (...)



En 1826, Prony, dans son *Rapport sur la machine du Gros-Caillou*, avait essayé de définir une unité à l'effet des machines. Comme on l'a vu, le débat autour de l'unité de travail ou de puissance était sans doute assez prégnant dans ces années 1820 : Prony n'y consacre pas moins de quatorze notes (§11 à 24) en introduction de son rapport, sur les quatre-vingt quatorze notes que celui-ci comporte. Il nous propose (page 18) « l'unité dynamique française », donnée par l'élévation d'un poids de 80 kilogrammes à un mètre de hauteur pendant une seconde de temps. À plusieurs reprises, entre la page 20 et la page 28, relatant ses expériences concrètes sur la machine du Gros-Caillou dans le cadre d'une expertise juridique à destination du président de la Cour royale, il utilisera en italiques, comme une donnée nouvellement créée, l'*unité dynamique française* pour rendre compte de ses calculs. Notons qu'il s'agit là non d'une unité de travail, mais d'une unité de puissance, notion à laquelle Prony semble plus s'attacher.

De fait, en ce qui concerne l'unité de puissance, Prony est un des premiers à attirer l'attention sur la définition donnée par James Watt⁶⁸. Pendant que Prony suggère, quant à lui, de définir l'unité dynamique française comme ci-dessus, il relève que Watt a donné deux autres définitions, d'ailleurs différentes :

Je remarque que 150 livres élevées à 220 pieds pendant une minute, équivalant à 220 fois 150 livres ou 33 000 livres élevées à un pied pendant le même temps, c'est l'évaluation anglaise, qu'on appelle routinière et qu'on trouve citée dans l'Encyclopédie britannique, à l'article Steam-engine, dont l'auteur est le célèbre Watt (...) Watt et Boulton ont employé l'unité dynamique de 32 000 livres élevées à un pied pendant une minute, mesure anglaise.

Notons que cette notion d'unité dynamique *française* de Prony signifiait qu'il la calculait avec les unités françaises existantes (le kilogramme pour le poids et le mètre pour la distance), tandis que *la mesure anglaise* définie par Watt l'était avec des unités anglaises (la livre pour le poids et le pied pour la distance). On comprend mieux rétrospectivement pourquoi toutes ces propositions seront balayées par les unités de travail et de puissance

68. On sait que l'unité de puissance deviendra le Watt, en hommage à l'inventeur anglais.

qui viendront des électriciens : les mécaniciens ne se mettaient pas d'accord entre eux, et de plus leurs unités variaient d'un pays à l'autre – basées qu'elles étaient sur les unités de longueur et de poids, ancestrales et ancestralement différentes d'un pays à l'autre.

Brève postérité du dynamode

Si *l'unité dynamique française* a fait long feu, le terme « dynamode » proposé par Coriolis ne sera lui non plus pratiquement pas utilisé : conception intellectuelle sophistiquée associant *dynamos* et *odos*, le mot est en lui-même mal compris : on est loin de penser à *odos*, un non-helléniste confondra inmanquablement avec le latin *modus* (mode, mesure, façon), avec de surcroît une incertitude sur le genre, le mot latin *modus* (qui n'a rien à voir avec le grec *odos*) ayant donné en outre deux substantifs français, l'un féminin et l'autre masculin. Coriolis en fait, lui, un terme masculin : *le* dynamode.

Suivons la postérité de ce mot imaginé par Coriolis en 1829. Prony, dans un article des *Annales des mines* de 1830, emploie le terme « dynamode » – oubliant lui-même le terme qu'il avait proposé quatre ans plus tôt. *L'Encyclopédie des chemins de fer et des machines à vapeur à l'usage des praticiens et des gens du monde*, de Félix Tourneux (1844) mentionne la dynamie comme unité de travail (avec une définition de mille kilogrammes à mille mètres de hauteur) et la dynamie ou dynamode pour unité de puissance (alors que Coriolis en faisait une unité de travail, et par surcroît jugeait inutile l'unité de puissance !) ; il indique, pour cette unité de puissance, que « le mot Dynamie paraît devoir l'emporter sur celui de Dynamode dans l'usage ».

Le terme « dynamie » existera au XIX^e siècle, correspondant à la dynamie de Navier ou au dynamode de Coriolis, soit 1000kg élevés à la hauteur d'un mètre (1000 kilogrammètres). A noter cependant que le *Littre* (1863-1877) nous donne dynamie (ou dynamie)⁶⁹ : le mot inventé par Navier s'est finalement avéré plus simple que celui imaginé par Coriolis. Le terme « dynamie » a été conservé en mécanique dans la langue allemande, mais pas dans le sens d'une unité de travail : la dynamie en un point est une double notion, la résultante des forces et la résultante des moments des forces⁷⁰.

Louis Le Chatelier, dans son *Guide du mécanicien constructeur et conducteur de machines locomotives* (1851), mentionne pour le travail les trois unités dynamie, dynamode ou unité dynamique et donne sa notation 1^{km} (km en exposant : *k* pour kg et *m* pour mètre). La notation d'une unité en exposant est, à notre connaissance, unique en son genre dans ce

69. Le *Littre* donne d'ailleurs une citation employant « dynamie » dans son article « dynamie (ou dynamie) » : « La force d'un homme équivaut à cent dynamies par jour, si dans ce temps, en douze heures de travail, il peut élever cent mètres cubes d'eau à un mètre de hauteur » (Benjamin Legoarrant 1832). Curieuse définition intriquant puissance et travail : en clair, une dynamie est égale à un mètre cube d'eau élevé à un mètre de hauteur (soit 1000 kg*m).

70. Pour la signification de *dynamie* en allemand, voir Wikipedia allemand, ou *Repetitorium der Physik*, Fritz Kurt Kneubühl, Vieweg & Teubner Verlag, 1994 (Google Books).

cas, et on comprend qu'elle n'ait pas fait florès, compte tenu du risque de confusion avec le kilomètre (où *km* ne figure bien sûr pas en exposant).

Dans la *Publication industrielle des machines outils et appareils les plus perfectionnés et les plus récents employés dans les différentes branches de l'industrie française et étrangère* (1859), Jacques Eugène Armengaud rappelle que le physicien Benoist (un des fondateurs de l'École Centrale) avait proposé le *peirode* (de *peiros* effort et *odos* chemin; de nouveau le terme *odos* apparaît) comme unité de travail. Il précise que la dynamique ou le dynamode vaudraient alors 1000 kilogrammètres ou 1000 peirodes, tout en convenant que « l'usage a sanctionné aujourd'hui l'expression kilogrammètre ».

La mécanique française gardera sa spécificité d'appeler kilogrammètre l'unité de travail, sans doute encore dans les lycées dans les années 1930, avant de céder la place à l'unité internationale du Joule.



Le congrès international d'électricité tenu à Paris en 1889 à l'occasion de l'exposition universelle viendra mettre tout le monde d'accord. Il définit l'unité du « Joule » comme l'unité de travail, en remplacement du Volt \times Coulomb (unité électromagnétiques). Celui-ci mesurait le travail d'une charge électrique q sous une tension V , soit V (volt) \times q (coulomb), d'où son appellation volt-coulomb. Il est équivalent au travail des mécaniciens : le Joule a pour dimension en unité C.G.S. $M^{1/2}.L^{1/2} (q) \times M^{1/2}.L^{3/2}.T^{-2} (U)$, soit $M.L^2.T^{-2}$, ce qui équivaut au travail mécanique $F \times h$, soit $M.L.T^{-2} (F) \times L (h)$. Comme l'indiquent Gérard Borvon & Christine Blondel⁷¹, les électriciens finissent ainsi par imposer leur choix aux mécaniciens⁷², trop divisés et imprécis sur le choix de l'unité de travail :

De façon quelque peu provocatrice, le congrès d'électricité invite le congrès des mécaniciens qui se tient en parallèle à renoncer au cheval-vapeur, à adopter le système CGS et à clarifier les notions de "force" et de "travail" trop souvent utilisées l'une pour l'autre par les mécaniciens.

Pour les mêmes auteurs, les mécaniciens résistent longtemps à cette unité de travail :

ils ne renoncent pas à leurs unités propres, aussi archaïques puissent-elles paraître à leur confrères électriciens (...) L'obstination des mécaniciens vaudra aux lycéens français de continuer à apprendre, jusqu'aux années 1960, que (...) le travail [s'exprime] en kilogrammètres, la puissance mécanique en cheval-vapeur...

71. Borvon & Blondel [2008].

72. Signalons toutefois que le Joule n'est pas créé au cours du congrès de 1889 : on trouve déjà, avant cette harmonisation, des mentions dans des dictionnaires anglais du Joule/kg/K en 1869 pour l'unité de capacité thermique massique.

Coriolis et la notion actuelle de puissance

Si l'apport de Coriolis est incontestable sur la notion de travail, il n'a pas été jusqu'à formaliser la notion de puissance, qu'il a toujours considérée comme un dérivé de la notion première. Veillons toutefois à ne pas faire d'anachronisme. La notion de puissance est beaucoup plus utilisée aujourd'hui, avec son unité le watt (ex. la puissance d'une ampoule électrique), et celle du travail n'est pratiquement pas utilisée hors les scientifiques et les ingénieurs, en mécanique ou en électricité : la puissance nous paraît donc plus importante que le travail, bien que ces deux notions soient en fait très similaires, la puissance étant le travail fourni par unité de temps.

Mais à l'époque ces deux notions étaient balbutiantes, y compris dans le corps savant comme on l'a vu. L'une n'était pas plus importante que l'autre : simplement l'on ressentait la nécessité de fixer une dénomination et une unité qui les caractérisassent – comme le montre le concours lancé par l'Académie – et le « travail » (le produit d'une force par une distance) apparaissait comme la notion primordiale à caractériser. La situation était, somme toute, inverse de celle que nous connaissons actuellement où la notion de puissance a pris le pas sur celle de travail, notamment dans le grand public.

On a d'ailleurs vu qu'en 1826 comme en 1829, Coriolis considère comme secondaire la définition d'une unité de « travail par jour » – ou même d'une désignation, puisque le terme « puissance » n'existait pas ou n'était pas employé dans ce sens à l'époque :

Ainsi, comme il est très facile d'énoncer des produits et d'annoncer l'expression par jour, il paraît superflu de charger la nomenclature métrique d'une unité de dépense continue, une fois qu'on aura fixé l'unité simple.

Mais, cherchant à préciser « sa » notion de travail, il continue à combattre les idées fausses, et notamment la confusion existant parfois entre travail et puissance (*Calcul* §98) :

Il est bon de remarquer que, lorsqu'on parle du plus ou moins de travail disponible par la chute d'eau que forme un courant, on sous-entend que ce travail est calculé pour un temps donné, par exemple, pour une journée. Un cours d'eau qui descend étant une source indéfinie de travail, il faut, pour donner une idée de cette source, énoncer ce qu'elle produit dans une certaine unité de temps, comme dans une seconde ou dans 24 heures.

C'est là – Coriolis s'en rend bien compte – la nature elle-même qui l'empêche de définir le travail dans ce cas : on ne peut parler du travail d'un cours d'eau (à la différence d'un bief duquel on relâche une certaine hauteur d'eau) car le cours d'eau a une action continue. Obligé ainsi à s'intéresser à la notion de puissance, voici ce qu'il propose :

On emploie quelquefois pour cela une certaine unité qu'on appelle le pouce de fontainier. On pourrait prendre une unité analogue pour les sources continues de travail : tel serait un nombre exact d'unités de travail fournies dans un certain temps.

Cette notion de «source continue de travail» est en effet importante dans la notion physique du travail qu'introduit Coriolis plus avant. Car, jusqu'à présent, la notion, quelle que soit sa désignation (quantité d'action, etc.), était vue – de par les outils alors à disposition – comme limitée dans le temps, une «source ponctuelle de travail»: un corps pesant tombant d'une certaine hauteur (le travail est alors égal à mgh), un ou plusieurs chevaux tirant une charge sur une certaine distance, comme un kilomètre. L'hydraulique des moulins, des roues à aubes et des turbines, cet exemple d'alliance particulière entre théorie et outils naissants, allait faire intervenir cette notion de «source continue de travail» comme la constituent les rivières⁷³, dont Coriolis donne l'exemple. Ce *distinguo* entre source ponctuelle et source continue est d'ailleurs assez analogue à celui auquel les savants étaient confrontés à peu près à la même période en électricité: on passait de l'électrostatique et de la décharge ponctuelle d'une bouteille de Leyde à la source d'électricité continue de la pile de Volta.

Malgré leur caractère confus, les quelques citations ci-dessus pourraient néanmoins montrer une progression de Coriolis dans sa conception de la notion de puissance, indiquant qu'il réfléchissait à ce *distinguo* entre source ponctuelle et source continue. Il poursuit néanmoins en soulignant le peu d'enjeu qu'il y aurait de distinguer les notions de travail et de puissance – à l'inverse de l'importance qu'il y avait à caractériser de manière physique le travail :

Mais au reste il ne paraît très nécessaire d'introduire encore un nouveau mot, dont on peut toujours se passer en énonçant le travail fourni par jour, ou par heure, ou par seconde. Ce serait peut-être trop que d'introduire deux dénominations nouvelles, et alors la préférence doit être donnée à l'unité absolue qu'à l'unité de produit continu (...). Il en est des unités de travail comme de celles des capacités des liquides: on se passerait plutôt du ponce de fontainier, comme unité de produit continu, que de la pinte ou du litre, comme unités absolues.

Coriolis défend ainsi, à travers la primauté qu'il préconise pour la question du choix de l'unité, la notion même de travail qu'il souhaite imposer. Il conclut ce paragraphe comme suit, montrant sa détermination :

Nous ne serions donc pas de l'avis de quelques géomètres, qui avaient proposé de consacrer le mot dynamie à l'unité d'une source continue de travail, sans donner de nom à l'autre unité. On peut d'ailleurs conserver, pour la première, la dénomination en usage de force d'un cheval; nous en expliquerons le sens un peu plus loin, en parlant du travail du cheval.

Même si la toute dernière phrase de ce §98 semble moins inspirée (maintien de «la force d'un cheval»), nous avons tenu à suivre la quasi-totalité de ce paragraphe, car il nous

73. À toutes fins utiles et pour la bonne compréhension, il est important de se représenter le fait que l'hydraulique des cours d'eau et des roues à aubes (Coriolis, Poncelet) est une hydraulique de cours d'eau importants, en plaine, et non de chutes d'eau de torrents de montagne – comme on a tendance parfois à l'imaginer. D'où la notion de roues à aubes «prises en dessous», c'est-à-dire où l'eau, qui se meut horizontalement avec une déclivité insensible (et non verticalement comme dans une chute), vient frapper le bas de la roue, ce qui la fait tourner.

paraît assez révélateur de la façon dont chemine l'exposé par Coriolis de sa réflexion scientifique : introduisant un *distinguo* théorique important (source continue *vs.* source ponctuelle) et défendant ses propres concepts (primauté du travail et de l'unité de travail – contre la puissance qui n'est pour Coriolis qu'une notion dérivée).

Chapitre 5. Le « Calcul de l'effet des machines »

Coriolis envoie à l'Académie des sciences, par lettre du 25 mai 1829, son ouvrage manuscrit *Du calcul de l'effet des machines*, en indiquant dans sa lettre manuscrite accompagnant l'ouvrage⁷⁴ :

Je me propose de le publier si elle [l'Académie] le trouve digne de son approbation.

L'Académie mentionne dans son procès-verbal du même jour la réception de cet ouvrage, et en confie l'examen à MM. Prony, Girard et Navier. Ce dernier en fera fort rapidement un rapport très complet de huit pages, daté du 8 juin 1829, et présenté en séance du 22 juin 1829. La conclusion de Navier est la suivante :

Dans la rédaction de cet écrit, très substantiel eu égard à son étendue, M. Coriolis traite chaque sujet, et même ceux dont on s'est occupé avant lui, d'une manière exacte et ingénieuse qui lui est propre. Nous pensons que son travail est très digne de l'approbation de l'Académie, et que la publication en sera fort utile.

Le livre sera publié tout aussi rapidement chez Carilian-Goeury, imprimeur des corps royaux des Ponts et chaussées et des Mines, avec en préface le rapport de Navier du 8 juin⁷⁵. L'Académie mentionne la réception de l'ouvrage imprimé dans son procès-verbal du 20 juillet 1829.



Concernant le contenu de cet ouvrage, nous nous sommes déjà penché sur le concept de travail et l'unité correspondante, dans le prolongement du mémoire de 1826. Nous allons maintenant examiner le *Calcul* (sans trop revenir sur les points déjà traités).

D'abord en examinant une autre innovation majeure qu'il contient, la redéfinition de la notion de force vive – nous avons dit que c'était une innovation qui fait partie de sa *théorie du travail*. Puis, sans paraphraser le rapport qu'en fait Navier, nous allons essayer de faire vivre ce traité austère, œuvre majeure de Coriolis par son volume. Comme fait remarquer Grattan-Guinness, c'est «une méditation philosophique et sévère sur la théorie des machines», contenant des formulations très générales, inhabituelles chez un savant dont «les contributions ont plutôt trait à l'ingénierie⁷⁶». De fait, l'ouvrage comporte énormément de formules, avec peu d'exemples illustratifs, et aucun schéma ou diagramme explicatif.

74. Original *in* dossier Coriolis, Académie des sciences.

75. Grattan-Guinness nous indique que l'ouvrage est tiré en 500 exemplaires (AN, F¹⁸ 87, n° 684 & 718).

76. Nous avons indiqué plus haut que, justement, nous ne partageons pas entièrement cette vision de Coriolis «ingénieur-savant» ou, plutôt, nous la précisons dans ce cas (ce qui est somme toute assez normal pour un travail comme celui que nous faisons pour cette thèse).

FORCE VIVE OU DEMI-FORCE VIVE ?

Une autre des nouvelles désignations que propose Coriolis est la redéfinition de la force vive – il propose d'appeler ainsi la quantité $\frac{1}{2} mv^2$ (et non plus mv^2). Ceci apparaît pour la première fois dans le *Calcul* : en apparence moins innovant que la proposition qualifiant le *travail* (dans le cas de la *force vive*, la notion physique existait déjà), c'est plus qu'une simple redéfinition. La force vive ainsi désignée s'inscrit dans la théorie du travail bâtie par Coriolis.

Cette innovation peut en effet paraître mineure en première approche – elle est parfois présentée (Gillispie [1971] p.115, Bouleau) comme résultant d'une démarche pédagogique, Coriolis se rendant compte que ses étudiants ne comprenaient pas pourquoi ils devaient recourir systématiquement à «la moitié de la force vive». Peut-être peut-on pour cela s'appuyer sur une phrase de l'Avertissement du *Calcul*:

Si l'on avait éprouvé comme moi combien les élèves sont embarrassés par les dénominations mal choisies, je crois qu'on ne blâmerait pas ce léger changement. Il est très gênant d'avoir un nom pour le double d'une quantité qu'on retrouve à chaque instant.

Cette motivation à caractère pédagogique a pu exister chez notre auteur, mais cette interprétation est réductrice. La « demi-force vive » doit être à notre sens appréciée dans la démarche globale de Coriolis d'établissement d'une véritable théorie du travail. Il s'agit de montrer aux géomètres que la force vive au sens physique, c'est plutôt la demi-force vive – et qu'en outre la notion de travail (travail moteur, résistant) est plus pertinente dans l'analyse des mouvements.

La force vive rattachée au concept primordial du travail

Coriolis détaille ainsi la nouvelle définition qu'il propose pour la force vive :

Je me suis encore permis une légère innovation en appelant force vive le produit du poids par la hauteur due à la vitesse. Cette force vive n'est que la moitié du produit de ce qu'on a désigné jusqu'à présent par ce nom, c'est à dire de la masse par le carré de la vitesse.

Le « produit du poids par la hauteur due à la vitesse » peut s'écrire mg (poids) \times h (hauteur), soit mgh . Si l'on prend pour h la « hauteur due à la vitesse », par exemple pour un corps en chute libre, on a $h = \frac{1}{2} gt^2$, $v = gt$, on peut donc écrire pour le « produit du poids par la hauteur due à la vitesse » :

$$mgh = mg \times \frac{1}{2} gt^2 = \frac{1}{2} mg^2 t^2 = \frac{1}{2} mv^2 \quad (1)$$

On retrouve donc en effet «la moitié du produit (...) de la masse par le carré de la vitesse ». Coriolis, en baptisant *force vive* le « produit du poids par la hauteur due à la vitesse », explique pourquoi ce terme s'appliquait auparavant à la quantité mv^2 :

Si l'on a donné anciennement le nom de force vive au produit de la masse par le carré de la vitesse, c'est qu'on ne portait pas son attention sur le travail, et que ce n'était pas le produit du poids par la hauteur due à la vitesse qu'on avait en à désigner le plus souvent. Tous les praticiens entendent aujourd'hui par force vive le travail que peut produire la vitesse acquise par un corps...

On voit là que Coriolis ne procède pas seulement à une redéfinition de la *force vive* à la moitié de sa valeur précédente : il propose de rattacher la notion de force vive à celle de travail. La force vive ne doit pas être une entité abstraite de forme mv^2 , celle de la mécanique rationnelle et des géomètres, mais une entité liée au travail lui-même, mgh ou $\int Pds$: c'est une mise en harmonie des notions de travail et de force vive (telle qu'il redéfinit cette dernière) que propose Coriolis, telles qu'elles apparaissent en correspondance dans l'égalité (1) ci-dessus [ou (1bis) ci-dessous]. En proposant de redéfinir ainsi la force vive, Coriolis souligne l'importance de cette égalité, travail à gauche et force vive (dans la définition de Coriolis) à droite. C'est, comme nous l'avons dit, un apport conceptuel important.

On peut aller plus loin avec Chatzis [1997] quand il parle fort judicieusement de changement de paradigme à ce propos : par comparaison à Navier qui conservait à la notion de force vive une primauté conceptuelle, Coriolis redéfinit la force vive comme un travail, cette dernière notion devenant le concept fondamental. La force vive, telle que redéfinie par Coriolis, devient « le travail disponible ou possédé par un corps⁷⁷ ». Beaucoup plus qu'une innovation à caractère pédagogique, ou qu'un simple changement de coefficient, c'est bien ce changement de paradigme qu'il faut voir dans la proposition de Coriolis à propos des « demi-forces vives ».



De fait, la mécanique rationnelle raisonnait indépendamment sur les quantités d'action $\int Pds$ (ou mgh) d'une part, et sur les demi-forces vives $pv^2/2g$ d'autre part. Même s'il pouvait y avoir égalité mathématique entre ces quantités

$$\int Pds = pv^2/2g, \quad (1bis)$$

il n'y avait pas d'unité sémantique entre elles. Dans la foulée de sa définition du travail pour le membre de gauche $\int Pds$, Coriolis propose dans son *Calcul*⁷⁸ une correspondance du travail avec la force vive. Ainsi, un corps qui a une vitesse v et un poids p

peut produire un travail égal à $pv^2/2g$ en agissant sur d'autres corps jusqu'à ce qu'il ait perdu sa vitesse.

Tout en cherchant à expliquer la dénomination classique de (demi-)force vive, Coriolis donne une interprétation physique complémentaire et importante : il note que la

77. *Calcul...*, p.29, cité par Chatzis [1997].

78. Chapitre I, note 24.

dénomination de *travail disponible* peut se substituer à l'« ancienne dénomination de force vive ». Il procède ainsi à une symétrisation des deux membres de l'équation des forces vives (*1bis*) : le membre de gauche devient, par définition, le travail ; mais le membre de droite, la force vive (selon l'appellation de Coriolis, la demi-force vive selon l'appellation des géomètres) devenant *travail disponible*, se rattache aussi à la nouvelle notion physique de travail définie par l'auteur plus haut dans son ouvrage.

Ceci montre la cohérence de la démarche de Coriolis : 1°/ Sa nouvelle définition de la force vive se justifie d'autant, puisqu'il peut appliquer à cette force vive-là sa nouvelle notion de travail ; 2°/ Il interprète en termes de *travail* chacun des deux membres de l'équation.

Une ébauche de la notion d'énergie ?

Avec cette innovation et cette primauté accordée à la notion de travail, on mesure à quel point Coriolis s'est approché d'une possible définition de l'énergie : *énergie cinétique*⁷⁹ à droite de l'équation (1), *énergie potentielle* à gauche de l'équation (1), qui sont de nos jours les termes couramment utilisés pour ces quantités.

Toutefois, il ne franchit pas, en supprimant la notion de « forces vives », le pas d'une appellation unificatrice – qui aurait pu être... le travail :

Comme on donnait autrefois le nom de force à ce que nous désignons ici par travail, on conçoit qu'on ait appelé force vive ce que nous pourrions nommer travail disponible ou travail possédé par un corps. Nous emploierons quelquefois ces expressions : ainsi quand nous parlerons du travail possédé par un corps ayant un poids p et une vitesse v , nous voudrions désigner la quantité $pv^2/2g$. Mais le plus souvent nous conserverons l'ancienne dénomination de force vive, afin de distinguer le travail qu'on peut retirer d'une vitesse acquise de celui qu'on peut retirer de ressorts comprimés, et de tout autre moteur.

Il y a pourtant bien dans cette phrase le germe très apparent d'une définition de l'énergie : le travail qu'on peut retirer d'une vitesse acquise (ou énergie cinétique) d'une part, le travail qu'on peut retirer d'un bief d'eau (ou énergie potentielle) d'autre part.

Finalement, même s'il ne fait pas le saut consistant à postuler l'équivalence entre ces deux notions – qui seront unifiées sous le terme d'énergie – Coriolis non seulement définit le travail et redéfinit la force vive, mais en outre met en cohérence ces deux notions en les faisant correspondre, ouvrant la voie à la définition qui viendra plus tard d'une même grandeur commune, l'énergie.

79. K. Chatzis ([1997]) indique que c'est Lord Kelvin qui introduit le terme d'énergie cinétique dans les années 1880.

Coriolis sera-t-il suivi sur les « demi-forces vives » ?

Tous les praticiens entendent aujourd'hui par force vive le travail que peut produire la vitesse acquise par un corps...

On aura compris que la référence à la notion de « praticiens » est importante : pour Coriolis, qui estime faire partie de ces praticiens, cette notion s'oppose à celle des géomètres, qui conserveraient de la force vive une compréhension éloignée de la pratique, et plutôt théorique (le produit de la masse par le carré de la vitesse). Il leur suggère d'emboîter le pas aux mécaniciens en adoptant l'acception $\frac{1}{2}mv^2$ (et non mv^2) pour la force vive. Il applique lui-même sa nouvelle définition page 76 du *Calcul*, comme si elle était acquise :

(...) nous allons donner semblablement quelques considérations qui faciliteront le calcul de la somme des forces vives, c'est-à-dire de la somme des produits des masses de différents corps en mouvement par la moitié du carré de leurs vitesses.

Il ne sera pourtant pas écouté par les « géomètres », puisque le mathématicien Paul Appell, dans son *Traité de mécanique rationnelle* de 1896, définit encore la force vive comme « le produit de la masse par le carré de la vitesse mv^2 » (p. 294) et utilise l'expression « la demi-force vive que possède une machine » (p. 508).

En revanche, Mach, dans *La mécanique* (1903), adopte pour exposer le théorème des forces vives la terminologie de Coriolis, aussi bien pour le travail que pour la définition des forces vives (sans toutefois le citer) :

... le théorème exprime alors l'accroissement de force vive par le travail effectué, sous la forme $Sph = \frac{1}{2}Smv^2$.

Comme on le voit, la mécanique rationnelle restera longtemps accrochée à sa notion dix-huitiémiste de force vive. Comme dans le débat sur l'unité de travail, ce seront les thermodynamiciens et les électriciens qui définiront la notion d'énergie. Pourtant, ils avaient tout en main, à la suite de Coriolis, pour le faire eux-mêmes.

Finalement, la science conservera le terme travail dans l'acception originelle de 1826 de Coriolis, celle de travail d'une force Fds , mais pas dans l'acception étendue qu'il tente de lui donner en 1829, celle de « travail disponible » pour $\frac{1}{2}mv^2$ – lui préférant la notion d'énergie, de laquelle Coriolis était sans doute un des seuls mécaniciens à s'être approché de très près.

LE PRINCIPE DE LA TRANSMISSION DU TRAVAIL

Avec les demi-forces vives, le principe de la transmission du travail est l'autre résultat principal du chapitre I – sachant que l'ouvrage comporte quatre imposants chapitres.

Un besoin de définitions

Coriolis introduit son propos en distinguant trois types différents d'étude des machines :

- La Statique, qui considère les forces à l'équilibre, dans des machines rudimentaires comme le levier, la vis, les moufles, « destinées plutôt à exercer de grands efforts qu'à produire du mouvement ».
- La Géométrie, qui s'attache à l'étude des mouvements.
- La Dynamique, qui considère à la fois les forces et le mouvement, dans des machines motorisées utilisées à la fabrication. Coriolis place son propos sous l'aile de cette dernière.

Il présente la notion de force comme une sensation humaine (« nous faisons un effort pour déplacer un corps »), la comparant à la notion de chaleur, elle aussi sensation humaine. En §2, il vient à distinguer les forces à effet continu (celles qui infléchissent en un certain temps la vitesse d'un corps en mouvement), et les forces à effet instantané (celles susceptibles de « modifier instantanément d'une quantité finie la vitesse d'un corps »). Il indique ne considérer que les premières, et à propos de la dynamique induite par les secondes, indique :

Nous reviendrons plus loin, en parlant du choc, sur l'usage qu'on peut faire de cette dynamique : nous verrons qu'elle est basée plutôt sur une certaine métaphysique que sur la véritable physique.

L'étude des chocs en dynamique est balbutiante, au point que Coriolis est obligé de faire ce *distinguo*. C'est une caractéristique de cette science des machines naissante, de cette mécanique appliquée, que de présenter des situations nouvelles, nécessitant de nouvelles définitions – la mécanique céleste de Newton et de Laplace n'étudie pas les chocs entre les astres.

Un autre exemple de nouvelle définition nécessaire est donné par Coriolis en §6. Il y introduit un *distinguo* entre liaisons fixes, comme des barres, des axes fixes de rotation (liaisons invariables dans le temps, s'exprimant par des « relations géométriques ») et liaisons non fixes, résultant de forces, comme l'attraction d'un ressort (liaisons variables dans le temps, s'exprimant par des relations dynamiques).

Les nouvelles définitions proposées par Coriolis : travail élémentaire, travail

Les définitions précédentes étaient plus ou moins connues – elles servent à Coriolis pour asseoir son propos. C'est à partir du §8 qu'il amène graduellement la notion de travail – en commençant par la quantité infinitésimale Pds , baptisée travail élémentaire. La

quantité $\int Pds$ devient le travail, et Coriolis marque en §16 la cohérence de sa démarche à propos de la notion de travail :

C'était pour être d'accord avec cette dénomination, qui nous paraît tout à fait convenable, que nous avons déjà nommé travail élémentaire le produit pds, qui est en effet l'élément différentiel de ce que nous appelons travail.

L'approche n'est pas récursive : elle vise à montrer la cohérence interne de la démarche. Les §18 à 23 développent le principe de transmission du travail, les notions de travail moteur et de travail résistant. Il prévient :

Tout ce que nous venons de dire s'applique à une machine en mouvement, en tant qu'on la considère d'abord rationnellement, c'est-à-dire qu'on l'assimile à un système de points matériels liés entre eux d'une manière quelconque.

Le principe de transmission du travail est ainsi limité, au moins en ce chapitre I, à la mécanique rationnelle, mécanique de points matériels où les frottements n'existent pas :

(...) lorsqu'on fait abstraction des frottements, la différence entre le travail moteur que reçoit un système de corps en mouvement, et le travail moteur que ceux-ci produisent sur des corps qui résistent à ce mouvement, est égale à la variation de la somme des forces vives du système.

En anticipant le principe de Carnot, il n'y a pas de repas gratuit (§25):

(...) ce que nous avons appelé travail est une quantité que l'on ne peut augmenter par l'emploi des machines : celles-ci sont destinées (...) à changer tout ce qui constitue une force et un chemin, mais sans pouvoir jamais augmenter le travail.

Et, pour revenir aux frottements :

La portion de cette quantité [le travail] que les machines peuvent reproduire est d'autant moins différente de celle qu'elles ont reçue, que les frottements sont moins considérables. Si l'on supposait qu'on pût construire des machines sans frottements, on pourrait dire alors que le travail est une quantité qui ne se perd pas.

En ce §25, Coriolis semble toutefois emporté par son élan, comparant le travail à un fluide – c'était à l'époque une explication qu'on avait à tout propos, le fluide du phlogistique, du calorique :

Pour se représenter avec facilité la transmission du travail dans le mouvement des machines, on peut la comparer à celle d'un fluide qui se répandrait dans les corps en communiquant de l'un à l'autre par les points de contact comme lieux de passage.

Les §26 à 28 visent à faire la correspondance entre le travail mesuré au sens économique du terme et la notion physique de travail tel que proposée (notamment par comparaison avec la grandeur physique du volume comme nous avons vu ci-dessus). Le §31 propose la nouvelle unité du dynamode, que nous avons discutée ci-dessous.

LA NOTION DE TRAVAIL APPLIQUÉE AUX RESSORTS, AUX MACHINES À VAPEUR

Le chapitre II, plus dense et calculatoire que le précédent, s'attache à appliquer la notion de travail à différents instruments de la mécanique des machines : biefs, ressorts, machines à vapeur, ... Ainsi la nouvelle notion de travail proposée par Coriolis à la mécanique rationnelle et à la géométrie est-elle à la fois légitimée et validée par ces applications : ces instruments viennent illustrer et densifier la nouvelle notion, et réciproquement celle-ci permet de donner un cadre théorique à leur fonctionnement. Ces allers-retours entre mécanique rationnelle et mécanique appliquée sont caractéristiques de l'ingénieur-savant, et plus précisément, du théoricien de la mécanique appliquée qu'est Coriolis.

Ainsi en est-il pour les ressorts, où le travail (moteur ou résistant, selon le cas) est représenté par l'intégrale $\int Rdr$ (R étant la raideur, précédemment définie par Coriolis) :

Pour des réactions élastiques, l'intégrale $\int Rdr$ est nulle entre deux instants pour lesquels la distance r est redevenue la même (...). Si la réaction n'est pas parfaitement élastique, l'intégrale $\int Rdr$ sera alors la différence entre les quantités de travail résistant et de travail moteur produit, d'une part pendant le dérangement du ressort, et d'une autre part pendant son retour à la longueur primitive.

Même si Coriolis n'est pas à l'origine de la notion d'élasticité, et n'a fait que peu de travaux sur le sujet, le rappel de ces définitions nous semble toujours avoir pour objectif de montrer comment la notion de travail s'adapte à la phénoménologie et aux instruments de la dynamique – ici les ressorts.

Travail des machines à vapeur

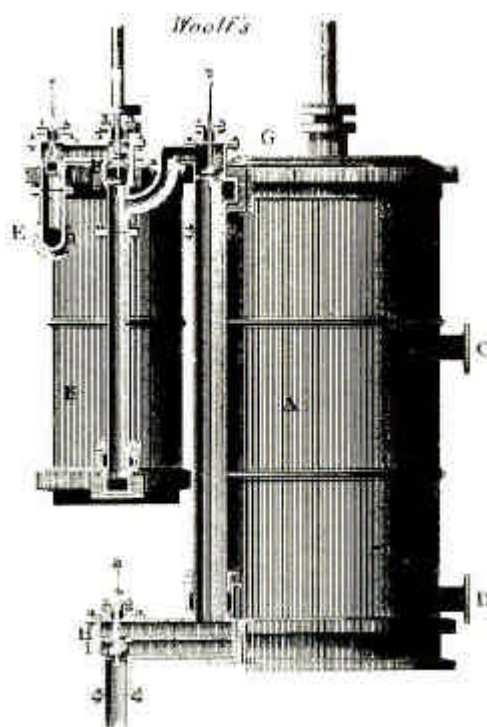
Les §41 à 43 sont consacrés à l'étude des gaz, et à l'examen la notion de travail dans cette situation. Coriolis traite le sujet de manière purement dynamique et absolument pas thermodynamique – et pour cause puisqu'il ne connaissait pas les travaux de Sadi Carnot – mais il nous semble que ses résultats ne sont pas entachés d'erreur.

Pour un volume variable v rempli de vapeur à une certaine tension, volume qui « puisse se dilater et même se déplacer pendant que de nouvelles vapeurs y arrivent », il donne l'expression du travail $T = \mathbf{p} \int h dv$ (où \mathbf{p} est le poids volumique de l'eau, et $h(v)$ la hauteur d'une colonne d'eau correspondant à la pression s'exerçant sur v). Il remarque à cet égard :

(...) le travail total, produit sur les différents éléments des parois par l'expansion du gaz, ne dépend ni de la forme de l'enveloppe ni de son mouvement dans l'espace ; il résulte seulement de la

manière dont la pression varie avec le volume, et des valeurs de ce volume au commencement et à la fin du mouvement.

Il mentionne la machine de Woolf (figure ci-dessous), puis se lance dans le «calcul du travail que peut produire la vapeur qu'on formerait à différentes températures», la vapeur se formant en usant «la totalité de la chaleur que développe la combustion d'un kilogramme de charbon de terre». Coriolis fait référence, pour l'idée de la formation de la vapeur, à un mémoire de Combes de 1824 dans les *Annales des mines*, mais pas à l'ouvrage de Sadi Carnot⁸⁰, pourtant publié la même année – preuve si besoin en était du peu de diffusion et d'impact de cet ouvrage lors de sa publication.



Machine de l'ingénieur anglais Woolf (1766-1837). (source A. Rees, Cyclopaedia, 1819)

La partie correspondante apparaît comme expérimentale, à la différence des parties précédentes qui sont fort théoriques. Coriolis donne l'état de la question chez les «physiciens», c'est-à-dire les expérimentateurs – ceux qui s'occupent notamment des lois de dilatation des gaz, mais pas de mécanique rationnelle. Coriolis ne s'inclut pas lui-même dans ces «physiciens» :

Les physiciens ne sont pas d'accord sur le volume qu'occupe un kilogramme ou un litre d'eau réduit en vapeur à différentes températures. La plupart admettent qu'on peut appliquer la loi de dilatation des gaz, c'est-à-dire que ces volumes sont en raison inverse des pressions, et s'accroissent en outre, sous une même pression, de 0,00375 pour chaque degré de température.

80. *Réflexions sur la puissance motrice du feu et sur les machines propres à développer cette puissance*, Bachelier Libraire, 1824.

Parmi les physiciens, Coriolis cite Combes, Southern, et dit avoir échangé avec Dulong. Il fait deux hypothèses, avec deux lois, celle de Southern où le coefficient 0,00375 n'intervient pas, et la plus généralement répandue, où ce coefficient intervient. Il aboutit à un tableau de différentes valeurs du travail fourni par la vapeur, suivant qu'il y ait expansion ou non, et suivant la loi générale de dilatation des gaz ou la loi de Southern :

Température de la formation.	Pressions en atmosphères.	Quantités de travail dynamique pour 10 kil. de vapeur, en supposant qu'il n'y ait ni pertes de chaleur ni frottements, et que la condensation se fasse à 40°. L'unité du travail est ici le dynamode ou 1000 kil. élevés à 1 ^m ,00.			
		Sans employer l'expansion.		En employant l'expansion.	
		D'après la loi de dilatation des gaz, le coefficient α étant de 0,00375.	D'après la loi de Southern, en prenant le coefficient de dilatation α égal à 0.	D'après la loi de dilatation des gaz, le coefficient α étant de 0,00375.	D'après la loi de Southern, en prenant le coefficient de dilatation α égal à 0.
100°	1	163 ^d	163 ^d	425 ^d	466 ^d
122°	2	179	169	555	593
135°	3	188	171	628	660
145°,2	4	193	172	682	710
154°	5	199	173	729	750
161°,5	6	202	173	767	784
168°	7	205	174	800	812
173°	8	208	174	825	832

Autres domaines d'application de la notion de travail

Les §44 à 47 détaillent sur une dizaine de pages la notion de travail appliquée aux fluides. Même si – à l'inverse de la partie précédente basée sur la physique – il revient là à la mécanique rationnelle, précisant qu'il s'inspire de l'analyse faite par Lagrange en 1784 dans le *Recueil de Turin*, il s'agit là encore de montrer comment la notion de travail colle parfaitement avec les différentes notions de l'« Hydro-dynamique », comme il mentionne cette science. Il s'intéresse à un filet d'eau suivant un canal de courbure quelconque ; ceci préfigure ses remarques sur les roues à aubes courbes, «à la Poncelet », sans qu'il rentre dans ce niveau de détail à ce moment-là – c'est une caractéristique de Coriolis de rester dans la généralité le plus longtemps possible. À propos de ce filet, il donne la formule en $\mathbf{pau}^2/g (1 - \cos \mathbf{a})$, en précisant qu'

Elle devient $2\mathbf{pau}^2/g$ quand on a $\cos \mathbf{a} = -1$, c'est-à-dire quand le fluide sort du canal dans une direction opposée à celle qu'il avait en y entrant.

On discutera de manière plus approfondie dans la partie suivante de ces résultats.

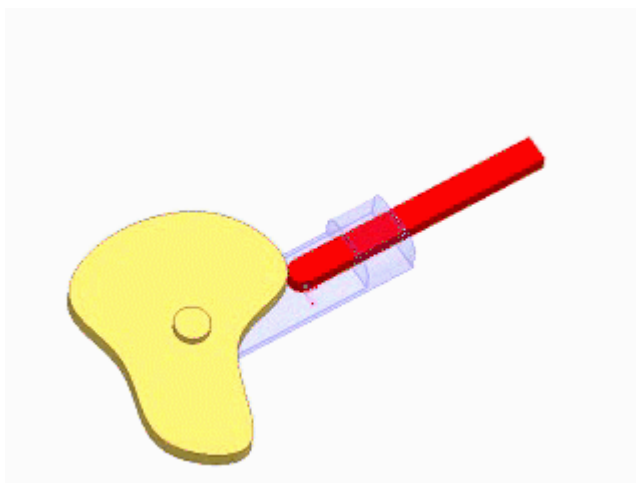


Les §48 et 49 ont trait au travail résistant dû aux frottements. Coriolis s'intéresse notamment aux engrenages, et indique suite à un raisonnement assez long :

Ainsi on peut énoncer généralement que le travail résistant dû aux frottements de deux cylindres a pour mesure l'intensité du frottement intégré par rapport à l'arc de glissement.

Après avoir énoncé la formulation la plus générale, il suppose le frottement constant, puis donne un exemple – on retrouve de nouveau la démarche consistant à partir de la plus grande généralité, puis fixer un paramètre et enfin donner un exemple :

Si, par exemple, on conçoit qu'une came soulève verticalement une traverse horizontale pesante (...) Le travail perdu par le frottement de la came contre la traverse horizontale sera donc le produit de frottement par l'arc de glissement, lequel est dans ce cas la portion du contour de la came qui a frotté contre la traverse.



Came (à gauche) dont la rotation autour de l'axe matérialisé en son centre donne un certain mouvement périodique, lié à sa propre forme, à la traverse à droite [Image extraite d'une animation Wikipedia].

C'est justement l'énoncé général ci-dessus dont Poncelet va contester assez violemment l'antériorité (voir partie suivante) – en s'offusquant d'une phrase du rapport de Navier sur l'ouvrage :

On remarquera ici une expression très simple, qui n'avait pas encore été donnée, du travail consommé par le frottement des engrenages ; expression qui se réduit à l'intégrale du produit de la résistance du frottement, multiplié par la variation de la distance des points en contact.



Coriolis avance ensuite des résultats pouvant être considérés comme des prémisses de ses travaux de 1831 sur le mouvement relatif :

Ainsi, la somme des forces vives dans un mouvement quelconque se décompose toujours en deux parties, dont l'une est la somme des forces vives qu'aurait le poids total placé au centre de gravité, et l'autre est la somme des forces vives qu'on trouverait en ne donnant à chaque point que la vitesse relative à ce centre (...) [§53]

(...) dans le cas où tous les points fixes d'une machine sont entraînés d'un mouvement rectiligne et uniforme dans l'espace, les principes sur la transmission du travail ont encore lieu pour le mouvement relatif seulement. [§56]

Navier souligne ces résultats dans son rapport : « Cette proposition remarquable n'avait pas été énoncée explicitement par Lagrange, quoiqu'elle se déduise facilement des expressions analytiques employées par le grand géomètre ».

En §57, Coriolis applique ces principes du mouvement relatif à la roue à aubes courbes – en précisant que son développement lui a été « suggéré par une considération de M. Poncelet, dans son *Mémoire sur les roues à palettes courbes* ». Il retrouve ses résultats du §47, et notamment la formule en $\cos\alpha$ mentionnée plus haut, et relève sans le citer une première approximation faite par Poncelet (nous discutons ce point dans la partie suivante) :

Mais il faut bien prendre garde que, dans ce cas, on ne passe plus avec autant de généralité du travail produit par une particule à celui que transmet un courant. (...) Or, ces conditions ne peuvent être remplies dans la réalité quand on fait élever et redescendre le courant dans le même canal, où le mouvement ascendant est gêné par le mouvement descendant.

DISSIPATION DU TRAVAIL DANS LES CHOCS ET LES FROTTEMENTS

C'est l'objet principal du chapitre III, centré sur la théorie des chocs, avec beaucoup de considérations théoriques et assez peu de formules. Coriolis y définit le « corps solide », par opposition à l'ensemble de points matériels sur lequel il travaillait jusque là, en rappelant les limites du principe des forces vives (ou de la transmission du travail) :

Lorsque nous avons établi les principes sur la transmission du travail, nous avons considéré le mouvement d'un ensemble de points matériels soumis à certaines liaisons géométriques que nous supposions parfaitement inaltérables, et c'est seulement à cette conception rationnelle que s'appliquait l'équation des forces vives.

Pour les corps solides constitutifs des liaisons dans les machines – qui ne sont alors plus des liaisons géométriques (immatérielles) entre simples points matériels, on doit prendre en considération les pertes de travail « dues aux compressions ou extensions produites dans des parties intimes des corps solides », aux ébranlements et aux vibrations. Ceci nous conduit à la théorie des chocs :

C'est ce qui arrive dans les chocs de corps solides, lors même qu'ils ne produisent pas de très grands changements de forme.

Il étudie la propagation des chocs dans une barre, sur le modèle de Lagrange. Il fait ensuite une incise (§66) sur le choc de deux corps isolés, comme deux corps sphériques : bien que «dans les machines on n’ait pas à [le] considérer», Coriolis le mentionne sans doute compte tenu de son intérêt pour le billard, au point qu’il y consacra six ans plus tard un ouvrage que ces propos préfigurent. Il trouve dans le jeu de billard situations, images et données permettant d’étayer son discours :

Bien que, dans le choc des billes d’ivoire dont on se sert dans le billard, on observe assez approximativement la conservation de force vive dans les vitesses des centres de gravité quand les mouvements de rotation sont peu sensibles (...)

Dans le jeu de billard, si l’on faisait frapper une bille contre une bande en bois sans garniture, quelque élastique que fût ce bois, la bille ne reprendrait pas en quittant cette bande la vitesse de translation qu’elle avait avant le choc : cela tiendrait à ce que l’ébranlement de la bande absorberait une trop grande portion de la force vive. Mais si, entre la bande en bois et la bille⁸¹, il absorbera en se comprimant la majeure partie de la force vive, en diminuant celle qui serait transmise au bois de la bande et celle qui ébranlerait la bille. Ce ressort rendra ensuite presque toute la force vive qu’il a absorbée ; et comme le bois résiste au déplacement, c’est-à-dire qu’il a une grande raideur absolue, tandis que la bille recule librement, celle-ci reprendra presque toute la force vive, comme dans un canon le boulet prend presque toute la force vive du gaz comprimé.

Développant cette notion d’ébranlement des corps solides, il prend un autre exemple, basé sur l’expérience – expérience qu’en l’espèce il confie à Cauchy :

M. Cauchy, membre de l’Académie des Sciences, a bien voulu, à ma demande, traiter le problème du choc de deux barres cylindriques d’un diamètre très petit, en ayant égard à la dilatation latérale qui accompagne la compression (...) si ces barres ne sont pas égales en longueur, ou qu’elles ne soient plus de même nature, alors au moment de la séparation il reste encore, soit dans une barre, soit dans les deux, un ébranlement qui absorbe une certaine portion de la force vive qui existait avant le choc (...) Pour deux barres de même nature, mais dont l’une aurait une longueur double de l’autre, les ébranlements qui persistent après le choc absorbent, suivant M. Cauchy, les trois quarts de la force vive.

Coriolis se lance alors dans une comparaison intéressante entre la théorie du choc et la théorie de la chaleur :

La véritable théorie mathématique, sous le rapport de la répartition du travail dans le choc, reste encore à faire. La question est analogue à celle de la répartition de la chaleur ; elle en diffère cependant en ce que, pour la chaleur, on part de la marche différentielle donnée par l’expérience⁸² (...) [§68]

81. On peut supposer que Coriolis parle ici de la bande de feutre qui entoure les bandes du billard, bien qu’il ne la mentionne pas.

82. Coriolis fait sans doute ici allusion à l’équation différentielle de la chaleur (équation de Fourier) : $dC/dt = K d^2C/dx^2$.

Il en est en cela du travail comme de la chaleur ; on ne peut entretenir dans ces corps une température supérieure à ce qu'elle eût été naturellement, c'est-à-dire à ce qu'elle est dans les corps environnants, sans qu'aucune source restitue ce qui se perd continuellement par la propagation indéfinie [§72]

Il tente de définir le « travail en un point », comme on peut définir la chaleur en un point avec l'équation de propagation de la chaleur – de manière analogue, Coriolis propose un élément différentiel, sans toutefois donner de formule ou d'équation de propagation :

(...) en passant à la limite de petitesse de l'élément, ce rapport deviendra ce qu'on peut appeler le travail au point auquel l'élément s'est réduit.

Il prend en §70 l'exemple de la propagation du bruit lié au battement d'une cloche :

(...) supposons qu'une cloche soit frappée par un battant : le travail moteur communiqué à celui-ci⁸³ se répartira après le choc entre la cloche et le battant ; puis il s'étendra de suite d'une part à l'air environnant, et d'une autre aux supports de la cloche, pour se répandre ensuite dans l'intérieur de la terre.

Cette image paraît bien choisie, car elle est très parlante : « l'élasticité parfaite de la cloche et du battant ne peut présenter dans ce cas aucune des circonstances qu'on lui attribue d'après les notions ordinaires ». Il n'y a pas déformation ni du battant, ni de la cloche, et pourtant il y a propagation d'une énergie acoustique, c'est-à-dire perte de travail « dans l'air environnant » :

C'est ainsi qu'on ne doit pas seulement attribuer l'extinction du travail dans certains corps à un défaut d'élasticité, mais aux contacts qu'ils ont indispensablement avec d'autres corps, où le travail se communique dans une si grande étendue qu'il devient bientôt insensible.

Coriolis en arrive à supposer que la perte de travail par déformation inélastique est négligeable devant la perte par « communication », c'est-à-dire par diffusion. Il prend un autre exemple, lié comme le billard à sa pratique personnelle, cette fois-ci celle du violon :

Ainsi, dans les instruments à cordes, le travail absorbé par le frottement de l'archet produit très peu d'usure, et presque tout se transmet en vibration de l'air environnant.

Le travail ou force vive est ainsi dissipé par la cloche ou par l'archet sous forme de bruit ou de musique dans l'air.



Coriolis va essayer de mesurer certains ébranlements par des expériences, comme il fait, on le verra, des expériences à propos des chocs de billes de billard, ou de cannes contre une bille. Il regarde passer des voitures à chevaux (travail moteur) et examine les « ondes formées à la surface d'une eau tranquille », révélatrices de l'ébranlement du sol. Il relativise toutefois la portée de ses observations :

83. Lorsqu'on sonne les cloches, par exemple avec une corde, on transmet un mouvement moteur au battant central lié à la corde (le mouvement est transmis au battant et non à la paroi de la cloche).

Bien que de semblables observations puissent être parfois de quelque utilité, il ne faut cependant pas accorder trop de confiance à ce moyen d'apprécier des pertes de travail. D'abord, il est difficile de juger les ébranlements par comparaison (...)

Reprenant la comparaison osée qu'il avait faite du travail à un fluide, il donne une autre image de la déperdition de travail :

On peut comparer sous ce rapport [la machine] à un canal qui laisse passer à travers ses parois une partie du liquide qu'il est destiné à conduire. Il s'offre beaucoup de circonstances où cette comparaison amène clairement des conséquences qui ne viendraient pas aussi facilement à l'esprit sans les notions qu'elle fournit. Ainsi l'on sent de suite qu'une machine à vapeur placée sur un sol invariable fournirait plus de travail pour l'effet utile que celle qui serait posée sur un bateau qu'elle ferait osciller à chaque coup de piston.

Après un long développement mathématique sur une évaluation de la perte d'énergie dans un arbre à cames, Coriolis rappelle un des objectifs de sa démarche : il est important de trouver un maximum théorique à la perte d'énergie, c'est-à-dire un minimum théorique au rendement de la machine :

(...) en sorte que les formules précédentes ne donneraient pas encore une limite à la perte de force vive. Néanmoins, on doit les considérer comme fournissant des approximations suffisantes pour les cas où on manquera d'expériences (...) Pour qu'on fût certain d'avoir une limite supérieure au travail perdu, (...)



Dans la rubrique tribologie (science du frottement) des sites encyclopédiques actuels, Coriolis et son ouvrage de 1829 sont crédités pour avoir indiqué que la production de vibrations est particulièrement forte quand le frottement produit peu d'usure, et inversement. En tenant la craie « comme il faut », nous formons sur le tableau un dépôt large et opaque, en silence. En la tenant « mal », nous engendrons des crissements plus ou moins discordants ou d'autres types de sons (image Wikibooks, Jean-Jacques Milan [2005])

LA MODÉLISATION DE PROCESSUS INDUSTRIELS

Dans le chapitre IV, le dernier et le plus long, Coriolis va plus avant dans sa description de diverses machines, avec un double objectif.

Le premier objectif est de modéliser par la théorie un certain nombre de process industriels : les roues à aubes, ... Il ne s'agit plus de simples outils comme les ressorts, déjà

bien connus, mais de *systèmes* complets – ce mot vient naturellement sous la plume de Coriolis :

Ce que nous nous proposons de dire sur la théorie de chaque système propre à recueillir le travail des moteurs.

Le deuxième objectif est d'évaluer les pertes de travail, ou plutôt de leur fixer une limite supérieure. C'est bien là l'ingénieur soucieux de maximiser l'*effet* des machines, ce qui l'amène à définir le champ de son investigation (§ 134). Il précise qu'il n'entre pas dans les modalités de *transmission* du travail (par exemple les dispositifs de renvoi de mouvement), qu'il rattache naturellement à la "géométrie", telle qu'il l'a définie en introduction (la science de l'étude du mouvement). Quant à lui, « [il] n'aur[a] à considérer ici que les moyens d'éviter les pertes de travail ».

On retrouve à nouveau le va-et-vient de l'ingénieur-savant : le savant propose la « théorie de chaque système », l'ingénieur évalue suivant diverses hypothèses découlant de la théorie (ce qu'on pourrait appeler divers *modèles*) le minimum de pertes de travail, donc le maximum d'effet des systèmes.



Après quelques considérations sur les volants des machines, ou régulateurs, il examine longuement, sur trente pages, des §99 à 113, un premier système : les roues à aubes et les roues à palettes. C'est dans ce cadre qu'il examine et critique la roue de Poncelet, critique sur laquelle nous reviendrons dans la partie suivante.

Il examine aussi le travail des machines à vapeur, en s'exprimant en permanence en *dynamodes*, l'unité qu'il a introduite peu auparavant dans l'ouvrage. Navier résume ainsi cette partie :

Quant à l'emploi de la vapeur aqueuse, M. Coriolis montre en détail que cet emploi doit également être réglé d'après des considérations qui se réduisent à la détermination d'un maximum, détermination qui repose uniquement aujourd'hui sur des recherches expérimentales, auxquelles il serait bien important de se livrer.

De §124 à §129, il examine le système des moulins à vent en le modélisant, et confronte le résultat de sa théorie avec les résultats d'expérience (toujours en les exprimant en *dynamodes*).

Il donne enfin 19 pages de tableaux de mesures analogues (théorie *vs.* expérience), concernant l'ensemble de ces systèmes. Comme le dit Navier :

La vérification et le perfectionnement progressif de ces tables, au moyen d'observations exactes et énoncées avec précision, est un des objets les plus utiles sur lesquels puisse se diriger l'attention des ingénieurs.

Coriolis va dans le même sens, mais de manière plus précise et plus profonde, quand il écrit presque à la fin de son ouvrage, toujours à propos des tableaux :

Le temps n'est pas éloigné, sans doute, où le travail s'employant davantage, s'économisera mieux, et où l'intérêt qu'on aura à connaître tous ces résultats fera chercher par expérience ceux qui ne peuvent s'obtenir directement par la théorie.

Quand Coriolis indique : « le travail s'emplo[iera] davantage », il faut comprendre le fait que les usages des machines à vapeur vont se multiplier, comme a commencé à croître l'usage des roues hydrauliques et des moulins à vent. Les deux phrases de Navier et de Coriolis mises en exergue ici se répondent l'une l'autre : les deux théoriciens de la mécanique appliquée n'ont de cesse que comparer leurs théories et modélisations aux résultats expérimentaux déjà connus, ou à venir.

Cet aller-retour permanent entre la théorie et la pratique nous fait émettre l'idée qu'on assiste là aux premières *modélisations* industrielles. Certes ce type d'approche existait auparavant, par exemple chez Borda pour les roues : mais la généralisation que fait Coriolis à tout type de système, son approche *systématique* en la matière, nous laissent penser qu'on a franchi là une étape dans les rapports entre la théorie et la pratique, en ébauchant les premières modélisations de processus industriels.

LE TRAITÉ DE LA MÉCANIQUE DES CORPS SOLIDES, 2^{NDE} ÉDITION DU CALCUL

Coriolis, à la fin de sa vie, rééditera l'ouvrage sous une forme légèrement différente. Il y travaille à partir de 1841, et peut-être avant cette date⁸⁴. Il paraît après sa mort, en 1844, grâce à Bélanger qui en fait l'édition. Selon Gillispie, Coriolis aurait eu l'intention de publier un traité complet de mécanique appliquée où se trouveraient réunis « la science des machines et un exposé moderne des principes fondamentaux de la mécanique », mais la mort l'en a empêché. Comme le disent les éditeurs du *Traité* :

L'auteur du Calcul de l'effet des machines, en travaillant à une seconde édition de son ouvrage, s'était proposé de le refondre et de l'étendre de manière à former un traité complet de Mécanique appliquée. En même temps il avait cru devoir donner plus de développements à l'exposition des principes fondamentaux que cette science emprunte à la Mécanique rationnelle.

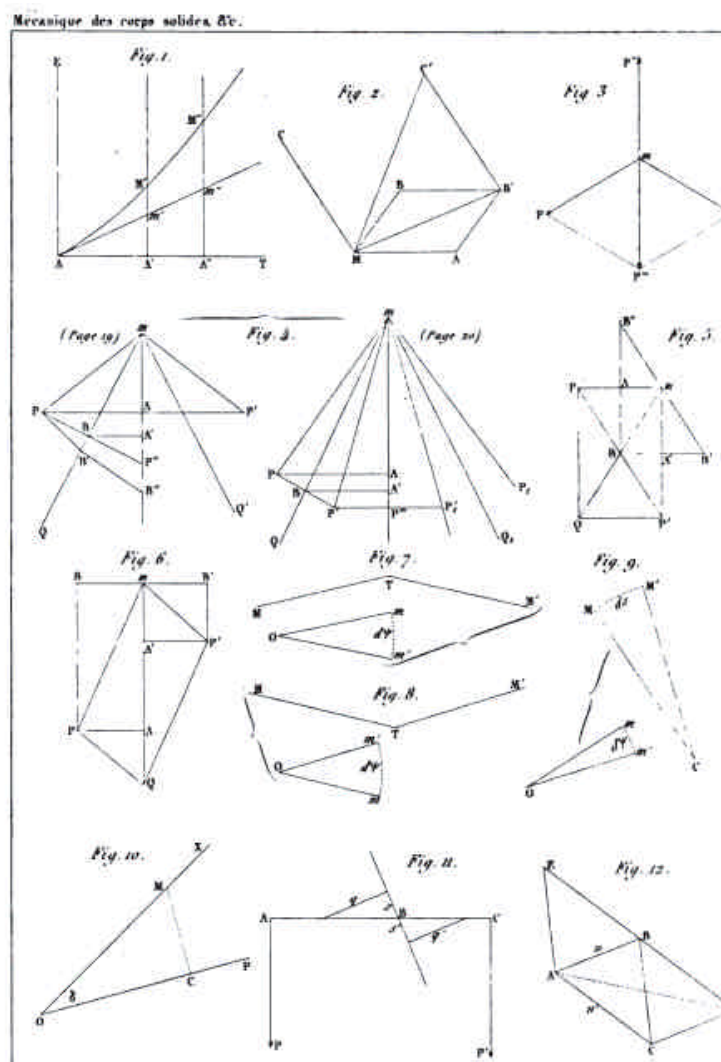


Le *Traité* est constitué par trois nouveaux chapitres sur la mécanique des corps solides, auxquels succède une réédition quasi à l'identique du *Calcul de l'effet des machines*⁸⁵, à partir de son chapitre II. Les trois nouveaux chapitres spécifiques au *Traité* procèdent ainsi du souhait de Coriolis de donner des principes de base de la mécanique rationnelle, en

84. En février 1841, il mentionne dans une note "Sur un théorème de mécanique" à l'Académie des sciences qu'il s'occupe « de la rédaction d'un ouvrage sur la Mécanique » en février 1841, il mentionne dans une note "Sur un théorème de mécanique" à l'Académie des sciences qu'il s'occupe « de la rédaction d'un ouvrage sur la Mécanique »

85. C'est pourquoi l'édition de 1844 du *Traité de la mécanique des corps solides* est intitulée "seconde édition"; c'est en fait la seconde édition du *Calcul de l'effet des machines*, dont la première édition date de 1829. L'éditeur a simplifié certaines têtes de chapitre (ainsi le § 119 « Des moyens de recueillir le travail de la vapeur » devient le § 126 « De la vapeur comme moteur »).

prélude du *Calcul*. On notera que l'ensemble ainsi constitué (*Traité* suivi de *Calcul*) comprend en tout et pour tout une planche de figures, d'ailleurs assez simples et se rapportant à des notions de base figurant dans le *Traité* – puisque le *Calcul*, quant à lui, ne comportait aucune figure en 1829 et n'en comporte toujours pas dans sa réédition.



Unique planche de figures de l'ouvrage, page 368.

Le travail et le principe de transmission intégrés aux notions de base

Le chapitre I^{er} reprend de manière pédagogique des notions très simples de cinématique et de dynamique. Après des considérations générales de statique (§ 1 à 20), Coriolis entre plus spécifiquement dans son propos relatif aux machines :

Nous n'insisterons pas ici sur les applications des formules précédentes à la recherche du mouvement d'un corps soumis à une force connue, ce problème ayant peu d'applications dans la mécanique industrielle qui fait l'objet spécial de cet ouvrage.

Cette distinction est intéressante : Coriolis semble limiter, un peu abusivement peut-être, le champ d'action de la mécanique rationnelle à l'étude des mouvements des corps soumis

à une force connue (p. ex. les astres en mécanique céleste). Et il semble définir la mécanique industrielle (ce que nous avons appelé la *mécanique appliquée*) comme celle de l'étude des mouvements de corps soumis à des forces non spécifiquement connues.

Il considère, dans une démarche toujours la plus générale possible, un point matériel contraint de glisser sur une courbe donnée : par exemple une molécule d'eau suivant la courbe formée par l'auget d'une roue. Il introduit alors le principe de l'action et de la réaction, en le présentant comme issu de l'expérience, et le qualifie ainsi :

On peut dire que ce principe est la base de la Mécanique des machines. Dès qu'on cesse de s'en tenir au mouvement d'un corps isolé, et qu'on veut isoler celui de deux ou plusieurs corps en contact, on est obligé d'y avoir constamment recours.



En 1844, Coriolis considère la « quantité de travail » comme faisant partie des définitions de base qu'il donne en chapitre premier du *Traité*. On sait comment il avait introduit, progressivement et de manière très élaborée, la notion de travail dans le *Calcul* : quinze ans plus tôt : cette élaboration n'est plus nécessaire alors que la notion de travail s'est imposée, au point de faire partie des définitions, qu'il donne de manière didactique et achevée. Il introduit les notions de force mouvante et de force résistante, et procède à la définition simple du travail :

L'intégrale $\int Pds$, dont chaque élément Pds est le produit de la composante tangentielle d'une force F par l'arc infiniment petit ds décrit par son point d'application, se nomme la quantité de travail due à cette force F .

On peut toutefois s'étonner toutefois qu'encore quinze ans plus tard, il parle de « quantité de travail », par analogie à l'ancienne « quantité d'action », et non simplement de « travail », ce qui serait plus approprié et conforme à ses propositions de 1826 et 1829. Bélanger, pourtant admirateur de l'œuvre de Coriolis, écrira lui-même que l'auteur aurait dû employer la désignation « travail » et non « quantité de travail ».

Il définit aussi la notion de force vive, $p\omega^2/2g$, correspondant à sa proposition du *Calcul*, à savoir la moitié de l'acceptation précédente de cette notion – quinze ans plus tard ce n'est plus une proposition mais une définition. Comme en 1829, il propose de rebaptiser l'équation des forces vives en « équation de la transmission du travail » :

Mais, nous le répétons, cette désignation sera beaucoup mieux justifiée, quand nous aurons fait voir comment (cette) équation peut s'étendre à un ensemble de points matériels et à une machine quelconque.

Il rebaptise aussi la force vive en « travail disponible » :

On pourrait nommer la quantité $p\omega^2/2g$, le travail disponible renfermé dans le corps. On conçoit donc comment quelques auteurs et quelques mécaniciens pratiques, ayant d'abord employé le

mot force dans l'acception de ce que nous appelons ici travail, aient donné au produit $p\omega^2/2g$ la dénomination de force vive, qui avait alors pour eux, le sens de travail disponible.

C'est donc à un changement sémantique assez important que Coriolis nous invite, proposant (enfin!) de remplacer les forces vives par le travail, dans l'appellation de *l'équation des forces vives*, comme dans l'appellation des *forces vives*. Il parachève ainsi la construction de sa « théorie du travail », notamment avec cette notion de « travail disponible » en lieu et place de la force vive.

Principes du mouvement relatif

Après avoir développé la notion de travail qu'il avait exposée pour la première fois dans le *Calcul* en 1829, Coriolis expose (§ 27 à 31) les principes du mouvement relatif, en intégrant les résultats de ses articles de 1831 et 1835 sur le principe des forces vives dans le mouvement relatif, et sur les forces centrifuges composées :

Ces équations nous apprennent que le mouvement relatif du point matériel, par rapport aux axes mobiles, peut se traiter comme un mouvement absolu par rapport à des axes fixes, pourvu qu'on regarde le mobile comme soumis à deux forces fictives, en outre de la force F, la seule qui agisse réellement.

La première de ces forces fictives est égale et directement opposée à la force F, qui serait capable de produire le mouvement d'entraînement du point matériel avec les axes mobiles, c'est-à-dire, le mouvement que prendrait ce point, s'il était lié tout à coup d'une manière invariable avec ces axes mobiles.

(...) la seconde force fictive qu'il est nécessaire d'introduire pour pouvoir traiter le mouvement relatif comme un mouvement absolu, est égale au double de celle qui produirait l'accélération $\varphi\Omega\sin\gamma$, formée du produit de la vitesse angulaire de rotation autour de l'axe instantané, par la projection de la vitesse relative sur un plan perpendiculaire à cet axe.

Coriolis fait remarquer que la seconde force fictive « ne peut produire aucun travail relatif ». Puis il énonce son résultat de 1831, savoir :

que dans le mouvement relatif, l'équation des forces vives ou de la transmission du travail a encore lieu, pourvu qu'on ajoute au travail des forces F données, celui que produiraient des forces égales et opposées à celles qu'il faudrait appliquer au point matériel pour l'obliger à se mouvoir comme s'il était invariablement lié avec les axes mobiles.

C'est donc dans ce chapitre F^r du *Traité* que Coriolis réunit, pour la première fois, ses travaux sur le mouvement relatif avec ses travaux sur les machines.

Mécanique et physique moléculaire

À partir du chapitre II du *Traité* (rappelons que les trois premiers chapitres sont spécifiques à l'édition de 1844), Coriolis passe de la mécanique du point matériel à celle du solide. À partir du §47, il s'intéresse aux forces de frottement, et aux chocs non élastiques (à partir du §53), avec un titre évocateur : « Du principe de la transmission du travail dans le mouvement d'un corps, en ayant égard aux ébranlements des molécules ». Il avait auparavant négligé le frottement ou la non-élasticité des chocs en supposant que la distance « entre molécules » restait constante dans le solide. Il indique à présent :

En réalité, les molécules des corps, même les plus solides, sont ébranlées et animées par conséquent de vitesses relatives les unes par rapport aux autres. Ces vitesses se manifestent, par exemple, dans tous les corps qui rendent des sons par le frottement ou par le choc (...)

Ainsi, si la cloche, le violon, ou la craie sur le tableau produisent un son, c'est parce que les molécules des corps correspondants sont comprimées. Et l'on doit progressivement inclure les résultats de la « physique » dans ceux de la « mécanique » :

Plus la physique fait de progrès, plus la considération des mouvements moléculaires devient indispensable pour expliquer une foule de phénomènes. On ne pourrait donc négliger cette considération dans l'étude de la mécanique, sans ôter aux principes leur rigueur, et sans en rendre l'application incertaine.



Pour étudier cela, Coriolis introduit dans les paragraphes §48 à §51 une notion de « mouvement moyen ». Sa démarche paraît assez complexe, mais elle se comprend par son objectif : il n'est pas d'étudier la mécanique du frottement en tant que telle, mais d'évaluer la conséquence du frottement sur le mouvement des machines. La notion de « mouvement moyen » d'un corps permet, justement, de moyenniser les effets des forces de frottement, sans rien enlever à la généralité de l'étude du mouvement. Ce résultat apparaît dans la conclusion suivante :

On conclut des remarques précédentes que le principe de la transmission du travail a lieu pour un ensemble de corps solides, composant une machine quelconque, quelles que soient les vibrations produites dans ces corps par les frottements aux points de contact, pourvu qu'on ne tienne compte que des mouvements moyens, et qu'on ait égard aux quantités de travail résistant dues au frottement.

D'un point de vue épistémologique, on ne peut manquer de dresser un parallèle entre cette démarche et le résultat de 1831 de Coriolis sur les forces d'entraînement : dans les deux cas, il examine quels éléments ajouter à l'équation des forces vives (ou de la transmission du travail) pour assurer sa conservation dans la généralité du problème étudié. Tout en précisant que « la perte de travail due au frottement ne peut être fixée que

par des expériences », il va apporter une pierre théorique à l'édifice avec la définition de la force de frottement :

On a reconnu ainsi que ce travail pouvait être considéré comme dû à une force résistante F , à laquelle on donne le nom de frottement, appliquée au corps mobile, au point de contact, et en sens inverse de son mouvement de glissement sur le corps immobile. L'intensité de cette force a été trouvée à très peu près proportionnelle à la pression normale qui s'exerce au contact des deux corps, et en même temps indépendante de la vitesse ; du moins jusqu'à des vitesses d'environ 3 mètres par seconde.

Cette citation nous paraît assez révélatrice de l'œuvre et de la démarche de Coriolis : tout en se référant à l'expérience, il dégage des notions théoriques. C'est le cas pour la « force de frottement » dont il ne semble pas qu'elle ait été définie auparavant. Toutes choses égales par ailleurs, il a aussi défini la force centrifuge composée à laquelle il donnera son nom : si son travail apparaît moins spectaculaire pour la force de frottement, c'est parce qu'il existait de nombreuses données d'expérience relatives au frottement. Cependant c'est lui qui, le premier, le met en équation, et l'injecte dans l'équation des forces vives.

Un testament dans la tradition de Lagrange ? de Carnot ?

Le *Calcul* de 1829 était le premier ouvrage d'un homme de trente-sept ans, destiné à le faire connaître et le porter vers l'Académie : il atteindra son but. Sa réédition, le *Traité* de 1844, est un ouvrage d'homme mûr, la cinquantaine dépassée. On sait le prix qu'attachera Coriolis à ce *Traité* – il en parle dans sa correspondance, dans les cinq dernières années de sa vie, comme un de ses seuls motifs de satisfaction, voire le seul. Il regrette en permanence de ne pouvoir y travailler plus souvent.

On peut même émettre l'hypothèse que, suite à l'échec en 1841 de sa proposition de réforme de l'enseignement à Polytechnique et dans les écoles d'application, qu'il fait en tant que directeur des études (voir partie V ci-après), Coriolis reporte son attention et sa capacité de travail vers la nouvelle édition de son œuvre maîtresse – il refait de la science, ce qui lui convenait beaucoup mieux.

Les trois chapitres spécifiques que le *Traité* posthume comporte nous laissent penser que Coriolis veut laisser un ouvrage intégrant l'ensemble de ses résultats, une sorte de testament. Il y intègre ce qu'il estime, en ayant fait la théorie de la mécanique appliquée, avoir apporté à la mécanique rationnelle : la définition physique du travail, la théorie du travail (travail moteur, travail résistant, principe de la transmission du travail, redéfinition de la notion de forces vives,...), la théorie des mouvements composés (force d'entraînement, force centrifuge composée), l'extension de la mécanique du point matériel à celle du corps solide (chocs, frottements,...)

Le *Traité* apparaît ainsi, au moins en sa partie spécifique, comme la quintessence de ce que Coriolis a apporté à la mécanique rationnelle, en tant que théoricien de la mécanique appliquée. Même s'il apparaît, en tant que réédition du *Calcul* et se distinguant mal de ce dernier, manquer de spécificité, c'est sans doute ce que Coriolis pouvait écrire de plus achevé concernant sa conception théorique. Par rapport à la *Mécanique analytique* de Lagrange, il propose d'étendre le domaine de la mécanique des points matériels à celle des corps solides. C'est, au soir de sa vie, un traité de mécanique théorique dans la tradition lagrangienne – par sa forme, sa vision et ses calculs – que nous présente Coriolis. Mais, sur le fond, par sa vision prédominante de la dynamique, par son fort ancrage à la théorie des machines, l'ouvrage de Coriolis se situe, aussi, dans la tradition de Carnot. Même si Grattan-Guinness ([1993]) a opposé ces deux traditions – il parle pour Carnot et les ingénieurs-savants d'une « tradition anti-lagrangienne » – il se pourrait bien, comme nous l'avons déjà remarqué, que Coriolis ait tenté de concilier les deux, en apportant la rigueur mathématique lagrangienne (qui l'a toujours guidé) à la science des machines de Carnot.

Chapitre 6. Coriolis et Poncelet, parallèles et divergences

Nous nous proposons ici de poursuivre la caractérisation de la démarche et de la contribution de Coriolis, en les comparant à celles de ses contemporains. Le cas de Poncelet nous semble à cet égard intéressant – mais nous n’oublions pas celui de Navier. De fait, l’historiographie des sciences a souvent voulu comparer Coriolis et Poncelet (1788-1867) : tous deux issus de la même promotion de Polytechnique, ils ont apporté des contributions majeures à la théorie des machines. Cette comparaison, au demeurant justifiée, trouve notamment sa source dans une assez violente querelle de paternité que fait Poncelet à Coriolis en octobre 1829 dans le *Bulletin des sciences mathématiques, physiques et chimiques*, deux mois après la parution du *Calcul*, querelle sur laquelle nous reviendrons.

Une analyse plus approfondie nous amène à suggérer que la rivalité entre les deux hommes est assez ponctuelle – il est vrai sur une période cruciale. Mais la compréhension que nous avons de la démarche scientifique de Coriolis nous amène à la distinguer assez nettement, y compris sur leurs sujets d’intérêt commun, de la démarche scientifique de Poncelet.

Finalement, c’est plus de la démarche de Navier, de sept ans son aîné, ingénieur des Ponts comme lui, que nous sommes tentés de rapprocher celle de Coriolis, et ce bien qu’ils aient eu moins de sujets d’intérêt commun. L’historiographie sur Navier est malheureusement très réduite, voire indigente : aussi notre parallèle sera limité. Mais il apparaît que la carrière de Coriolis se fond dans celle de Navier finalement plus qu’elle ne se compare avec celle de Poncelet.

CORIOLIS ET PONCELET, PARCOURS COMPARÉS

Commençons néanmoins par cette comparaison – beaucoup de choses rapprochent en effet les deux hommes. Malgré le fait que Poncelet soit de quatre ans plus âgé que Coriolis, ils sont dans la même promotion de Polytechnique (X1808), ou dans deux promotions voisines (1808 pour Coriolis et 1807 pour Poncelet, qui semble redoubler une année pour des raisons de santé). Tous deux ont suivi le premier cours de machines professé à Polytechnique, celui de Hachette à partir d’octobre 1806⁸⁶, et ont pu en être favorablement impressionnés – il est à noter que Navier, issu quant à lui d’une promotion antérieure (X1802) ne s’intéressera guère aux machines au long de sa carrière

86. Ce premier cours a lieu le 29 octobre 1806, de 8h à 9h du matin (source Dupont [2000]). Belhoste et Lemaître [1990] ont relevé que la théorie des machines est, avec la géométrie descriptive, un des éléments fondateurs du « projet polytechnique » porté par Monge.

Poncelet et Coriolis ont aussi été qualifiés tous deux d'« ingénieurs-savants », le premier étant parfois qualifié d'« ingénieur militaire ». Ces vocables méritent d'être approfondis au regard du sujet qui nous intéresse. Car si Poncelet et Coriolis ont œuvré tous deux à la théorie des machines, c'est avec une approche différente.

Le parcours de Poncelet

Poncelet est au début de sa carrière un officier de terrain, dans les armées napoléoniennes entre 1812 (il participe à la campagne de Russie) et 1815. Il publiera, entre 1816 et 1824, d'importants résultats de mathématiques (dont le théorème de Poncelet sur les coniques), ce qui fait de lui non seulement un ingénieur militaire, mais aussi un brillant mathématicien⁸⁷, au moins à ses débuts. Parallèlement, en 1816, affecté à l'atelier du Génie de Metz, il se voit confier la fabrication de divers matériels de forge. C'est à la suite de ces travaux qu'il est amené à faire en 1823 la théorie de sa grande découverte, la roue à aubes courbes, plus tard désignée sous le terme de « roue de Poncelet ». Il accepte alors en 1825, à la demande d'Arago, la charge du premier cours de machines à l'École de Metz, quoique non volontaire pour cela. Une fois la reconnaissance académique accordée à sa roue à aubes courbes (il reçoit le prix Montyon de l'Académie des sciences en juin 1825), Poncelet cherchera à améliorer son invention et à la diffuser. Comme le disent Belhoste et Lemaître ([1990]), « Poncelet voulait faire de sa roue un véritable succès industriel » ; non mû par la recherche de gains financiers, il l'était par le souci de reconnaissance et de diffusion de ses travaux. Il sera « propagandiste actif de sa roue » sa vie durant, avec de nombreux voyages en province, et des contacts avec des industriels, polytechniciens pour la plupart. Ce n'est qu'en 1835, à quarante-sept ans, que Poncelet s'installe à Paris : il avait été élu en mars 1834 à l'Académie des sciences contre Coriolis (celui-ci, cadet de quatre ans de Poncelet, sera élu deux ans et demi plus tard).



Si l'on examine le parcours de Poncelet tel qu'ici très rapidement résumé, on constate qu'il a peu à voir avec celui de Coriolis. Celui-ci a une carrière parisienne dès 1817, à vingt-cinq ans. Il consacre sa vie à l'enseignement, de 1817 à sa mort⁸⁸ ; Poncelet enseigne à Metz de 1825 à 1835, son enseignement servant de base à ses travaux expérimentaux sur les différents types de roues. Coriolis ne voyagera que très peu hors de Paris, à la différence de Poncelet.

Poncelet contribue à la théorie des machines sur la base d'une expérience pratique, et Coriolis y contribue sur la base de travaux mathématiques et physiques (comme le montrent d'ailleurs ses articles, fortement mathématiques). Poncelet est avant tout un

87. Il laisse son nom à des théorèmes sur les coniques en géométrie projective.

88. En considérant, par extension, que son activité de directeur des études à Polytechnique, de 1838 à 1843 (période où il n'enseigne plus), est néanmoins en étroit rapport avec l'activité d'enseignement.

ingénieur militaire – il est d'ailleurs officier d'artillerie – apportant par ailleurs des contributions théorico-pratiques à la théorie des machines. Ainsi, à aucun moment Coriolis ne fait d'*invention* technique (telle la roue à aubes courbes), mais il fait une *découverte* scientifique (par exemple celle des forces centrifuges composées).

Nous avons qualifié Coriolis de « mathématicien, théoricien de la mécanique appliquée ». Coriolis est avant tout un savant – membre d'un corps civil, celui des Ponts – apportant des contributions théoriques à la théorie des machines, sans qu'elle semble rattachée à une réelle *praxis*. Sa pratique des mathématiques semble plus étroitement liée à son intérêt pour les machines – il fait de l'analyse et de la mécanique rationnelle ; la pratique des mathématiques pures par Poncelet n'a de rapport avec sa pratique de la mécanique ni dans le temps (elles ne correspondent pas aux mêmes périodes au cours de sa carrière), ni dans l'objet (Poncelet est un « géomètre »). Coriolis est « mathématicien, théoricien de la mécanique appliquée », ces deux éléments n'étant pas disjoints tout au long de sa carrière. Poncelet est un brillant géomètre au début de sa carrière, puis un théoricien et surtout praticien de la mécanique appliquée.

Coriolis ingénieur-savant ?

Nous nous sommes aussi interrogé, à propos de Coriolis, sur la catégorisation d'« ingénieur-savant » proposée par Grattan-Guinness ([1993]) et reprise dans l'historiographie actuelle. Grattan-Guinness n'en fait d'ailleurs pas une grille de lecture infaillible – il oppose simplement les ingénieurs-savants (ce qu'il appelle dans son article « le groupe A ») et les savants plus traditionnels et théoriques (comme Laplace ou Biot, ce qu'il appelle « le groupe B »).

Au groupe B ("Analyse mathématique/ physique") se rattachent sans conteste des polytechniciens « académiques » comme Binet, Biot, Cauchy, Duhamel, Poinsot, Poisson, Sturm⁸⁹, ou des savants plus âgés comme Ampère, Fourier, Lagrange, Laplace, Legendre. En revanche, on est surpris de trouver dans ce groupe Fresnel, Lamé ou Malus, qui nous paraissent plus se rapprocher des ingénieurs-savants : à la fois ingénieurs et savants, développant une œuvre scientifique et une œuvre d'ingénieur – mais il est vrai pas forcément concomitamment. Il n'entre pas forcément ici de lancer une discussion sur le sujet, mais elle nous paraît intéressante, tant cette catégorie des « ingénieurs-savants » est une invention fertile.

La question est : un ingénieur-savant est-il ingénieur *et* savant dans la même période *et* sur les mêmes sujets ? Prenons le cas de Lamé : il est ingénieur en Russie de 1820 à 1830, puis suit une carrière de savant plus académique de professeur à Polytechnique et à

89. Ce dernier n'est pas polytechnicien. On pourrait y ajouter Liouville ; mais légèrement plus jeune, il semble sortir du cadre chronologique de l'article de Grattan-Guinness.

la Sorbonne à partir de 1831 – mais ses cours et ses publications ne se nourrissent-ils pas de ses travaux antérieurs d'ingénieur en résistance des matériaux en Russie ? Le cas de Fresnel (1788-1827) est à l'inverse : ses travaux scientifiques sur la théorie ondulatoire de la lumière s'étendent de 1815 à 1822, puis, avec sa santé affaiblie, il revient à la carrière des Ponts et chaussées de 1822 à sa mort : mais la même année, en 1822, il publie un travail théorique sur la biréfringence, ainsi qu'un travail d'ingénieur sur les lentilles à échelon. Ses travaux d'ingénieur des Ponts au service des phares ne s'inspirent-ils pas de ses connaissances en optique ? Ces points paraissent à discuter, particulièrement pour ces deux polytechniciens.

Si l'on revient au groupe A ("Calcul/ mécanique/ ingénierie"), Grattan-Guinness le définit comme celui des ingénieurs-savants, qui s'intéressent plus à la mécanique et à ses applications qu'à la géométrie et l'analyse. Nous y retrouvons bien évidemment les noms plus ou moins grands de la théorie des machines : Lazare Carnot, Combes, Coriolis, Hachette, Morin, Navier, Poncelet, Prony. Cette liste nous paraît toutefois recouvrir des réalités assez différentes. Grattan-Guinness fait lui-même des distinctions en énonçant :

As a mathematician, the ingénieur savant was certainly competent but not "great"; Navier and Poncelet were technically the most impressive, Dupin very clever during his (short) career in mathematics, and Carnot and Coriolis the deepest thinkers on general issues.

En ce qui nous concerne, nous percevons une distinction sensible entre Coriolis et Poncelet. Poncelet a longtemps été – pendant la première partie de sa carrière – un mathématicien de renom (un géomètre qu'on pourrait rattacher au groupe B de Grattan-Guinness), puis a été ingénieur-savant dans la mécanique appliquée, mais avec une approche plus concrète et moins théorique que Coriolis. Les ouvrages de mécanique de Poncelet sont fondés sur des exemples, comprennent des figures : ce n'est pas le cas de ceux de Coriolis qui sont très mathématiques, sans aucune figure⁹⁰, fût-ce une construction géométrique ou le schéma d'une machine comme la roue à aubes. Comme nous l'indiquions, Poncelet a été un géomètre, puis est devenu un praticien de la mécanique appliquée. Coriolis est, lui, resté un mathématicien tout en devenant un théoricien de la mécanique appliquée.

Rappelons à cet égard, et le raccourci qu'il a lui-même donné a malheureusement fait disparaître l'intégralité de la notion qu'il proposait, Grattan-Guinness lui-même parlait « d'ingénieur-savant mathématique⁹¹ » :

90. Cette absence de diagrammes ou de figures aussi été pointée par Grattan-Guinness, *Convolutions*, p. 61. Dans le même ouvrage, l'auteur s'étonne que Coriolis ait été aussi peu étudié : nous espérons que le présent travail contribuera à combler cette lacune. Nous pourrions faire la même remarque à propos de Claude Navier, qui reste très peu étudié lui aussi, malgré ses apports mondialement célèbres en hydraulique (les équations de Navier-Stokes). On notera que jusqu'à ce jour (avril 2011), la page Wikipedia francophone consacrée à Navier est intitulée *Henri Navier* (ce qui n'est pas son prénom usuel) : nul n'est prophète en son pays.

91. On aurait pu proposer « ingénieur-savant mathématicien », mais la locution n'aurait pas été beaucoup plus heureuse.

"Ingénieur savant mathématique" would thus be a more accurate expression ; but since it is rather clumsy, the shorter expression is used. Nevertheless it always carried this meaning.

Cette composante «mathématique» nous paraît particulièrement adaptée à Coriolis : on l'a dit, les mathématiques nous paraissent au cœur de son approche de la mécanique et de la théorie des machines ; il les enseigne et a des résultats mathématiques à son actif. Ce double aspect de *mathématicien* et de *théoricien de la mécanique appliquée* nous semble corroboré par Grattan-Guinness quand il qualifie Coriolis de «grand penseur sur des problématiques générales», ou quand il indique⁹² :

Le livre de Coriolis est une méditation sévère et philosophique sur la théorie des machines, tandis que celui de Poncelet est un cours pour les étudiants.

His writings show an attraction to very general formulations, unusual in a savant whose main contributions lay in the area of engineering.

A cet égard, le qualificatif d'«ingénieur-savant» s'appliquerait sans doute mieux à Poncelet qu'à Coriolis. Le premier, ingénieur militaire, est ingénieur-savant au sens où ses travaux expérimentaux nourrissent sa théorie. Le second est principalement savant et professeur – enseignant-chercheur dirait-on de nos jours – il exerce par ailleurs la profession d'ingénieur en arrondissement des Ponts et chaussées : ses deux fonctions d'ingénieur et de savant sont indépendantes. En ce sens, plus qu'un «ingénieur-savant», Coriolis apparaît comme un savant, par ailleurs ingénieur des Ponts, à rapprocher d'un Fresnel ou d'un Navier, membres comme lui du corps des Ponts. Ce n'est pas un hasard si ces trois ingénieurs des Ponts et chaussées élaborent des «théories» nouvelles : Fresnel, celle du caractère ondulatoire de la lumière, Navier celle de l'hydrodynamique (équations de Navier-Stokes) et Coriolis celle des mouvements composés.



Nous rapprochons ainsi Coriolis de Navier, plutôt que de Poncelet. Coriolis lui succède dans nombre de ses fonctions (professeur à l'École des ponts, académicien des sciences). Ce n'est pas un hasard non plus si Navier est souvent rapporteur des travaux de Coriolis à l'Académie. Navier, pour autant que nous avons pu l'appréhender, peut lui aussi être qualifié de «théoricien de la mécanique appliquée» – dans son cas plus à l'hydraulique qu'aux machines. Navier décrit bien la matière à laquelle Coriolis comme lui s'intéressent dans un passage de son rapport sur le *Calcul des machines* :

La science des machines (...) embrasse presque en entier l'ensemble des arts. En se bornant à la partie de cette science qui appartient aux Mathématiques, on reconnaît qu'elle emprunte des notions essentielles à la Géométrie, à la Statique et à la Dynamique.

Coriolis, dans son approche de la «science des machines», ne se «borne pas» aux mathématiques ; mais les mathématiques sont au cœur de son approche. On remarquera

92. *Convolutions...*, page 1083 (première citation) et page 1052 (seconde citation).

aussi, dans cette comparaison entre Coriolis, Navier et Poncelet, ce que la postérité a retenu :

- Le nom de Poncelet n'est pas resté attaché à des découvertes majeures – ou s'il l'est, c'est pour des sujets liés à sa carrière de géomètre (comme le théorème de Poncelet sur les coniques), ou à sa carrière d'ingénieur-savant, praticien de la mécanique appliquée (comme la roue à aubes de Poncelet).
- Le nom de Coriolis et celui de Navier restent attachés à des découvertes théoriques majeures, et mondialement connues : les équations de Navier-Stokes et la force de Coriolis.

On ne doit bien évidemment pas attacher à ces renommées posthumes plus d'importance qu'il ne faut, mais ce point nous permet aussi de rapprocher Coriolis de Navier plutôt que de Poncelet, et ce qui précède permet de le qualifier de « théoricien de la mécanique appliquée ».

CORIOLIS ET LES ROUES DE PONCELET

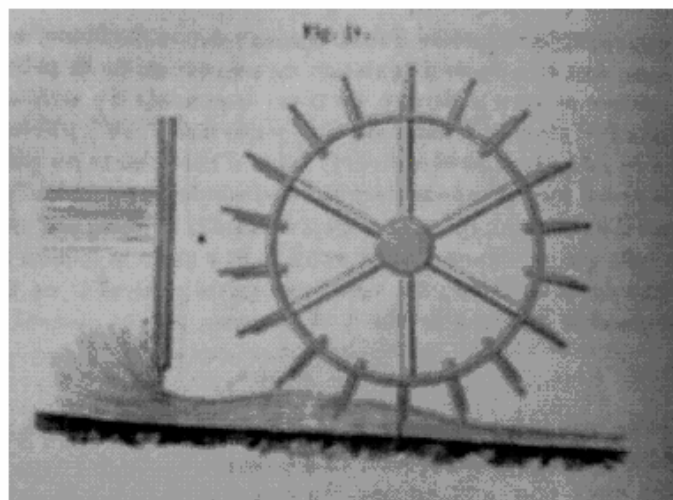
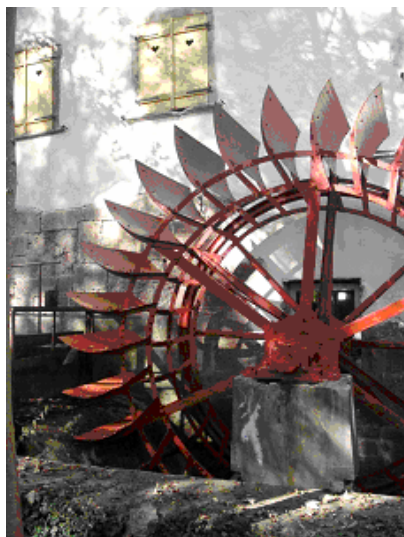
Il n'en reste pas moins vrai que, même si les démarches scientifiques des deux hommes sont à notre sens assez différentes, ils se trouvent être sur les mêmes sujets pendant une certaine période. Poncelet avait fait sienne la « roue à aubes » de son invention (qui porte d'ailleurs son nom), et tâchait d'en faire la théorie. Coriolis n'avait inventé aucun dispositif, mais voyait dans les roues hydrauliques un sujet idéal pour établir et nourrir sa théorie de la mécanique appliquée. Le premier partait de *l'objet roue* et essayait d'en faire une théorie, démarche empirique traditionnelle ; le second avait sa théorie de la mécanique appliquée (travail, mouvements composés) en tête et utilisait le *concept roue* pour l'y intégrer, début d'une démarche hypothético-déductive. Ce faisant, Coriolis sera amené à critiquer certains aspects de la théorie sommaire de Poncelet – le *clash* d'octobre 1829 était assez inévitable, d'autant que Poncelet pouvait reprocher à autrui de « toucher à sa roue ».

Sur les différences d'approche théorique entre les deux hommes à propos de la roue à aubes courbes, nous reprendrons ici – en les explicitant mathématiquement lorsque cela s'avère nécessaire – les principaux points de l'excellente analyse de Belhoste-Lemaître ([1990]), basée sur les archives Poncelet à la bibliothèque de l'École polytechnique, qui n'avaient pas été étudiées avant la parution de cet article.

La théorie des roues à aubes courbes par Poncelet

L'intérêt de la roue à aubes courbes, dite de Poncelet, est indiscutable par rapport à la roue à aubes planes, ou roue à ailettes – l'Académie ne s'y trompera pas qui offrira son

prix Montyon de mécanique à l'inventeur en 1825. Suivons pour cela les explications qu'en donne Poncelet⁹³.



La roue à aubes courbes du moulin de Lütterbach (Alsace), à gauche ; une roue à aubes planes, extrait de l'Introduction à la mécanique industrielle de Poncelet, à droite.

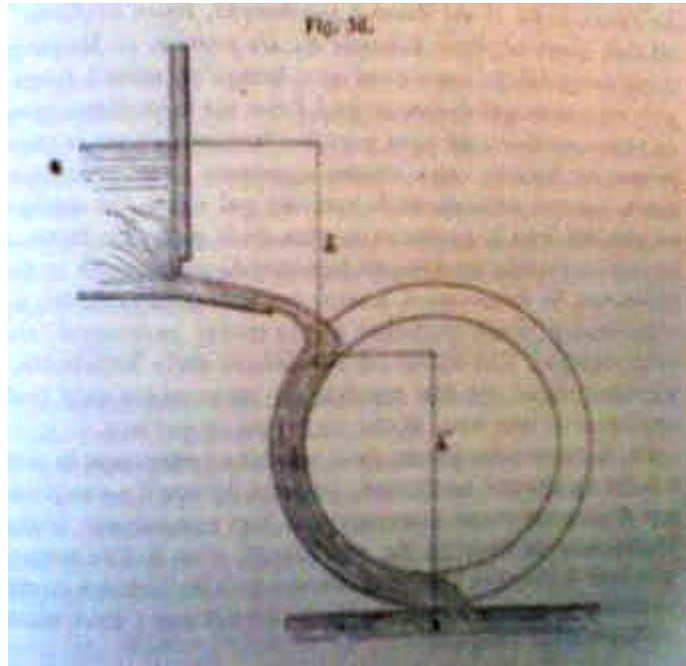
La caractéristique de la roue à aubes courbes est d'améliorer le rendement de la roue à ailettes. Poncelet expose lui-même ces rendements dans son cours. Il donne une formule hydraulique générale assez compréhensible, et qui permet de fixer et de comprendre les notations :

$$Pv = Mg (h + h') - \frac{1}{2} M (u^2 + w^2)$$

- v est la vitesse de la roue
- Pv est la quantité de travail transmis par la roue aux mécanismes du moulin
- h et h' sont les hauteurs telles qu'indiquées en figure ci-dessous (h hauteur du bief et h' hauteur d'attaque de la roue)
- $Mg (h+h')$ est la quantité de travail disponible grâce à la chute ; quand $Pv = Mg (h+h')$, alors le travail transmis est égal au travail disponible, le rendement théorique est égal à 1.
- u est la vitesse relative de l'eau contre la roue (vitesse frontale à la roue), et $\frac{1}{2} Mu^2$ est la quantité de force vive perdue par le choc de l'eau sur l'aube quand elle arrive à la vitesse relative u : elle vient en négatif du travail transmis. Car si l'eau, en arrivant sur la roue, a une certaine vitesse de choc, cette «force vive» est forcément prise au travail disponible (pas de « repas gratuit ») ; l'optimum pour ce terme est $u = 0$.

93. Nous utiliserons la présentation faite par Poncelet dans son « Cours de mécanique appliqué aux machines », aussi bien pour les roues à aubes courbes qu'à aubes plates. Notons que Belhoste et Lemaître (*op. cit.*) ont déjà donné les mêmes formules pour les roues à aubes courbes – notamment la formule $m(V-2v)^2 = 2(mgH-Pv)$; ils n'ont toutefois pas fait la comparaison avec les roues à ailettes.

- w est la vitesse absolue de l'eau à la sortie de l'aube, et $\frac{1}{2}Mw^2$ est la quantité de force vive perdue lorsque l'eau a une vitesse résiduelle en sortie de roue, c'est-à-dire en sortie d'aube : comme la précédente, elle vient en négatif du travail transmis. L'optimum pour ce terme est $w = 0$, la vitesse absolue est nulle, l'aube vient « déposer » l'eau dans le canal d'évacuation avec une vitesse nulle : toute l'énergie disponible est alors allée dans la roue.

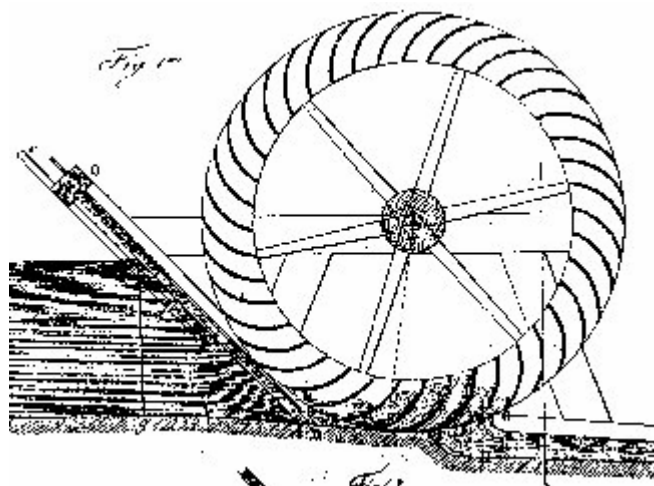


Roue à attaque « par en haut »

Calcul des vitesses pour la roue à ailettes et pour la roue à aubes courbes

Notons d'abord que ces deux types de roues sont des roues à « prise en-dessous » (à la différence de la figure ci-dessus où la roue est « prise par en haut ») : dans ce cas, c'est la vitesse de l'eau qui est utilisée, dans le bas de la roue, et non sa chute. Ce n'est pas le poids de l'eau mais sa quantité de mouvement qui fait mouvoir la roue. L'hydraulique de ces roues n'est pas une hydraulique de chutes de torrent de montagne, mais une hydraulique au fil de l'eau, impliquant des rivières ou fleuves avançant en plaine – avec une déclivité insensible mais réelle puisque l'eau avance. Voici à ce propos ce que dit Poncelet de ces roues mues par-dessous (qu'elle soient à ailettes ou à aubes) :

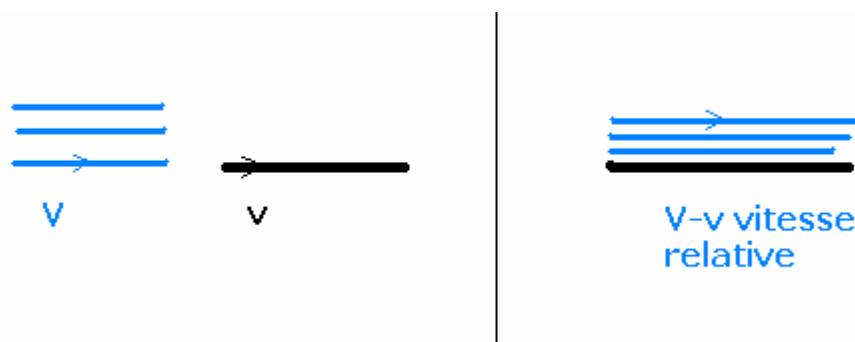
Ces diverses circonstances font que les roues à aubes ordinaires, mues par-dessous, (...) continuent à être employées dans la pratique, surtout dans les pays de plaines, où les pentes sont naturellement très faibles et les masses d'eau considérables.



Roue à aubes courbes (célèbre schéma de la planche de figures du mémoire de Poncelet [1824]). On remarque « l'attaque par en bas », contrairement à la figure précédente.

Ce cas est schématisé comme suit par Poncelet : l'eau arrive tangentiellement à l'aube, les vecteurs-vitesse sont quasi colinéaires, la roue avec sa vitesse v vient « ramasser » l'eau qui a sa vitesse V . Compte tenu de cette colinéarité, l'eau arrive sur l'aube avec une vitesse $V - v$:

Il n'y aura donc pas de choc sensible lors de l'entrée de l'eau dans la roue. L'eau glissera donc le long de chaque courbe (...) avec une vitesse relative égale à la différence de sa vitesse propre et de celle de la roue, et s'élèvera (...) à une hauteur sensiblement égale à celle qui répond à cette vitesse.

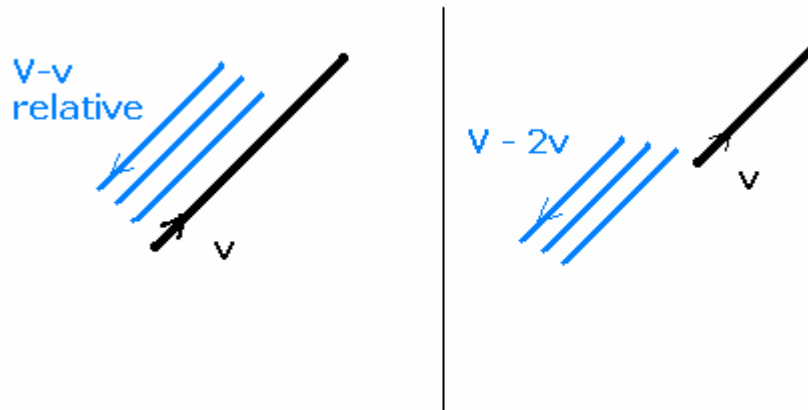


Arrivée de l'eau sur l'aube courbe (prise d'eau). Pour des raisons de simplification de la figure, et de compréhension, la courbure de l'aube (en noir) n'est pas représentée. Il faut donc voir le trait noir comme l'élément infinitésimal du bout de l'aube, symbolisant la tangente à l'aube courbe en extrémité de celle-ci. Le principe de l'aube courbe est que l'arrivée d'eau (en bleu ciel) soit parallèle à la tangente, ce qui est représenté ici. À gauche, les filets d'eau arrivent sur l'aube ; à droite, ils sont sur l'aube (dessins A. Moatti)

Poncelet indique ici que l'eau, avec sa vitesse relative ($V - v$), va parcourir sur l'aube une distance jusqu'à une hauteur H telle que $gH = \frac{1}{2} (V - v)^2$, suivant la conservation de l'énergie.

[l'eau] redescendra le long de la courbe (...) et s'échappera par la partie inférieure avec une vitesse relative sensiblement égale à celle qu'elle possédait en y entrant.

À la descente de l'eau, la même énergie potentielle gH se transforme en la même énergie cinétique $(V - v)$, qui sera la vitesse relative de l'eau quand elle sort de l'aube, cette fois-ci dirigée dans l'autre sens. Là, la roue va « lâcher » l'eau avec une vitesse v correspondant à sa propre vitesse de rotation : la vitesse absolue de l'eau en sortie d'aube est alors $V - 2v$.



Départ de l'eau de l'aube courbe (ce qu'on appelle le « dégage d'eau »). Voir la même remarque préliminaire que dans le schéma précédent. À gauche, les filets d'eau (en bleu ciel) sont encore sur l'aube, avec une vitesse relative $V-v$; à droite, ils ont quitté l'aube, avec une vitesse absolue $V-2v$ (dessins A. Moatti)

Si l'on applique maintenant la formule générique de Poncelet, connaissant les vitesses ci-dessus :

1) pour la roue à aubes courbes

$h' = 0$: dans les deux cas, roues à ailettes et à aubes, ce sont des roues « par en-dessous », il n'y a pas d'effet de gravité dans la roue. La seule énergie disponible est celle donnée par la retenue, Mgh ; cette énergie potentielle de chute correspond à l'énergie cinétique de l'eau en entrée de roue par la formule $Mgh = \frac{1}{2} MV^2$, où V est la vitesse absolue de l'eau en entrée de roue.

$u = 0$ pas de choc à l'entrée sur l'aube (vitesse normale nulle, vitesse uniquement tangentielle, ce que permet l'aube courbe, cf. figure ci-dessus)

$w = V - 2v$ vitesse en sortie de roue.

L'équation devient :

$$Pv = Mgh - \frac{1}{2}Mw^2 = \frac{1}{2} MV^2 - \frac{1}{2} M (V-2v)^2 = 2Mv (V-v)$$

Le maximum est en $v = \frac{1}{2}V$, et est tel que $Pv = \frac{1}{2}MV^2 = Mgh$: le rendement théorique de la roue est égal à 1, le travail transmis Pv peut être égal à Mgh travail

disponible⁹⁴. Donc, quand $v = \frac{1}{2}V$, on a $w = 0$: l'eau ne conserve aucune vitesse absolue à la sortie, toute son énergie est passée dans l'aube : c'est, comme le rappelle Poncelet, la « condition de Borda⁹⁵ ».

2) pour la roue à ailettes droites

$h' = 0$ (voir ci-dessus)

$u = V - v$: si l'on suit Poncelet, ce terme ne saurait être nul dans ce cas, puisque la roue fonctionne grâce à ce différentiel de vitesses – par le choc de l'eau sur la roue.

Après ce choc, le filet d'eau n'a plus de vitesse relative sur l'ailette ; il sort donc avec une vitesse absolue $w = v$ égale à la vitesse de la roue.

L'équation devient :

$$Pv = Mgh - \frac{1}{2}Mu^2 - \frac{1}{2}Mw^2 = \frac{1}{2}MV^2 - \frac{1}{2}M(V-v)^2 - \frac{1}{2}Mv^2 = Mv(V-v)$$

Le maximum est encore en $v = \frac{1}{2}V$, et est tel que $Pv = \frac{1}{4}MV^2 = \frac{1}{2}Mgh$: le rendement théorique de la roue est égal à $\frac{1}{2}$, le travail transmis Pv peut être égal au maximum à la moitié de Mgh travail disponible⁹⁶.

L'analyse ci-dessus permet de comprendre pourquoi les roues à aubes courbes « à la Poncelet » constituaient un progrès important par rapport aux roues à ailettes (ou à aubes droites, ou à palettes) :

- elles doubleraient le rendement théorique, le faisant passer à 1. Les roues à ailettes sont mues par le choc de l'eau sur les ailettes, les roues à aubes courbes sont mues par la poussée qu'exerce l'eau en remontant dans l'aube. En courbant l'ailette, Poncelet lui permettait 1°/de venir « ramasser l'eau » sans vitesse et sans choc ; 2°/de « faire travailler » l'eau dans l'aube. Il doublait ainsi le rendement théorique.
- elles avaient même vitesse de fonctionnement (vitesse maximum de $V/2$, où V est la vitesse d'arrivée d'eau) que les roues à palettes : ce qui fait qu'elles étaient immédiatement substituables, sans changement de l'appareillage de machines derrière la roue (le fonctionnement de l'appareillage aval dépend de la vitesse de la roue).

Les objections de Coriolis à la théorie de la roue à aubes courbes

Comme Belhoste et Lemaître le font remarquer, Coriolis va faire plusieurs objections à la théorie des roues à la Poncelet. Il introduit son §105 du *Calcul* en citant

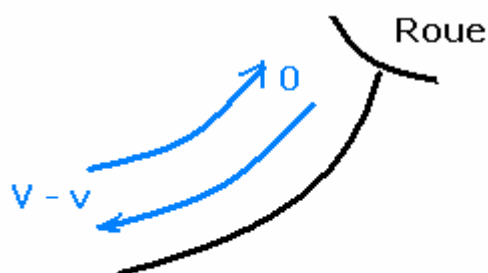
94. Ces considérations sont ici inspirées de Poncelet ; on peut retrouver les mêmes, plus compliquées, dans Coriolis, *Calcul...*, §104 ; Coriolis introduit notamment un angle α de circulation dans l'aube, et aboutissant à formule $Mv(V-v)(1-\cos\alpha)$, il remarque que dans l'aube l'eau fait un aller-retour, soit $\cos\alpha = -1$; ceci est équivalent à la formulation $2Mv(V-v)$.

95. Jean-Charles de Borda (1733-1799), « Mémoire sur les roues hydrauliques », *Mém. Ac. Sci.*, 1767 (1770), pp. 270-287.

96. Ces considérations sont ici inspirées de Poncelet ; on peut retrouver les mêmes, plus compliquées, dans Coriolis, *Calcul...*, §103.

nommément « M. Poncelet, capitaine du génie, professeur à l'École de Metz ». Il ne donne pas de formule corrigeant celles de Poncelet, mais se borne à constater que la théorie est valable « lorsqu'on ne considère ainsi qu'une particule d'eau qui se meut librement dans l'aube ». En revanche, dès qu'il y a un filet d'eau consistant entrant de manière continue dans les aubes, alors « la même théorie devient beaucoup moins applicable ». La cause en est la suivante :

Les particules déjà élevées, dont la vitesse est moindre, gênent le mouvement de celles qui sont en dessous et qui ont plus de vitesse. En outre, le fluide qui redescend se choque avec celui qui devrait encore s'élever, et il en résulte beaucoup de pertes de force vive par les bouillonnements⁹⁷.



Comme on a vu ci-dessus (théorie des roues à aubes courbes), la vitesse relative de l'eau sur l'aube varie de $V - v$ à 0 quand l'eau monte, puis de 0 à $V - v$ quand elle redescend. Ce qui est valable pour une simple particule d'eau, à la limite un mince filet d'eau, devient moins simple quand c'est un filet d'eau plus consistant, pour deux raisons : 1) dans un même mouvement ascendant, l'eau située plus haut, « dont la vitesse est moindre » (pour reprendre l'expression de Coriolis), gêne le mouvement de l'eau située plus bas, qui a « plus de vitesse » ; 2) le mouvement descendant se heurte au mouvement ascendant.

L'objection, de bon sens, était de taille. Elle ressortait d'un point théorique important, à savoir la différence entre la mécanique d'un point matériel (la balistique d'une simple « particule d'eau ») et la mécanique d'un ensemble de points mobiles, ici fluides, ou « mécanique des fluides ». Concluant son paragraphe et faisant allusion aux expériences de Poncelet sur sa roue, il donne le coup de grâce ou le coup de pied de l'âne :

Il n'est donc pas étonnant que bien que, d'après un aperçu théorique, on pourrait recueillir un travail presque égal à la force vive, on n'en obtienne réellement qu'environ cinq dixièmes.

C'est donc bien le rendement théorique égal à 1 donné par Poncelet que conteste Coriolis : le passage de la mécanique du point matériel à la mécanique des fluides montrait que le rendement était forcément inférieur à 1.



97. À noter que Coriolis avait déjà émis la même objection, moins clairement, en §57 (page 86).

En 1831, dans son premier article sur les mouvements composés, Coriolis apportera une objection de nature différente :

On peut appliquer les formules générales des articles précédents à la question du mouvement de l'eau dans les aubes courbes des roues de M. Poncelet. Si l'on considère l'aube comme un canal où l'eau se meut pendant qu'il est entraîné d'un mouvement de rotation uniforme, la valeur de V_r sera donnée dans ce cas par (...)

$$\Sigma \frac{mV_r^2}{2} = \Sigma \frac{mv_r^2}{2} + \Sigma \int P \cos(\widehat{P ds_r}) ds_r.$$

L'intégrale du second membre ne sera pas nulle lors même que les particules sortiront à la même hauteur à laquelle elles sont entrées, parce que, la force P faisant des angles différens avec ds_r quand l'eau monte dans l'aube et quand elle en redescend, les deux portions de signes contraires de l'intégrale pour ces deux périodes de mouvement ne sont pas égales. Suivant la forme ordinaire des aubes courbes, la gravité se rapprochera davantage de la direction de ds_r , c'est-à-dire de la tangente au canal que forme l'aube, pendant la descente de l'eau que pendant son ascension; il s'ensuit que $\Sigma \frac{mV_r^2}{2}$ est plus grand que $\Sigma \frac{mv_r^2}{2}$, et qu'ainsi l'eau sort de la roue avec une force vive relative plus grande que celle qu'elle avait en y entrant.

Dit plus simplement, l'eau rencontre une pente de l'aube plus faible quand elle monte (mouvement ascendant de la figure ci-dessus, flèche allant de $V - v$ à 0) que quand elle descend : lors du mouvement de descente, l'inclinaison de l'aube est déjà plus proche de la verticale puisqu'elle va bientôt relâcher l'eau (l'inclinaison de l'aube à « l'amenée d'eau » n'est pas la même qu'au « dégagé d'eau »). La vitesse de l'eau qui descend va donc de 0 à une valeur supérieure à $(V - v)$, « ainsi l'eau sort avec une valeur relative plus grande que celle qu'elle y avait en entrant » ; donc elle sort de l'aube avec une vitesse absolue non nulle.

On pourrait croire que cette vitesse accrue se fait au bénéfice de la roue, mais ce n'est pas le cas, puisque le principe de Carnot nous dit « qu'il n'y a pas de repas gratuit » – pas de création de force vive : si l'eau a une vitesse absolue non nulle en sortie d'aube, elle emporte une partie des forces vives de l'ensemble du cycle. Le rendement, même théorique, ne saurait être égal à 1, cette fois-ci sur de simples considérations balistiques (c'est-à-dire même pour le mouvement d'une simple particule d'eau). Curieusement, Coriolis ne semble pas avoir vu cet argument en 1829 en rédigeant son *Calcul*, et il faut attendre l'article de 1831 sur les mouvements relatifs pour voir apparaître cette objection.

UNE QUERELLE DE PONCELET À CORIOLIS AU SUJET DU CALCUL

La première objection de 1829 faite par Coriolis sur les roues de Poncelet – pourtant basé sur le bon sens (les filets d'eau) – n'a certes pas dû plaire à ce dernier. Pourtant l'attaque en règle de Poncelet contre Coriolis en octobre 1829 porte sur un point mineur du *Calcul*, la formule du frottement dans les engrenages, formule qu'aurait donné Poncelet avant Coriolis, contrairement à ce que Navier, membre de l'Académie des sciences, indique dans son rapport.

Cette querelle bénéficie déjà d'une historiographie assez abondante. À notre sens, il faut aller chercher au-delà les vraies raisons de cette attaque en règle, concernant deux hommes dont les travaux furent fort proches entre 1825 et 1830, mais dont la démarche scientifique est à notre sens très différente. Ces raisons se rapportent d'ailleurs à cette différence d'approche entre les deux hommes, ce sont des raisons quasi-épistémologiques :

- en premier lieu, Poncelet est sans doute fort marri d'avoir reçu une leçon de Coriolis sur sa roue à aubes courbes : le caractère sommaire de l'approche théorique de Poncelet, faite *à la petite semaine*, est ainsi pointé par Coriolis.
- en second lieu, Poncelet reconnaît sans doute intimement la valeur des apports théoriques d'ordre général de Coriolis, sur la notion de travail et de principe de transmission du travail. Il regrette sans doute pour lui-même de ne pas être allé jusqu'au bout de sa logique : en ce sens, la puissance théorique de Coriolis est plus importante que celle de Poncelet – et celui-ci le savait.



Mais revenons à la façon dont se manifeste cette querelle. Le *Bulletin des sciences mathématiques, physiques et chimiques* (de Sturm et Gaultier de Claubry, ou *Bulletin de Férussac*) de 1829 est le théâtre d'un conflit de paternité entre Coriolis et Poncelet, mené par ce dernier. Coriolis avait déjà dû être prévenu de l'ire de Poncelet, puisqu'il prend écrit l'initiative d'écrire une lettre à la rédaction du *Bulletin*, le 1^{er} octobre 1829, dans laquelle on peut lire :

Par suite d'un malentendu entre M. Poncelet et moi relativement à des époques de communications réciproques de nos travaux, les termes de la préface de mon ouvrage sur le calcul de l'effet des machines pourraient être interprétés d'une manière fâcheuse pour ce géomètre. D'après l'explication que nous avons eue à ce sujet, j'ai jugé nécessaire d'apporter dans la rédaction de cette préface un changement qui ôte tout soupçon que M. Poncelet pourrait avoir profité en aucune manière des additions que j'ai faites au manuscrit que je lui avais communiqué en 1824. Je désire que vous puissiez faire connaître par la voie du Bulletin aux personnes qui pourraient avoir déjà mon ouvrage qu'elles devront substituer aux 2 premières pages de la préface un carton qu'on leur délivrera chez Carilian, libraire des ponts et chaussées. DE CORIOLIS.

Grattan-Guiness ([1990]) a étudié les différences entre les deux préfaces, en notant que l'exemplaire avec la préface d'origine est relativement difficile à se procurer⁹⁸. Les différences principales entre les deux versions de l'*Avertissement* sont :

- L'ajout d'une note de bas de page à propos de la dynamique des quantités de mouvement et du choc :

En traitant ce dernier point, je connaissais ce qui a été écrit l'année dernière sur le même sujet par M. Cauchy et par M. Poncelet, dans son cours lithographié de l'École de Metz. C'est un énoncé de ce dernier, sur le choc des systèmes de rotation, qui m'a porté à présenter de manière analogue celui que j'ai donné.

- L'ajout d'une phrase sur Poncelet à l'endroit où Coriolis énumère les travaux antérieurs :

Postérieurement M. Poncelet a donné, pour son cours de machines à l'École de Metz, des feuilles lithographiées qu'il m'a communiquées, et où, parmi un grand nombre de questions nouvelles, il a traité plusieurs de celles que je viens de citer.

- L'ajout d'une précision de date concernant Poncelet, et lui uniquement :

*Il y a dix ans que j'avais écrit, sur une partie des matières qui composent cet Ouvrage, des feuilles que j'ai communiquées à différentes personnes, notamment à MM. Mallet, Bélanger et Drappier en 1819, à M. Ampère en 1820, et à M. Poncelet en **décembre**⁹⁹ 1824.*

Malgré le fait que Coriolis fasse ainsi amende honorable, Poncelet va développer, en date du 8 octobre 1829¹⁰⁰, dans le même numéro du *Bulletin*, une attaque en règle contre Coriolis, rappelant que son propre cours de machines, professé à l'École d'application de Metz en 1825, et lithographié fin 1826, avait déjà étudié un certain nombre de questions présentées par Coriolis dans son *Calcul de l'effet des machines*.

Le même type de critiques sera relayé par d'autres auteurs, par exemple par Féry dans la *Revue encyclopédique*, qui consacre la moitié de sa courte recension du *Calcul* à ce sujet :

98. I. Grattan-Guiness a eu en mains l'exemplaire (avec la première version de l'avertissement) de l'University College de Londres, qui est celui dédié par Coriolis à Arago.

99. Le simple rajout du mois lorsqu'il s'agit du dernier mois de l'année n'est ici pas neutre.

100. J.V. Poncelet, « Note sur quelques principes de mécanique relatifs à la science des machines », *Bulletin des sciences mathématiques*, 12 (1829), p. 323-325.

M. Coriolis a soin d'indiquer les sources où il a puisé, toutes les fois qu'il emploie des méthodes dont l'invention ne lui appartient point ou qu'il n'a pas modifiées pour l'application qu'il en fait; il semble cependant qu'il n'a pas assez rendu justice à M. PONCELET, et que la note, mise au bas de la page 129, ne rappelle pas assez ce que le professeur de l'école d'artillerie et du génie a écrit sur la théorie des percussions et les pertes de forces vives, etc.; mais on ne doute nullement que l'auteur de cet ouvrage n'ait eu l'intention d'être constamment juste envers ses contemporains aussi-bien qu'envers ses devanciers.

Poncelet indique à propos de ce cours, qui « n'a point été livré dans le commerce de la librairie » :

... je pense qu'il ne sera pas sans intérêt pour les lecteurs du Bulletin des sciences d'appeler leur attention sur quelques-uns des objets qui y sont traités et qui viennent tout récemment d'occuper M. de Coriolis dans son Calcul de l'effet des machines.

Poncelet semble particulièrement amer que deux académiciens, Navier et Cauchy, aient présenté comme nouveaux les résultats de Coriolis alors que selon lui ils étaient siens. Le premier résultat concerne « le moment virtuel de frottement des engrenages » ; Poncelet met en cause une phrase du rapport de Navier sur l'ouvrage de Coriolis, où Navier pointe « une expression très simple, qui n'avait pas encore été donnée, du travail consommé par le frottement des engrenages ». Le second résultat concerne « le choc des corps assujettis à certains mouvements ou à certaines liaisons » ; ce point semble être plus important encore pour Poncelet, puisqu'il devient assez ironique, voire virulent, à l'égard de Coriolis, comme en témoignent les phrases suivantes :

... question que M. Coriolis a traitée fort au long dans le chapitre III de son nouvel ouvrage.

... mais [M. de Coriolis] n'y avait rien substitué de satisfaisant ou de spécial, ou plutôt, il s'était contenté de rapporter, d'après un mémoire de Lagrange [...], une analyse fort complexe sur le choc de deux fils de molécules [...]. Cette analyse qui a été reprise depuis avec succès, par M. Cauchy, n'avait pu conduire M. de Coriolis qu'à quelques considérations particulières assez évidentes d'elles-mêmes...

... M. de Coriolis, dis-je, n'a pas fait assez attention à la difficulté qui résulte de l'introduction des expressions radicales dans les termes concernant les moments virtuels des résistances passives...

Poncelet indique que Coriolis, malgré ce manque d'attention, est arrivé, « à l'aide de considérations analytiques qui lui sont propres », à des résultats « entièrement analogues à ceux que j'ai moi-même exposés dans la lithographie de mes leçons ». Après avoir consacré plus de 9 pages à la querelle d'antériorité avec Coriolis sur ces deux points, Poncelet consacre le reste de sa mise au point à une querelle d'antériorité avec Cauchy, à propos du *Mémoire sur un nouveau principe de mécanique* lu à l'Académie des sciences en 1828 :

... ce qui ramène les propositions de M. Cauchy précisément aux mêmes termes que celles que j'ai cherché à justifier, par des considérations directes, dans les §§ 138 et 139 de la lithographie de mes leçons de 1826.

Notons que cette querelle-là porte, elle aussi, sur la théorie des chocs, second point de sa querelle avec Coriolis ; mais, s'en prenant là à Cauchy, Poncelet ne mentionne plus Coriolis, dont les travaux sur le sujet étaient de toute façon postérieurs à la communication de Cauchy, datant de 1828.

En tout état de cause, la querelle d'antériorité entre Poncelet et Coriolis est vive, du fait du premier cité qui se considère lésé par Coriolis. Encore en 1857, longtemps après la mort de Coriolis, Poncelet prend à partie Cauchy à propos de l'antériorité sur le sujet du frottement des engrenages, en citant Coriolis¹⁰¹ : aussi ne peut-on suivre Gillispie quand il parle à ce propos d' « une dispute de priorité qui fut apaisée, sinon tout à fait évitée, par le bon sens et la modération de tous ».



Cette attaque en règle de Poncelet contre Coriolis en 1829 est d'autant plus étonnante qu'une année plus tôt, en 1828, Poncelet parle ainsi de ses camarades de promotion Burdin et Coriolis :

C'est avec un véritable sentiment de satisfaction, écrit-il, que je saisis cette occasion de rendre hommage aux travaux recommandables de deux anciens amis et camarades de ma promotion à l'École polytechnique.

Il semble donc que Poncelet soit fort contrit de la parution en 1829 du *Calcul de l'effet des machines*, du rapport que Navier en fait à l'Académie, et de la publication de ce livre à un niveau national (par opposition à son propre *Cours de mécanique appliquée* ou à son *Mémoire* : ce dernier n'avait connu qu'une diffusion confidentielle en 1825-1826, et est publié chez un éditeur messin en 1827).

Il est certain qu'avant 1829 Coriolis n'est pas un concurrent dangereux pour Poncelet, étant donné qu'il n'a rien publié. Poncelet, lui, a déjà publié ses cours, est auteur d'une invention, la roue à aubes courbes, qui a reçu une récompense de l'Académie des sciences en 1825 : il peut se permettre de remercier Coriolis de manière quelque peu condescendante en 1828.

En revanche, en 1829, Coriolis « sort du bois » en faisant le premier traité important de théorie des machines ; qui plus est, les progrès qu'il fait faire à la théorie mettent en évidence une approximation assez grossière de Poncelet dans ses écrits sur les roues à

101. J.V. Poncelet, « Observations générales sur la question relative aux chocs », *Comptes-rendus de l'Académie des sciences*, 1857 (t.44), p. 82 et ss. Poncelet mentionne, en même temps que les cours d'Ampère et de Cauchy à Polytechnique, « l'étude réfléchie et consciencieuse » de 1829 de Coriolis – mais il ne manque pas de préciser que ces théories « peuvent être considérées comme le développement de celles antérieures de M. Burdin à l'École des Mines de Saint-Étienne, de M. Navier à l'École des Ponts et Chaussées, et de moi-même à l'École d'Application de Metz ».

aubes courbes. Il ne s'agissait pas d'une erreur, mais d'une approximation faite par Poncelet à plusieurs reprises, aussi bien dans son premier mémoire de 1823, que dans ses cours de 1825 ou son mémoire revu et corrigé de 1828. C'est justement le complément apporté par Coriolis en 1829 qui va faire apparaître cette approximation comme une erreur. Elle avait, par ailleurs, une conséquence pratique : le rendement de la roue à aubes de Poncelet était moins important que prévu, dans le cadre de cette nouvelle théorie. Ce n'était donc pas la faute des artisans ou la difficulté de mise en œuvre de cette roue délicate, mais bien la conception elle-même par Poncelet qui était prise en défaut.

Nous pensons que Poncelet craint alors de voir sa réputation fortement ébranlée par Coriolis, à la fois par son ouvrage et par la brèche qu'il introduisait dans la théorie des roues à aubes pour laquelle Poncelet avait été récompensé. Ont pu aussi jouer un rôle un certain ressentiment d'un savant de province, Poncelet, contre les savants parisiens, ainsi que la rivalité pour les places d'académicien entre Poncelet et Coriolis – Navier, plus âgé, était déjà académicien.

Paradoxalement, on peut penser que ce sera le dernier point de convergence, et partant de divergence, entre les deux hommes : après 1829, Coriolis va orienter ses travaux de recherche sur l'étude théorique du mouvement relatif, qui conduiront aux deux articles de 1831 et 1835. Ces apports seront très théoriques et structurés, sans comparaison avec les quelques formules données par Poncelet sur les vitesses relatives¹⁰² (comme celles ci-dessus). Par ailleurs, l'Académie acceptera ces savants peu à peu, dans l'ordre d'âge en quelque sorte : après Navier entré en 1828, à 43 ans, elle acceptera Poncelet (contre Coriolis) en 1834, à 46 ans, puis Coriolis lui-même en 1836, à 44 ans¹⁰³. Enfin, Coriolis poursuivra sa carrière centrée sur l'École polytechnique, tandis que Poncelet, qui n'était jamais revenu comme enseignant à l'École, prend, lui, la voie universitaire à partir de 1837, étant nommé professeur à la Faculté des sciences.

On peut donc dire que les travaux scientifiques de Poncelet d'une part et de Coriolis d'autre part, ainsi que leurs carrières, divergeront à partir de 1830, juste après la parution du *Calcul* qui fut l'acmé d'une certaine forme de rivalité entre eux.

PONCELET, CORIOLIS ET LA NOTION DE TRAVAIL

Comme nous l'avons indiqué, nous pensons que Poncelet savait ses travaux très voisins de Coriolis, notamment sur la définition du travail, mais qu'il savait aussi

102. Belhoste (*op. cit.*) indique que « les observations [de Poncelet], développées à l'occasion de ses recherches sur une roue à augets à grande vitesse, furent à l'origine des travaux de Coriolis sur les mouvements composés » : nous n'en sommes pas certain, tant les démarches paraissent différentes.

103. Le premier est né en 1785, le second en 1788, le troisième en 1792. Poncelet présidera l'Académie du vivant de Coriolis, de mai 1840 à fin 1840, et pendant l'année 1842. Mais l'on sait que la présidence de l'Académie est un poste à caractère honorifique qui n'offre que peu d'ascendant à son titulaire sur ses collègues, à la différence du poste de Secrétaire perpétuel (à l'époque tenu d'une main de fer par Arago).

pertinemment que Coriolis avait été plus loin que lui, avec des travaux plus précis et profonds.

Bien que Coriolis ne le cite pas, c'est Poncelet qui s'est le plus approché de la définition que fait Coriolis du *travail*. Certains commentateurs attribuent d'ailleurs cette notion plutôt à Poncelet (Grattan-Guinness semble le faire, ou Maximilien Marie [1888]), certains autres l'attribuent aux deux savants à la fois, d'autres (comme Bélanger) l'ont attribué aux deux avant de l'attribuer au seul Coriolis. À supposer que ceci ait un intérêt, il est difficile de lever cette incertitude. Pour tenter de le faire, rappelons la chronologie des écrits de chacun :

- 1826, mars : présentation à l'Académie et publication de la première partie du cours de Poncelet *Cours de mécanique appliquée aux machines, professé...* (rapport Dupin & Arago) ; publication pendant l'hiver 1826 [source Poncelet in Férussac 1829] ; rapport Dupin du 7 mai 1827 ; 2^o édition 1828 «à quelques légers changements près entièrement conforme à celle de mars 1826 ».
- août 1826, présentation par Coriolis de son mémoire à l'Académie.
- 1829, mars, édition de la 2^o partie du cours de Poncelet *Cours de mécanique appliquée aux machines...*
- 1829, juin : *Calcul de l'effet des machines*, Coriolis.



Poncelet, dans ses écrits ultérieurs, prend grand soin de montrer qu'il utilisait l'expression physique de *travail mécanique* dès 1826, au moins autant que l'expression « quantité d'action ». Il se justifie comme suit dans l'avant-propos de son *Introduction à la mécanique industrielle* :

(*) Cette expression, *travail mécanique*, qui se définit en quelque sorte par elle-même, je m'en étais servi concurremment avec celle de *quantité d'action*, dans la rédaction lithographiée de mon Cours à l'École d'Application de Metz (édition publiée au commencement de 1826 et présentée la même année à l'Académie des Sciences, qui en renvoya l'examen à une Commission composée de MM. Arago et Dupin). C'est ce qu'on peut voir plus particulièrement par le contenu du n^o 70 du présent Ouvrage, emprunté presque textuellement au n^o 6 de cette lithographie ; mais je n'ai adopté cette expression : *travail mécanique*, d'une manière définitive, sinon exclusivement à toute autre, que dans mes Leçons de 1827 aux ouvriers messins, après y avoir été encouragé verbalement par M. Coriolis, qui s'en servait de son côté dans ses répétitions à l'École Polytechnique, à une époque où il n'avait pas encore publié son savant ouvrage intitulé : *Du Calcul de l'effet des machines*, qui a paru peu après celui-ci.

La position que Poncelet exprime dans cette note est assez compliquée, et nous nous proposons de la décrypter comme suit, en nous exprimant en son nom :

- dès 1825, dans mes cours aux élèves-artilleurs messins, il m'est arrivé de mentionner l'expression « travail mécanique », en même temps que d'autres expressions plus communes à l'époque, telles « quantité d'action » ; même si je n'utilisais pas exclusivement cette locution, en tout état de cause je l'utilisais avant le mémoire d'août 1826 de Coriolis à l'Académie, comme le montre la première partie de mes cours messins présentés à l'Académie en mars 1826.
- En 1827, dans mes leçons aux ouvriers messins, j'ai utilisé plus systématiquement et quasi-exclusivement cette locution, sur les conseils de Coriolis.

Un peu plus loin dans son ouvrage, Poncelet semble poursuivre dans l'auto-justification. À propos du terme « travail mécanique », il indique :

() Nous avons déjà indiqué dans une note de l'AVANT-PROPOS, les motifs qui nous ont engagé à adopter définitivement cette dernière expression, sans proscrire néanmoins entièrement celle de quantité d'action déjà consacrée par les utiles travaux de Coulomb et de Navier. Peut-être eussions-nous été plus hardi encore, si l'ouvrage de M. Coriolis avait paru avant la première édition de celui-ci ; et nous aurions volontiers adopté ou mentionné quelques-unes des dénominations heureuses qu'il propose d'introduire dans le langage de la Mécanique, telles que dynamode, etc.*



Ces justifications de Poncelet sont bien évidemment écrites *a posteriori* : il semble que Poncelet a alors une certaine conscience, en 1831, du fait que le mot « travail » est l'appellation adéquate, et que d'ailleurs elle a commencé à s'imposer. Il essaie ainsi de « raccrocher les wagons » en faisant référence à ses écrits de mars 1826, c'est-à-dire d'avant le mémoire de Coriolis d'août 1826 à l'Académie. Peut-être le mot était « dans l'air », mais c'est bien Coriolis qui le propose au concours de l'Académie comme désignation physique de la quantité correspondante, et qui explique son choix. D'ailleurs c'est bien Coriolis que Poncelet cite, conscient qu'il est de cet apport de son confrère, duquel il cherche à se démarquer.

Si l'on se reporte au §70 auquel Poncelet renvoie lui-même, nous lisons :

Le travail mécanique ne suppose pas seulement une résistance vaincue, une fois pour toutes, ou mise en équilibre par une force motrice, mais une résistance constamment détruite le long d'un chemin parcouru par le point où elle s'exerce et dans la direction propre de ce chemin. Pour enlever une parcelle de la matière d'un corps avec un outil, une scie par exemple, non seulement il faut un effort directement opposé à la résistance que présente cette parcelle, mais encore il faut faire avancer le point d'action de l'outil dans la direction de la résistance plus cet avancement sera grand, plus la parcelle enlevée aura de longueur; d'un autre côté, plus sera grande la largeur ou l'épaisseur de cette parcelle, plus la résistance ou l'effort sera considérable; l'ouvrage fait, à chaque instant, croît donc avec l'intensité de l'effort et la longueur du chemin décrit dans sa direction propre. Un raisonnement analogue est applicable à tous les travaux industriels opérés par le secours des outils et des machines.

Nous constatons d'abord que c'est l'expression *travail mécanique*, et non simplement *travail*, qui vient sous la plume de Poncelet. La différence est minime : par « travail mécanique », il faut simplement entendre l'apparition de la notion (commune) de travail dans le domaine de la mécanique. L'adjonction de l'épithète permet de rattacher plus clairement la notion au domaine scientifique – un peu comme la locution « quantité de travail » paraît plus scientifique que le simple « travail ». Mais tout en étant minime, la différence est symboliquement significative : Coriolis va plus loin en proposant la simple appellation de « travail », transposition au domaine scientifique de la notion éponyme du langage commun. Comme souvent dans les querelles de paternité, on a tendance à minimiser voire masquer l'ensemble de l'apport de celui dont on conteste la primauté : Coriolis a proposé le mot travail, a expliqué ses raisons, et a décliné l'utilisation de ce mot en esquissant une « théorie du travail ».

Mais il est une autre différence qui nous semble jouer en faveur de Coriolis : la notion d'effort multiplié par la distance parcourue dans la direction de l'effort est bien présente chez Poncelet (*cf.* ci-dessus), mais elle n'est pas formalisée mathématiquement, explicitée ou mise en perspective comme chez Coriolis. C'est d'ailleurs la différence fondamentale entre les écrits de Coriolis et ceux de Poncelet. Les cours de Poncelet aux artilleurs sont rédigés et illustrés, et comportent peu de formules ; ses cours aux ouvriers sont rédigés, sans formules ni illustrations. L'ouvrage de Coriolis est nourri de formules et s'apparente aux ouvrages de « mécanique rationnelle » comme ceux de Lagrange ou de Poisson. L'historiographie des sciences retient plus facilement ce type d'ouvrages, qui font date – et dans le cas précis de la naissance du concept de « travail », ceci nous paraît se justifier.



Grattan-Guiness [1984] a, lui aussi, étudié les apports respectifs de Coriolis et de Poncelet, se prononçant, en ce qui le concerne, en faveur de Poncelet dans sa conclusion :

Poncelet a été beaucoup plus important, sa compréhension des éléments de base de la mécanique était aussi bonne que celle de Coriolis, et il a de plus joué un rôle majeur dans plusieurs des développements concurrents décrits dans les sections 6 & 7 [de l'article de 1984 de Grattan-Guiness] d'une manière avec laquelle Coriolis ne rivalise pas.

Ce point mérite une analyse approfondie. Grattan-Guiness indique, à l'appui de cette phrase, les pages x, ix, 54 de Poncelet. Hors la citation sous astérisque faite ci-dessus, on peut trouver à l'appui du raisonnement de Grattan-Guiness les éléments suivants :

Mais le principe des forces vives n'est lui-même qu'un corollaire immédiat du principe général de la transmission de l'action ou du travail mécanique (), lequel, à son tour, revient au principe des vitesses virtuelles, appliqué au changement d'état ou de mouvement des corps (...)*

(...) l'énoncé le plus général du principe des forces vives ou de l'égalité entre la somme des forces vives et le double de la somme algébrique des quantités totales de travail

développées , par les différentes forces, entre les positions ou instants extrêmes pour lesquels on considère le mouvement des corps¹⁰⁴.

D'autre part, Grattan-Guinness fait observer à juste titre que Coriolis se voit amené à modifier sa préface du *Calcul* pour mieux citer les travaux de Poncelet, avec deux ajouts dont celui-ci :

Postérieurement M. Poncelet a donné, pour son cours de machines à l'École de Metz, des feuilles lithographiées qu'il m'a communiquées, et où , parmi un grand nombre de questions nouvelles, il a traité plusieurs de celles que je viens de citer.

«Last but not least», Grattan-Guinness indique que Poncelet n'a peut-être pas lu le mémoire de Coriolis à l'Académie des sciences – donc il n'aurait pas été influencé par les travaux de Coriolis. Sauf à ce que les éléments contenus dans le mémoire d'août 1826 de Coriolis soient déjà contenus dans la version de ses notes manuscrites qu'il donne à Poncelet en décembre 1824 !

Parallèlement à ce débat lancé par Grattan-Guinness, il est intéressant de voir comment un contemporain de Coriolis et de Poncelet, Bélanger, semble se prononcer sur le sujet. Sans qu'il ouvre de débat, son opinion évolue au cours du temps. En 1847, il évoque cette quantité «si bien nommée *travail* par MM. Coriolis et Poncelet»; vingt ans plus tard, peut-être largement influencé par les travaux et la démarche de Coriolis (mais ne l'était-il pas déjà en 1844 ?), ou s'étant peut-être opposé à Poncelet sur d'autres sujets (ces deux savants-là sont à Polytechnique à Coriolis, mais lui survivent de longues années) il l'attribue sans ambiguïté à Coriolis, en le datant de 1826, ce qui est rare :

*Le mot travail, proposé dès 1826 par Coriolis et aujourd'hui généralement adopté, à l'exemple du général Poncelet, (...)*¹⁰⁵



En fait le débat de paternité paraît assez inextricable, et somme toute d'un intérêt limité : les idées «sont dans l'air», et Coriolis comme Poncelet les expriment à leur manière. Les styles diffèrent. Poncelet s'exprime de manière plus littéraire – Coriolis quant à lui s'exprime de manière littéraire en 1826 mais de façon beaucoup plus précise. En 1829, il ajoute la formulation mathématique à la précision, et rassemble ses idées dans une «théorie du travail» qui nous paraît absente chez Poncelet.

Les thèmes de recherche apparaissent aussi assez différents chez l'un et l'autre pendant la période considérée. De 1817 à 1829, Coriolis n'a qu'un sujet de recherche, c'est la théorie des machines, comme en témoignent ses notes manuscrites de fin 1819. En 1819, Poncelet est encore géomètre – ce n'est qu'en 1825 qu'il commence à s'intéresser

104. Poncelet parle effectivement, immédiatement après, du « principe de la transmission du travail ».

105. Bélanger [1866], Préface page XX. C'est là aussi que Bélanger est «plus corioliste que Coriolis», en critiquant chez ce dernier l'emploi de « quantité de travail » au lieu de « travail », le comparant à « quantité de volume » pour « volume ».

aux machines, avec son cours de Metz (ce cours justement si fertile sur la notion de travail) – pour rapidement se concentrer sur un point très particulier, les roues à aubes courbes. Poncelet « papillonne » plus, il ne s’investit pas à fond dans la théorie des machines comme le fait Coriolis – c’est sans doute aussi pour ce genre de raisons qu’il ne prend pas le temps de faire imprimer un manuel ou un ouvrage détaillé avant 1829. On remarque que, dans les querelles de paternité, l’avantage est souvent à donner à celui qui se spécialise sur le sujet.

Outre une spécialisation plus poussée chez Coriolis que chez Poncelet, il est un argument différenciant les deux auteurs. Peu souvent soulevé, il nous est suggéré par Bélanger [1847] : les publics auxquels chacun s’adresse sont différents, et ceci influe sur leur démarche scientifique. Poncelet s’adresse aux élèves-artilleurs ainsi qu’aux ouvriers messins, tandis que Coriolis s’adresse aux élèves polytechniciens et au corps savant. Bélanger lui-même, dans son traité de 1847, suppose à ses lecteurs « plus d’instruction que les auditeurs de Metz mais beaucoup moins que n’en exige le *Traité* de Coriolis ».



Finalement, ce genre d’attributions reste difficile et d’un intérêt limité. À la limite pourrait-il faire l’objet d’une étude de type *science social studies*, d’un intérêt tout aussi limité et que nous nous bornons à esquisser : d’un côté le savant provincial (Poncelet), qui ne publie pas dans les cercles sociaux dignes d’intérêt, et par ailleurs fort occupé dans divers projets, ce qui l’empêche de se concentrer sur ses trouvailles importantes, et peut-être même de concevoir leur importance ; de l’autre côté le savant parisien (Coriolis), introverti et passant son temps sur ses écrits, belle machine intellectuelle propre à développer des concepts abstraits, par ailleurs plus conscient par sa naissance des rapports de pouvoir, y compris dans la science.

Cette vision de *social studies* serait, comme souvent dans ce domaine, peut-être amusante mais certainement erronée. Certes, la vision de Poncelet sur « le principe de transmission du travail » a peut-être été sous-estimée : elle est tout à fait féconde, comme nous le rappelle Grattan-Guinness. Néanmoins, au vu des éléments qui précèdent, nous sommes tentés de créditer Coriolis de la formulation la plus complète et détaillée de ces idées : c’est lui que sa démarche intellectuelle et scientifique préparait à cela. Ainsi, nous nous rattacherons à la conclusion donnée par T. Kuhn¹⁰⁶ (auquel Grattan-Guinness rend hommage) à propos de l’emploi du mot *travail* chez ces deux savants : « Coriolis fait un grand usage du mot travail que Poncelet a pu lui avoir emprunté ».

106. Que Grattan-Guinness remercie en fin d’article, pour lui avoir indiqué la piste de réflexion des ingénieurs français du XIX^e s.

III – Les années fastes (1830 – 1838)

Jusqu'à la parution du *Calcul*, Coriolis n'est pas sur le devant de la scène. Il est répétiteur à Polytechnique depuis une douzaine d'années, puis publie en 1829 son premier ouvrage. Cet ouvrage est innovant, mais n'a peut-être pas encore été à ce moment-là apprécié à sa juste valeur. Coriolis continue à s'affirmer avec ses deux spécialités :

- d'une part les mathématiques, avec son enseignement à Polytechnique ;
- d'autre part ce que nous avons appelé « la théorie de la mécanique appliquée », qui constitue son travail de recherche, concrétisé par son premier ouvrage.

L'année 1830 va marquer, juste après la parution de son ouvrage, un tournant dans la vie de Coriolis. C'est d'abord le départ pour l'étranger de Cauchy, professeur du cours d'analyse dont il est répétiteur. Ce sont aussi les événements politiques, qui vont changer pendant quelques années les habitudes installées depuis plus d'une douzaine d'années, dans le monde de l'enseignement comme dans celui des savants. Un certain nombre d'opportunités vont se présenter pour Coriolis : la chaire de Cauchy (qu'il n'obtiendra pas), un enseignement au sein de la nouvelle École centrale (qu'il exercera pendant une année), et surtout un enseignement à l'École des ponts et chaussées, qu'il exercera pendant huit ans, jusqu'en 1838. Cette période est placée sous le signe d'un lien renforcé avec son corps d'origine, celui des Ponts et chaussées.

De fait, le premier événement marquant de cette période – que nous avons choisi d'arrêter à 1838, date de nomination de Coriolis à la direction des études de Polytechnique – est la reconnaissance qu'il acquiert au sein du Corps des ponts. Sollicité, parmi d'autres, pour proposer une réforme de l'enseignement à l'École des Ponts, il y devient enseignant. Il lui est aussi demandé, au sein du Corps des ponts, de faire partie de la commission du roulage chargée de faire des propositions au Gouvernement. Il devient d'autre part membre actif de la commission des *Annales*, dont la création venait d'être décidée. Sa compétence scientifique dans le domaine de la mécanique appliquée est ainsi reconnue par son nouvel enseignement aux Ponts et par sa participation aux deux commissions. Sa participation à celle des *Annales* constitue aussi une reconnaissance de son statut d'auteur scientifique. Globalement, c'est une reconnaissance sociale certaine qui accompagne cette reconnaissance scientifique de Coriolis, à trente-huit ans, par le Corps des ponts.

Le deuxième événement de cette période est la publication des travaux de Coriolis sur le mouvement relatif, qui lui vaudront la célébrité. Ces travaux sont publiés en deux temps, dans le *Journal de l'École polytechnique* (JEP) en 1831 puis en 1835. Si, dans son *Calcul de l'effet des machines*, Coriolis avait, en partie, fait un réassemblage de travaux antérieurs, ou qu'il s'était inspiré de travaux existants – nous avons vu que ce n'était qu'en partie vrai –, ses études sur le mouvement relatif lui sont propres : ils constituent des apports totalement nouveaux qui ne lui seront pas contestés, et qui affirment Coriolis comme

savant, peut-être plus que tout autre «théoricien de la mécanique appliquée», par ces deux résultats à contenu théorique important – mais à applications pratiques qu'on n'a pas fini de découvrir !

C'est pourquoi nous avons choisi ce terme d'« années fastes » pour désigner cette période 1830-1838. Parce que Coriolis est reconnu comme savant par ses pairs – il sera élu à l'Académie fin 1836 à la mort de Navier. Parce que sa production scientifique est de haute tenue et de grande valeur – en plus des articles au *JEP*, il va publier dans les *Annales des ponts* et dans le *Journal de mathématiques pures et appliquées*. Enfin, nous l'avons appelée ainsi par contraste avec la période suivante, qui verra Coriolis ne plus faire de science et s'en plaindre amèrement, être écrasé par ces responsabilités qui ne lui plaisent pas et qui minent petit à petit sa santé.

Enfin, les années fastes, ce sont celles d'une certaine liberté de Coriolis. Il n'est pas affecté à une fonction précise (comme il le sera à partir d'octobre 1838 à la direction des études de Polytechnique) ; il avance au gré des propositions qui lui sont faites, avec plusieurs activités d'enseignement ou d'activités gratifiantes comme la participation à des commissions d'importance ; il a le temps de développer ses recherches, et on en constate le brillant résultat.

Chapitre 7. Développement de l'enseignement

Cette activité s'inscrivant dans la continuité de la période précédente, nous avons choisi de commencer par celle-ci dans l'étude de cette période 1830-1838.

Coriolis assure par intérim, après le départ de Cauchy lors des *Trois Glorieuses*, le cours de celui-ci à Polytechnique de novembre 1830 à avril 1831 – il redeviendra répétiteur après cette date. En janvier 1831, il prend la chaire de mécanique de l'École centrale, qu'il exercera jusqu'en février 1832, date à laquelle l'École est fermée pendant quelques mois – il ne reprendra pas cette charge. En novembre 1831, il devient l'adjoint de Navier aux Ponts et chaussées. Il sera professeur en titre à la mort de Navier en 1836.

LA CHAIRE DE CAUCHY À POLYTECHNIQUE

Vacance de la chaire

Le Conseil d'instruction de Polytechnique du 17 novembre 1830 a un caractère exceptionnel : c'est le premier conseil depuis les *Trois Glorieuses* – le mois de novembre correspond chaque année à la période de rentrée des élèves, et il n'était sans doute pas nécessaire de réunir un Conseil entre août et novembre. Il n'était peut-être pas non plus possible de le faire avant un certain délai après les événements de fin juillet.

De fait, le général commandant l'École et l'inspecteur des études Jacques Binet (1786-1856) ont quitté l'École ; Arago préside le Conseil d'instruction en tant que commandant par intérim. La réunion se fait dans une certaine effervescence, le compte-rendu s'en ressent. L'heure est à la rentrée : en cette période mouvementée on doit en régler les moindres détails afin qu'il n'y ait pas de dérapage. Les cours de chacune des journées suivantes sont évoqués, vendredi 19 novembre, samedi 20 novembre ; au détour d'une phrase, on apprend que, concernant la 1^e division,

M. le professeur d'analyse de cette division étant absent, M. Coriolis répétiteur est chargé provisoirement de ce cours.

On voit que le Conseil d'instruction n'entre pas dans des détails concernant le départ de Cauchy (à toute le moins dans le compte-rendu écrit) : il se contente de constater son absence. Plus tard dans la même réunion, Arago fait part d'une lettre de Paul Binet¹⁰⁷, répétiteur de l'autre cours d'analyse, qui demande à être chargé de « faire le

107. « C'est le frère », comme écrivait Coriolis à propos des Fresnel. Paul Binet (1779 – date de mort inconnue) était le frère aîné, moins connu, de Jacques Binet. Paul Binet était X1798, répétiteur du cours d'analyse de 1821 à 1831.

cours en l'absence du professeur » (il s'agit du cours de Cauchy), et le compte-rendu indique froidement :

Le conseil ayant déjà confié ce cours à M Coriolis il n'est pas donné suite à la demande de M. Binet.

Bien évidemment Arago avait la lettre de Binet en poche avant de proposer Coriolis au remplacement de Cauchy ; il semble donc qu'il ait délibérément écarté Paul Binet pour ce remplacement. On ne peut manquer de voir déjà, dans ce geste délibéré, l'opposition que marquera sa vie durant, pour des raisons politiques, Arago à la famille Binet, vue comme représentant le parti jésuite. La rivalité ayant existé en 1809 entre Jacques Binet et Arago pour être professeur suppléant à Monge – soldée en faveur d'Arago – en était sans doute aussi une des causes¹⁰⁸.

Lors du Conseil suivant, le 23 novembre 1830, Duhamel, professeur de mathématiques au collège Sainte-Barbe, est choisi comme répétiteur provisoire pour le cours d'analyse, en remplacement de Coriolis – c'est l'entrée de Duhamel à Polytechnique, il y fera une longue carrière de vingt années comme professeur puis comme directeur des études, succédant de nouveau à Coriolis à la mort de ce dernier en 1843. Coriolis et Duhamel sont portés (séance du 19 décembre) sur la liste des traitements relatifs à la fonction dont ils sont chargés, professeur pour Coriolis et répétiteur pour Duhamel.

Pierre-Marie Duhamel¹⁰⁹

Pierre-Marie Duhamel (1797-1872) est un polytechnicien (X1814) plus jeune que Coriolis. Il sera un collègue important pour lui : entré comme répétiteur en 1830, en remplacement de Coriolis assurant le cours de Cauchy, il deviendra professeur en 1836 à la mort de Navier – ce que Coriolis ne sera pas –, puis examinateur d'admission en 1840 à la mort de Poisson. Il succède à la direction des études à Coriolis à la mort de celui-ci.

C'est d'abord et avant tout un géomètre, mathématicien, très peu versé dans la mécanique appliquée, et moins brillant que d'autres mathématiciens comme Liouville. Voici comment Coriolis décrit Duhamel dans sa «galerie de portraits» (lettre du 24 mars 1840 à sa cousine):

108. Emmanuel Grison ([1999]) nous rappelle cette rivalité : Monge choisit son ancien élève Arago, extérieur à l'École, pour assurer sa suppléance en 1809, et non son répétiteur Jacques Binet. Plusieurs membres du conseil de perfectionnement s'en émeuvent, récusant à un professeur le droit de choisir ses suppléants. Le gouverneur général Lacuée, qui avait accepté cette proposition de Monge, le présente comme provisoire au Conseil, dont le compte-rendu indique : « plusieurs membres du Conseil, en reconnaissant la bonté du choix fait par M. Monge, ne peuvent s'empêcher de remarquer qu'il serait à désirer qu'on ne prît pas de suppléant hors de l'enceinte de l'École, lorsqu'elle renferme des sujets capables de remplacer les professeurs, afin de ne pas décourager les répétiteurs en leur ôtant tout espoir d'avancement ». Grison ajoute que c'est parce qu'un rapport de police avait dénoncé Binet comme jésuite, et que Napoléon en avait informé Monge.

109. Nous avons choisi d'illustrer par des encadrés hors-texte certains personnages – certes parce qu'ils sont moins connus que d'autres, mais surtout parce qu'ils font l'objet d'une description et d'une appréciation souvent savoureuses par Coriolis dans sa correspondance privée à sa cousine (notamment la lettre du 24 mars 1840, véritable « galerie de portraits »).

« Il a été présenté plusieurs fois pour l'académie : il avait même 15 ou 16 voix lors de l'élection de Mr Libri. Il est soutenu à présent par Mr Arago et Mr Poinsot, mais n'est pas aimé de Mr Poisson. C'est un homme ayant très bonne opinion de lui, d'un caractère décidé tranchant dans la conversation, jetant d'ordinaire le ridicule sur ses adversaires et ayant l'air de mépriser leur capacité. Il a une très belle figure et porte la tête haute comme un homme très content de lui. Bien que Mr Dubamel ait de la facilité et de l'esprit cependant ce n'est pas une tête de premier ordre. Je doute qu'il mette jamais beaucoup de suite dans ses travaux ni qu'il invente quelque chose de saillant, il tournera autour des idées des autres et y ajoutera du sien ». [lettre du 24 mars 1840]

Un peu plus loin il explique que depuis mi-1839 Duhamel, esprit plutôt indépendant, est en cour auprès d'Arago, pour la raison suivante :

« Peut-être à cause de leurs sentiments communs contre Mr Poisson, car ces deux têtes de la science sont bien brouillées¹¹⁰ ». [lettre du 24 mars 1840]

Le Conseil suivant, en date du 11 décembre 1830, fait mention d'un échange relatif au cours d'analyse qui mérite d'être transcrit intégralement :

M. le directeur des études expose que M Coriolis chargé par le conseil de faire l'un des cours d'analyse en l'absence de M. Cauchy avait besoin de savoir combien de temps durera le remplacement temporaire qui lui est confié, afin de pouvoir prendre, d'après la réponse du conseil, les arrangements relatifs à son service d'ingénieur des ponts et chaussés.

M. le commandant ajoute qu'il serait bien à désirer que le conseil sortît bientôt de l'incertitude où le laissent l'absence et le silence de M. Cauchy.

Le conseil est d'avis, sur la première question, qu'il serait nuisible au succès du cours d'analyse que ce cours fût fait en partie par une personne et en partie par une autre ; et qu'il est nécessaire que M. Coriolis qui l'a commencé le continue jusqu'à la fin. Quant à l'absence de M. Cauchy et aux mesures à prendre pour mettre un terme à l'état d'incertitude qui en résulte, le conseil pense que cela regarde M. le commandant de l'école.

À travers ces échanges, on constate à quel point le statut de professeur remplaçant est précaire – c'est le Conseil d'instruction qui décide du remplaçant, et celui-ci peut être du jour au lendemain écarté au profit d'un nouveau titulaire, nommé, lui, dans les formes, par le ministre sur avis de l'Académie et du Conseil d'instruction. On verra en 1836 un nouvel exemple de cette précarité avec Auguste Comte, nommé professeur remplaçant à la même chaire – il utilisera parmi ses arguments le fait d'avoir été un remplaçant apprécié des élèves... mais il ne sera pas titularisé.

Coriolis, en 1830, perçoit clairement cette précarité, puisqu'il demande au Conseil combien de temps cette fonction durera. Il est parfois lu dans la littérature que Coriolis ne cherchera pas à être titularisé comme professeur d'analyse, diverses raisons étant données

110. Il faut comprendre ici que les « deux têtes brouillées de la science » sont Arago et Poisson.

– dont son état de santé qu'il aurait lui-même invoqué. Ceci est sans doute vrai en 1836, quand le poste se libère à nouveau à la mort de Navier – le contexte est alors là tout à fait différent, nous y reviendrons. Mais c'est faux en 1830-1831 : nous interprétons la demande de Coriolis ci-dessus (il souhaite « être informé de la durée du remplacement temporaire qui lui est confié ») comme un souhait de conserver ce cours. Et, de fait, Coriolis est candidat à la succession de Cauchy puisqu'il est classé par la commission chargée d'examiner les candidatures : il a donc manifesté sa candidature d'une manière ou d'une autre (par exemple oralement auprès du directeur des études Dulong). Cette précision paraît nécessaire compte tenu de ce qui est parfois écrit : en 1831, Coriolis n'invoque pas de raison de santé et est effectivement candidat à la succession de Cauchy, à laquelle il n'est pas retenu.

Candidature de Coriolis à la chaire d'analyse et de mécanique

Trois mois après le début du cours de Coriolis, le Conseil d'instruction du 18 février 1831 prend connaissance d'une lettre du ministre demandant la présentation au plus tôt d'un candidat pour l'emploi de professeur d'analyse. Le Conseil exprime le désir que le nouveau professeur n'entre en fonctions que lorsque M. Coriolis aura terminé la première partie du cours d'analyse dont il a été provisoirement chargé. Une commission est créée pour examiner les candidatures à ce poste, elle est composée de Dulong, Mathieu & Leroy. Lors de la séance du 4 mars 1831,

La commission chargée de la présentation des candidats pour l'emploi de professeur d'analyse soumet au conseil les titres des professeurs qui se sont mis sur les rangs pour cet emploi, et les classe dans l'ordre suivant :

NAVIER, ingénieur en chef des ponts et chaussées, membre de l'Académie des sciences.

CORIOLIS, ingénieur des ponts et chaussées, répétiteur d'analyse et de mécanique à l'École polytechnique.

BINET PAUL, professeur au collège royal de Bourbon, répétiteur d'analyse et de mécanique à l'École polytechnique.

DUHAMEL, professeur de mathématiques, répétiteur par intérim d'analyse et de mécanique à l'École polytechnique.

COMTE, professeur de mathématiques.

On peut s'étonner que Navier soit ainsi placé en tête de liste, alors qu'il n'était pas connu à l'École, contrairement à Coriolis qui y était répétiteur depuis 1817, et en outre pour le cours concerné. Mais Navier était professeur aux Ponts depuis 1819, et avait été récemment titularisé en août 1830 au départ d'Eisenmann ; il était par ailleurs académicien depuis six ans ; il était aussi l'aîné de sept ans de Coriolis. Il est certain que Navier a utilisé son entree pour assurer son succès : on sait qu'il est ambitieux – Picon nous rappelle que « très conscient de sa valeur, Navier sait la rendre sensible aux autres » ; Kranakis nous a aussi dévoilé une certaine prétention de Navier dans sa correspondance au

directeur général des Ponts et chaussées à fin d'obtenir sa nomination d'ingénieur en chef¹¹¹. Rien de tel chez Coriolis, qui ne bénéficiait pas d'un réseau mobilisable de relations professionnelles, et à qui de toute façon une demande de soutien était une démarche étrangère.

Sans doute aussi « l'affaire du pont des Invalides » a joué un rôle pour Navier dans cette nomination. On sait la mésaventure arrivée à Navier, qui avait l'ambition d'une réalisation concrète, celle de mener la construction d'un pont suspendu (comme ils commençaient à se répandre en France, importés d'Angleterre) sur la Seine face aux Invalides. Or, un violent orage était venu saper les piles en cours de construction – les dégâts étaient tout à fait réparables mais le Conseil municipal de Paris en avait profité, en 1826, pour décréter inopportun le pont suspendu. Navier en avait conçu une grande amertume – il n'est pas impossible que le corps savant, et le corps des Ponts, aient souhaité offrir une compensation à l'orgueil blessé de Navier (le pont des Invalides était réparable et ce n'était pas un défaut technique) – en même temps qu'ils le renvoyaient à des travaux plus théoriques, tels ceux de professeur à Polytechnique, le détournant ainsi de ses ambitions d'ingénieur-constructeur de ponts.



Comme il est d'usage, le choix est reporté à la séance suivante. Le Conseil d'instruction du 18 mars 1831 va choisir de présenter au ministre Navier, sur le nom duquel « la majorité des suffrages se réunit ». Parallèlement, l'Académie des sciences s'était formée en « Comité secret » le 28 février 1831, et la section de Géométrie place dans l'ordre NAVIER, CORIOLIS, DUHAMEL (le premier était académicien, les deux autres ne l'étaient pas). Le 7 mars 1831, en séance plénière, sur 55 votants, Navier remporte 44 voix, Coriolis 9, Duhamel 1 et il y a un bulletin blanc.

Il est difficile de savoir dans quelle mesure ces propositions parallèles au ministre (celle faite par l'École et celle faite par l'Académie) étaient réellement indépendantes. On peut penser que, « comité secret » ou non, la proposition de la première instance qui se réunissait (dans ce cas, l'Académie) était connue de l'autre et, sauf en cas de conflit larvé ou ouvert entre les deux institutions, il y avait alignement d'une proposition sur l'autre. De fait, dans ce cas, la commission de Polytechnique, nommée le 18 février et rendant son verdict le 4 mars, était informée du choix de l'Académie en date du 28 février. Il est clair, en tout cas, que les académiciens ont mis Navier en premier parce que c'était un des leurs (depuis 1824) ; de quoi donner raison à Auguste Comte lorsqu'il critiquera, quelques années plus tard, la présentation par l'Académie au ministre de candidats pour les postes d'enseignement à Polytechnique – Comte déplorera le fait que les académiciens proposent systématiquement un des leurs.

111. Navier est nommé ingénieur en chef (2^e classe) en 1822, à trente-sept ans. Coriolis est nommé ingénieur en chef en 1833, à quarante et un ans.

Autres nominations à Polytechnique, 1830-1832

Parallèlement, la place d'Arago comme professeur de géodésie et de machines s'est libérée, Arago préférant se consacrer à ses fonctions électives et de secrétaire perpétuel de l'Académie. Le Conseil d'instruction du 18 mars 1831 m'enregistre qu'une seule candidature, celle de Savary, répétiteur du cours : Coriolis n'a donc pas cherché à se mettre sur les rangs pour ce poste de professeur pour lequel il avait les compétences, au moins dans la partie relatives au machines (à l'inverse d'Arago qui était plus compétent dans le domaine de la géodésie).

Félix Savary, collègue de Coriolis

Félix Savary (1797-1841, X1815) est astronome. Il est bibliothécaire au Bureau des Longitudes de 1823 à 1829 (poste qu'occupa Arago).

Il devient répétiteur en 1828 de deux cours d'Arago à Polytechnique, celui de géodésie et de machines, et celui d'arithmétique sociale (dans les deux cas, en remplacement de Mathieu devenu professeur d'analyse en 1828 à la place d'Ampère), puis professeur de ces deux cours en 1831 lorsque Arago, devenu secrétaire perpétuel, abandonne sa chaire. Il cessera de professer le cours d'arithmétique sociale en 1838 – ce cours est supprimé¹¹². Il poursuivra le cours de géodésie et de machines jusqu'à sa maladie à l'été 1840.

Ses travaux scientifiques étaient de divers ordres. Il avait travaillé avec Ampère à certains calculs d'électromagnétisme. Dans son cours de machines à Polytechnique, s'intéressant aux engrenages, il est l'auteur d'un théorème « sur la courbure de la courbe engendrée par le mouvement d'un point lié à une courbe roulant sur une courbe fixe ».

Mais c'est en astronomie qu'il apporte un résultat important : il observe, dans la constellation de la Grande Ourse, une étoile double et vérifie les lois de la gravitation de Newton sur ce système – c'était la première vérification de ces lois hors système solaire, confirmant leur caractère universel. Il est élu à l'Académie des sciences (section d'astronomie) fin 1832.

Voici l'intéressant portrait de Savary par Coriolis dans la galerie de portraits qu'il dresse dans sa lettre du 24 mars 1840 :

« Mr Savary est un homme doux de caractère, aimant la paix, ne blessant personne ; mais s'il est dulciter in modo, il est aussi fortitudiner in re. Nous nous faisons amitié franchement, moi je l'aime. Mais nous ne touchons pas la politique ensemble parce Savary est radical, c'est le fils de Savary qui a été du gouvernement républicain : la famille est entrée dans le puritanisme républicain. Mr Savary est le bras droit de Mr Arago, il pense

112. Voir Meusnier, Norbert, « Sur l'histoire de l'enseignement des probabilités et des statistiques », *Journ@l électronique d'histoire des probabilités et de la statistique*, n°2, décembre 2006 (en ligne à <http://www.jehps.net/decembre2006.html>)

comme son maître et n'agit que d'après lui par la seule influence du caractère de Mr Arago, qui sait le persuader. Pour toutes les petites intrigues à l'Académie ou chez nous, c'est Mr Savary qui agit pour faire triompher les idées de Mr Arago. Mr Savary est un homme de beaucoup d'esprit et de finesse d'esprit. Il eût été un grand physicien s'il avait travaillé, mais il est délicat et nerveux et se trouve trop dérangé par les occupations de ses places. Mr Savary [...] est tout seul et jouit d'une assez grande vaillance, il a environ 46 ans. Il professe ici les machines et la géodésie ». [lettre du 24 mars 1840]

Finalement, nous pensons que cet échec à la succession de Cauchy a été une opportunité pour Coriolis. Nous avons introduit cette partie en indiquant que son activité se déployait dans deux directions, celle d'enseignant de mathématiques, et celle de « chercheur » en mécanique appliquée. Candidat malheureux à la chaire d'analyse – sa première activité ci-dessus –, il a pu décider de se concentrer sur sa deuxième activité, avec un incontestable succès. Il est possible, aussi, qu'il pense ne pas pouvoir être un scientifique qui sort du lot en analyse (tel un autre Duhamel, en quelque sorte) – aussi ne choisit-il pas de ne pas s'investir dans cette branche, et peut-être n'est-il que mollement candidat à la succession de Cauchy : en 1836, dans un contexte très différent – ce sera alors très net, à notre avis – il ne s'estimera pas suffisamment compétent en analyse pour prendre la chaire. Cette évolution de sa réflexion était peut-être amorcée, ou en germe, en 1831 déjà.

Une autre réflexion que nous pouvons lui prêter à cette période est la conscience plus affirmée de son goût pour la recherche : ainsi, peut-être inconsciemment peu motivé pour la succession de Cauchy comme professeur d'analyse, certainement pas intéressé au remplacement d'Arago comme professeur de machines, son évolution personnelle le portait vers la recherche en mécanique appliquée.



En 1832, une autre nomination (qui s'avérera importante par la suite) intervient : le Conseil d'instruction recrute un répétiteur adjoint à Coriolis, et Auguste Comte est choisi, avec l'appui du professeur Navier. Il semble que Coriolis ait peu son mot à dire sur cette nomination. Dans les nombreux écrits sur Auguste Comte¹¹³, celui-ci y est figuré comme « répétiteur » à partir de 1832 – alors qu'il n'est qu'adjoint à Coriolis : les émoluments étaient d'ailleurs différents, un répétiteur gagnant 2000 Frs annuels et un répétiteur adjoint 1500 Frs.

113. À l'exception notable de certains, comme Mary Pickering, qui donne le titre correct de « répétiteur adjoint » à Auguste Comte en 1832.

L'ENSEIGNEMENT À L'ÉCOLE CENTRALE, DE 1831 À 1832

Même s'il n'obtiendra finalement pas la chaire d'analyse à Polytechnique, Coriolis va voir son activité d'enseignement se développer. En janvier 1831, il devient professeur de mécanique appliquée et rationnelle à l'École centrale des arts et manufactures, peu après son ouverture en novembre 1829.

Il y restera professeur pendant moins de deux ans, mais il semble fortement avoir marqué les esprits : c'était sans aucun doute un des professeurs les plus prestigieux lors des débuts de l'École – il était auteur d'un ouvrage estimé, et répétiteur à Polytechnique – il professait même par intérim au moment où il commence son enseignement à Centrale.

On remarque aussi que c'est la première fois que Coriolis est professeur en exercice, et la première fois qu'il enseigne la mécanique appliquée. Tout en faisant un enseignement d'analyse, il professe pour la première fois les matières issues de son ouvrage, faisant l'objet de sa recherche personnelle.

Même s'il y arrive un peu par hasard – il remplace le professeur de mécanique Benoist, un des fondateurs, qui a quitté l'École – et même s'il n'y reste pas longtemps, ce passage à l'École centrale est à notre sens un point important de l'évolution de la carrière de Coriolis en ce début des « années fastes » : il est reconnu comme professeur à part entière (et non simple répétiteur, ou professeur remplaçant) ; il est reconnu dans sa matière de recherche, la mécanique appliquée ; enfin, il est reconnu comme professeur prestigieux dans cette institution naissante.

Coriolis à Centrale

L'École est fondée en 1829, sous le règne de Charles X. Les fondateurs avaient mis en exergue la puissance industrielle de l'Angleterre avec ses ingénieurs civils ; toutefois, comme le fait remarquer Comberousse [1879], la comparaison s'arrêtait là, car l'Angleterre ne possédait aucune école analogue pour la formation de ses ingénieurs. Elle était conçue comme une « École polytechnique civile » ou, selon le joli mot de l'un de ses directeurs, Perdonnet, comme une « Sorbonne industrielle¹¹⁴ ». Les fondateurs étaient Dumas, Lavallée, Ollivier, Pécelet, auxquels, selon Comberousse, il faut ajouter au départ Benoist, bien qu'il cessât de participer à l'aventure peu après l'ouverture.

Comme le rappelle Belhoste [2003], l'École est fondée par des *outsiders* du milieu scientifique ; par ailleurs, selon lui, alors que le Corps des mines est favorable à la création de Centrale et se retrouve en force dans son premier Conseil de perfectionnement, le Corps des ponts, directement visé par cette création, « reste entièrement à l'écart d'un projet qui n'a pas sa sympathie ». Faut-il voir en Coriolis, ingénieur des ponts et chaussées et chronologiquement le premier d'entre eux enseignant à Centrale, un *outsider* à la fois

114. Rapporté par Comberousse.

dans le milieu scientifique et au sein du Corps des ponts ? Si Coriolis peut être de manière fugace tenté de prendre cette posture, il ne reste que peu de temps à Centrale, et sa carrière le ramène immédiatement après dans le giron du Corps des ponts, à l'École et dans diverses commissions administratives. On ne saurait donc voir en Coriolis un de ces *outsiders* justement mentionnés par Belhoste – mais bien plutôt un scientifique distingué et bientôt prestigieux, quoique pas encore tout à fait intégré dans l'*establishment*, que l'École centrale s'attire ainsi.

Notons qu'il n'est pas du tout évident que ce soit par l'intermédiaire de son futur beau-frère Pécelet que Coriolis est contacté, voire choisi : en effet, le mariage de Pécelet avec Cécile de Coriolis n'a lieu qu'en 1837, et peut-être même est-ce en connaissant Coriolis à Centrale que Pécelet entre en relation avec sa sœur.



À l'ouverture, en 1829, douze cours sont au programme, dont géométrie descriptive (Ollivier), physique (Pécelet), mécanique industrielle (Benoist), chimie et arts chimiques (Dumas), histoire naturelle industrielle (Brongniart), exploitation des mines (Bineau), art de bâtir, économie industrielle, dessin. Le cours de mécanique était donc assuré par l'un des fondateurs initiaux, Philippe Benoist (1791-1867, X1809), ingénieur géographe, ancien professeur à l'École d'État-major, devenu ingénieur civil. Comberousse, dans un ouvrage qui reste de référence à propos de l'histoire première de l'École centrale, critique ce cours comme l'un des plus faibles :

On voit par ce rapide aperçu que le Cours ainsi tracé était, à proprement parler, non un Cours de mécanique théorique ou appliquée, mais un vaste essai de technologie mécanique (...) Il avait son utilité ; mais on y remarquait à la fois trop de lacunes et trop de chapitres nécessairement répétés dans les autres Cours.

L'École a été moins heureuse en ce qui touche l'enseignement de la Mécanique. Mr Benoist, dont le choix offrait toutes les garanties désirables, n'a pu remplir ses fonctions (...)

Dans sa description du cours de Benoist, Comberousse pointe certains items comme relevant plus de la « technologie » que de la « mécanique théorique ou appliquée » : machines servant à déplacer les fardeaux, à presser les corps, à aspirer ou à lancer les gaz ; appareils de pesage et compteurs chronométriques ; appareils employés dans l'agriculture, la meunerie, la préparation des vins, des briques et des cordages, des chanvres, etc. On ne peut toutefois pas exclure que Comberousse, dans sa vénération de l'École centrale, ait tendance à vilipender le cours de Benoist qui n'était pas resté comme fondateur (il démissionne par lettre du 6 novembre 1829). Toujours est-il que dès l'ouverture de l'École, la participation de Benoist cesse. Le cours est repris, pendant la première année scolaire 1829-1830, par M. Didiez ; pendant la seconde année scolaire, il est commencé en décembre 1830 par Colladon, déjà professeur adjoint. Puis Coriolis prend la chaire en janvier 1831, d'après Pothier [1887]. Comberousse est fort élogieux vis-à-vis de Coriolis :

Il est donc impossible de ne pas reconnaître la participation de M. Benoist à la fondation de l'École centrale. Mais il faut ajouter que cette participation cessa presque immédiatement après l'ouverture. M. Benoist se sépara de ses collègues, fut suppléé d'abord par M. Colladon, et remplacé dès 1830 par l'illustre auteur du Traité de Calcul de l'effet des machines, G. de Coriolis, dont Pécelet allait devenir le beau-frère, et qui trace véritablement le premier les cadres de l'enseignement mécanique de l'École.

Comme à Polytechnique, si l'on en croit Comberousse, on voit le *distinguo* entre la suppléance (Colladon supplée l'absence de Benoist) et la titularisation (Coriolis prend la place de Benoist). Toujours est-il qu'en janvier 1831, en milieu de deuxième année d'exercice, Coriolis est le quatrième professeur de la matière... Mais on peut penser que, même s'il n'est pas resté longtemps (en tout cas plus longtemps que ses prédécesseurs), il a sans doute été le premier à donner un cours valable, qui fera référence puisque Bélanger, directeur des études à Centrale sept ans plus tard, fera une lithographie des notes prises de ce cours¹¹⁵.

Comme on le voit pour le cours de mécanique, l'École semble avoir des difficultés à prendre ses marques à ses débuts. En septembre 1830, lors de la deuxième rentrée, les cours de 1^e année ne sont plus au nombre de douze mais de quatre : géométrie descriptive (Ollivier), mécanique générale (Coriolis), physique générale (Pécelet), chimie générale (Dumas). L'enseignement en 2^e et 3^e années d'études est nettement plus appliqué, et l'on trouve notamment des cours de théorie des machines (Walter), de construction des machines (Ferry), de théorie physique des machines à vapeur (Colladon).

Coriolis assure donc un cours en première année, à l'instar des trois fondateurs : ces cours de première année sont assez généraux, comme leur intitulé le signale. Celui du cours de Coriolis nous paraît correspondre à son créneau : une « mécanique générale » qui n'est pas pure géométrie ou mécanique rationnelle – tout en contenant des éléments de mathématiques –, mais ne rentrant pas dans les détails de construction des machines enseignés par d'autres en seconde année. Comberousse décrit ce cours de manière positive, l'opposant à nouveau à celui de Benoist :

Le nouveau cours de Mécanique générale contenait les préliminaires d'Algèbre et de Géométrie Analytique, et les notions de calcul infinitésimal¹¹⁶ indispensables pour la compréhension des théories mécaniques. Le programme de ce cours était tel qu'on devait l'attendre d'un esprit aussi éminent que M. Coriolis (...) Nous n'avons pas besoin de faire ressortir la supériorité de ce programme sur celui adopté primitivement.

115. On peut lui en savoir gré, puisque ce cours nous est ainsi resté – il aurait eu peu de chances de l'être sinon.

116. La mention du calcul infinitésimal est intéressante. On verra par la suite que Coriolis, dans ses propositions de 1840 de réforme de l'enseignement donné à l'ingénieur sur l'ensemble de la filière (programme d'admission à Polytechnique – École polytechnique – Écoles d'application), jugera indispensable que le calcul infinitésimal soit inscrit au programme d'admission.

La structure du cours de Coriolis à Centrale

Il existe deux volumes de nature différente du cours de Coriolis à Centrale : l'un est intitulé «Notions de calcul infinitésimal et de géométrie analytique », l'autre «Leçons de mécanique ». L'ensemble forme sans doute le cours de mécanique générale de Coriolis : d'après Comberousse, ce cours comportait une partie d'analyse et de calcul différentiel, qui correspondrait au premier intitulé.

Le cours de calcul différentiel est assez bref (quarante-huit pages), composé des notions suivantes : fonctions, courbes à double courbure et leurs tangentes, surfaces courbes et leurs normales, rayon de courbure, calcul infinitésimal et développements en série, équations différentielles et leurs intégrales. Il s'agit avant tout d'un cours de mathématiques¹¹⁷. La mécanique n'y est évoquée que p.34, sous la forme suivante :

Différents problèmes de mécanique donnent lieu à la question inverse de celle que nous venons de résoudre, c'est-à-dire qu'au lieu de chercher à exprimer une aire comme une intégrale (...)

On peut néanmoins considérer que Coriolis professe ce cours dans l'objectif de la «mécanique générale» (Comberousse) : l'étude des courbes et des équations différentielles en mathématiques est nécessaire à celle des trajectoires des corps en mécanique. Rappelons que les élèves – à Polytechnique ou à Centrale – n'étudiaient que peu le calcul différentiel, les méthodes géométriques lourdes étant préférées pour démontrer les résultats. Or, bien évidemment – et ce sera à la base des propositions de réforme faites par Coriolis en 1840 –, la dynamique avait besoin de l'analyse différentielle.



Les «Leçons de mécanique» de Coriolis à Centrale sont d'une toute autre facture. C'est un cours de mécanique appliquée, avec de nombreuses figures à caractère pédagogique, contrairement au *Calcul*. Il y a aussi nettement moins de formules que dans le *Calcul*, et le cours apparaît nettement plus appliqué que les austères considérations du *Calcul*.

Il existe à la BnF deux exemplaires légèrement différents de ce cours. Le premier est daté 1830-1831. Le second est plus complet, il comprend un chapitre initial entier de statique, et à la fin un développement sur les moulins à vent. Il est indiqué en couverture la précision suivante :

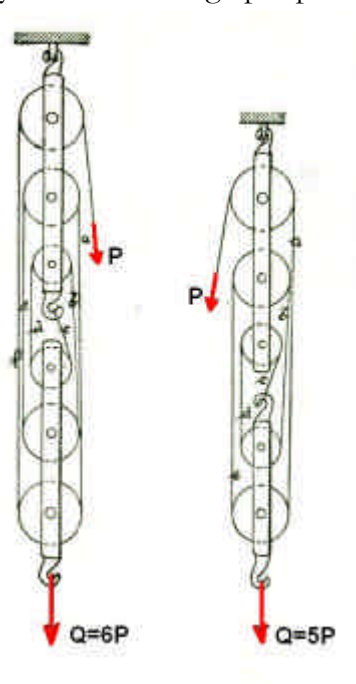
Ces notes avaient été rédigées par les élèves d'après le cours fait antérieurement à l'École par M. Coriolis. Avant de lithographier de nouveau ces notes, Mr Bélanger (ingénieur des ponts et chaussées) a bien voulu les revoir, ainsi que Mr Coriolis.

117. On comprend mieux l'admiration suscitée par ce cours chez Comberousse (et le fait qu'il le place largement au-dessus de celui de Benoist) : c'est un vrai cours d'analyse, presque du niveau de celui de l'École polytechnique, que professe Coriolis en 1830-1831 à Centrale.

C'est en effet grâce à Bélanger que la postérité a gardé une trace du cours de Coriolis à Centrale : il fait autographier en 1838 les notes du cours de Coriolis rédigées par M. Laurens, comme Pothier nous l'indique. Ceci montre que le cours de Coriolis, même s'il n'a pas duré longtemps, a, comme nous le disions ci-avant, jeté les bases d'un enseignement de la mécanique appliquée à Centrale, qui inspirera Bélanger, notamment sur un point précis souligné par Pothier :

C'est ainsi que M. Bélanger s'est inspiré des méthodes de son éminent condisciple de 1808 à l'École Polytechnique, en considérant, comme nous le verrons plus loin, la statique comme un cas particulier de la dynamique.

Il comprend tout d'abord un chapitre conséquent (30 pages) de statique, avec présentation de notions concrètes comme la balance, le levier, le peson, la poulie, les mouffles (« on appelle moufle un système de poulies réunies dans un même cadre appelé chappe »), les coins et vis dans les systèmes de levage par poulies, les roues dentées.



Une moufle (auj. moufle) est un système de poulies permettant de « démultiplier » une force : à gauche, on soulève avec une traction donnée un poids six fois supérieur.

Le deuxième chapitre, consacré à la dynamique, est beaucoup plus important (158 pages). Il débute (pages 1 à 27) par diverses considérations générales de dynamique, sur le mouvement uniforme, le mouvement varié. Il comprend une application au « calcul du travail nécessaire pour la battage des pieux ». Dans la partie « Des corps pesants considérés comme moteurs quand ils descendent », il donne un intéressant contre-exemple.



Figure extraite du cours de Coriolis à Centrale : Coriolis s'élève contre une idée fausse sur la notion de travail, à propos du problème dit des « boulets » : « Il n'y a pas besoin d'un examen pour prononcer que cette idée est fausse. On voit que le centre de gravité des corps une fois arrivé au plus bas ne peut s'abaisser, et qu'il ne peut y avoir de travail moteur produit. »

On retrouve ici, comme dans le *Calcul*, mais de manière plus concrète, Coriolis luttant contre les idées fausses concernant la notion de travail : certains pensaient pouvoir dire que le dispositif figuré ci-dessus (roue en rotation hérissée de boulets fixés sur tiges rigides escamotables dans une direction) était un dispositif générateur de force vive, nouvel avatar du mouvement perpétuel.

La partie la plus importante (pages 27 à 118) est consacrée à deux sujets : les roues hydrauliques et les machines à vapeur¹¹⁸. Pour chacun de ces deux sujets, Coriolis présente d'abord des notions assez générales, puis donne des éléments pratiques d'application industrielle.

Concernant les roues hydrauliques, les considérations générales (pages 27 à 72) portent par exemple sur l'écoulement de l'eau qui sort d'un vase de grande dimension, ou l'emploi des chutes d'eau comme moteur. Il examine bien évidemment les différents types de roue (horizontale, verticale à attaque haute, verticale à attaque par le bas). Dans ces considérations générales, il donne quelques calculs d'application pratique, par exemple « Comment on conclut l'effet utile qu'on peut retirer d'une chute d'eau quand on connaît l'eau qu'elle peut fournir dans une seconde ». Les éléments pratiques à caractère industriel (pages 73 à 88) portent sur ce qui se situe à l'aval de la roue hydraulique, ce qu'elle fait mouvoir : sont examinés les treuils, les freins, est décrit l'établissement d'un moulin à blé ou d'une scierie de bois.

Concernant les machines à vapeur, la démarche est la même. Les considérations générales (pages 88 à 107) portent sur la chaleur spécifique de la vapeur d'eau, la détente de la vapeur ; un calcul d'application pratique est donné sur « l'établissement d'une machine à vapeur ». Les éléments pratiques à caractère industriel (pages 108 à 118)

118. Ce sont ces deux parties, « Des roues hydrauliques » et « Des machines à vapeur » que l'on retrouvera dans le cours de Coriolis à l'École des ponts et chaussées.

portent sur ce qui se situe autour ou à l'aval de la machine à vapeur : sont examinés le volant, le balancier et le régulateur d'une machine à vapeur, est décrit l'établissement d'une filature.

La suite du cours paraît moins structurée. Suit (pages 118 à 126) un long développement portant sur les « actions mutuelles des corps et des molécules de corps » - sans doute une préparation du développement que l'on retrouvera dans le chapitre II du *Traité*, mais ici sans doute fort peu utile aux ingénieurs de Centrale. On retrouve néanmoins le même type de structure dans la dernière partie consacrée aux chocs : d'abord des considérations générales sur la théorie des chocs et l'application au cas du choc particulier qu'est le « bélier hydraulique » (pages 127 à 143) ; puis les éléments pratiques à caractère industriel comme les chocs rencontrés dans leur marche par les bateaux de navigation commerciale (partie « Bateaux à vapeurs et bateaux à rames », pages 144 à 151).



Figure (extraite du cours de Coriolis à Centrale : chocs rencontrés dans leur marche par les bateaux de navigation commerciale).

Fin du cours de Coriolis à Centrale (1832)

Compte tenu de ce qui en est dit ci-dessus sur la qualité du cours de Coriolis – en tout cas vue par Comberousse cinquante ans plus tard –, il est d'autant plus surprenant que ce cours disparaisse rapidement : Coriolis ne fait pas deux années scolaires de suite à Centrale, puisqu'il arrive en janvier 1831, trois mois après la rentrée, et qu'il quitte en février 1832 : cette fois-ci c'est l'École elle-même qui ferme prématurément, mais temporairement. Pothier indique que c'est en raison de l'état de santé de Coriolis, qui semble être une explication passe-partout.

En fait, l'École traverse une passe difficile en 1832 à la suite de l'enthousiasme des débuts, comme le pays traverse une phase délicate succédant à l'enthousiasme soulevé par le changement de régime en 1830. L'épidémie de choléra asiatique sévit à Paris¹¹⁹, elle oblige à la fermeture de l'École centrale de février à juillet 1832 ; les élèves sont moins nombreux à se présenter en 1832 que lors des trois années précédentes – certains quittent

119. Cette épidémie est assez rarement décrite en relation avec l'histoire des sciences. Elle provoque notamment le décès de Sadi Carnot (X1812), un des génies incompris de la science de son époque, en 1832.

l'École en cours de scolarité, la première promotion diplôme 26 élèves en 1832, alors qu'elle en avait accueilli 140 en 1829 ; enfin, Lavallée devient en juillet 1832 seul propriétaire.

Cette série d'événements peut avoir contribué à modifier profondément l'enseignement à Centrale lors de sa réouverture. Voici ce que disent du cours de mécanique les deux historiens de l'École centrale :

(...) et M. Colladon succéda à M. Coriolis dans la chaire de mécanique rationnelle, tout en continuant de faire en deuxième année le cours de Machines à vapeur [Comberousse]

M. de Coriolis, obligé par sa santé délicate à abandonner le professorat, conserva avec l'École des rapports de sympathie qui furent bientôt resserrés, en 1834, par le mariage de sa sœur avec l'un de nos vénérés fondateurs, M. Pécelet [Pothier]

Nous n'avons pas de réelle explication sur ce départ de Coriolis, d'abord remplacé par Colladon (1802-1893) dans ses deux cours. Peu après, dans une lettre du 15 novembre 1833, Lavallée annonce que Colladon, d'origine suisse, doit partir à Genève jusqu'en mai 1834. Il renonce au cours de mécanique de 1^{ère} année mais espère faire son cours de machines à vapeur de mai à juillet 1834. Colladon s'était déjà fait suppléer précédemment par Liouville : finalement, Liouville, déjà répétiteur à Polytechnique, succède à Colladon en première année pour un enseignement de mécanique rationnelle, tandis que Colladon conserve son enseignement de 2^e année sur la théorie physique des machines à vapeur.

On trouve chez Pothier une description intéressante de Liouville, assortie d'une comparaison fort pertinente avec Coriolis :

M. Liouville était plus jeune que M. de Coriolis. Ancien élève comme lui de l'École Polytechnique, il appartenait à la promotion de 1825, déjà bien éloignée de l'époque où les applications y étaient en faveur. En sortant de l'École des ponts et chaussées, en 1829, il n'avait pas fait de service actif d'ingénieur lorsqu'il fut nommé répétiteur à l'École polytechnique et professeur à l'École Centrale, en 1833. Dirigé par son génie vers les mathématiques transcendantes, il n'avait point de penchant pour la pratique de l'industrie¹²⁰. Il avait été attiré à l'École Centrale par son ami M. D. Colladon et il ne s'y attache que jusqu'en 1838.

Peut-être doit-on voir dans ce changement de 1833 – et l'intitulé traditionnel de « mécanique rationnelle » affecté à Liouville – la difficile position de l'enseignement de Coriolis, à cheval sur une partie mathématique (les rudiments d'analyse différentielle et de mécanique rationnelle) et sur une partie de mécanique appliquée. L'examen de ces deux types de leçons professées par Coriolis à Centrale montre à la fois la force et la faiblesse

120. Comme l'a rappelé Norbert Verdier [2009] en citant Pothier, Liouville écrit à Colladon le 21 septembre 1833 : « Mes goûts et mes occupations ordinaires répugnent aux applications industrielles autant que les vôtres vous y portent ». Quant à l'amitié entre Colladon et Liouville, un peu étonnante compte tenu de leurs champs scientifiques différents, elle est mentionnée par Pothier et attestée par ce type de lettres : elle passe sans doute par Sturm (1803-1855), genevois comme Colladon, du même âge que lui, avec lequel il avait travaillé sur la compressibilité des liquides – tous deux avaient obtenu ensemble un prix de l'Académie des sciences en 1827 ; par la suite Sturm s'orientera vers les mathématiques pures.

de Coriolis. Force d'être capable d'enseigner ces deux matières très différentes, et de pouvoir assurer le lien entre elles. Faiblesse de devoir faire le grand écart entre elles.

Peut-être, dans une période difficile, les enseignants de l'École ont-ils préféré séparer ces deux parties, en revenant sur un enseignement plus traditionnel d'analyse et de mécanique en première année, et en le confiant à quelqu'un d'autre, jeune ambitieux dont c'était le premier poste de professeur de plein exercice, Liouville. Peut-être doit-on y voir une certaine inadéquation de l'enseignement de Coriolis, dans une École dont la jeunesse impliquait et nécessitait une rapidité de réaction : à l'École centrale, jeune de trois ans, non soutenue par l'État, et plus soumise à la pression industrielle, il fallait réagir vite à toute crise même larvée – comme la baisse des candidatures ; à Polytechnique ou aux Ponts, écoles plus anciennes, plus prestigieuses et soutenues par l'État, on n'était pas ainsi obligé de trancher dans le vif – et l'on verra d'ailleurs que l'enseignement à Polytechnique, comme le souligne Belhoste, ne change guère entre 1816 (l'« École de Laplace ») et 1850. Peut-être le fait que Coriolis avait pris, pendant l'interruption du printemps 1832, d'autres activités, notamment aux Ponts et chaussées – commission du roulage et commission des Annales – allaient l'empêcher de poursuivre son cours à l'École centrale à la rentrée de 1832 ? Peut-être aussi le Corps des ponts, dont on a indiqué la réticence vis-à-vis de Centrale, a-t-il demandé d'une manière ou d'une autre à Coriolis d'abandonner cet enseignement – le cas échéant en lui proposant l'enseignement aux Ponts ou ces postes en commissions ? Peut-être enfin, tout simplement, Coriolis avait-il des problèmes de santé – mais nous avons déjà indiqué que cet argument nous paraissait passe-partout, au moins en 1831 : pourquoi Coriolis accepte-t-il alors un enseignement à l'école des Ponts ?

Bélanger, fils spirituel de Coriolis ?

On notera toutefois que c'est un autre ingénieur des Ponts et chaussées, de profil fort comparable à Coriolis, Bélanger, qui jouera un rôle important à Centrale pendant presque trente ans à partir de 1836, comme professeur, directeur des études, secrétaire général. Bélanger avait une grande estime pour Coriolis – c'est lui qui fera l'édition posthume de son *Traité de mécanique* en 1844 : on peut dire que le flambeau du mode d'enseignement de Coriolis – les « premiers cadres de l'enseignement mécanique de l'École », selon l'expression de Comberousse – a été repris par Bélanger, et que le souvenir de Coriolis a été conservé vivace à l'École centrale même s'il n'y est resté que deux ans.

Jean-Baptiste Bélanger (1790-1874)



Nous retrouvons souvent Jean-Baptiste Bélanger en parallèle à la trajectoire de Coriolis. Il est de la même promotion de Polytechnique que Coriolis (X1808), ingénieur des Ponts comme lui.

Il fait un service effectif aux Ponts à partir de 1816, notamment sur les travaux du canal de navigation de la Somme. En 1837, il travaille avec l'ingénieur en chef Polonceau (1778-1847, X1796) au premier tronçon de la ligne de chemin de fer Paris-Rouen (Paris-La Garenne Colombes). Parallèlement, il produit des travaux scientifiques importants, comme un article sur les remous hydrauliques en 1828.

Ce n'est toutefois qu'en 1838, à quarante-huit ans, qu'il commence une carrière plus académique. Il remplace Liouville comme professeur d'analyse géométrique et de mécanique générale à l'École centrale (jusqu'en 1864), et y deviendra aussi directeur des études. Il devient professeur de mécanique appliquée à l'École des ponts et chaussées, de 1841 à 1855 (il succède dans ce poste à Guillebon, qui avait lui-même succédé à Coriolis en 1839) ; il sera professeur de mécanique à l'École polytechnique en 1851.

Même s'il ne paraît pas lié d'amitié à son camarade de promotion Bélanger (qui n'est jamais mentionné dans ses lettres, à la différence de Guillebon), Coriolis a grande estime scientifique pour Bélanger, et vice-versa. Dans l'avertissement du *Calcul* en 1829, on peut lire :

(*) M. Bélanger, ingénieur des Ponts et Chaussées, auteur d'un mémoire très intéressant sur l'écoulement des eaux dans les canaux, qui s'est occupé avec succès de la théorie des machines et de ses applications, a bien voulu revoir mon manuscrit et m'aider de ses conseils : je lui dois plusieurs améliorations qui ont mis plus de clarté et plus d'ordre dans cet Ouvrage.

On peut, à propos des liens scientifiques entre Bélanger et Coriolis, aller plus loin, sur la base d'une discussion ouverte par Chatzis [1995]. Celui-ci montre de manière tout à

fait intéressante comment Bélanger est à l'origine, à partir des années 1850, d'une remise en cause assez profonde de la mécanique rationnelle : ce mouvement se développe notamment en France – Bélanger en est le précurseur – et en Allemagne. Dans son cours de 1847, notamment, il fait de la statique un cas particulier de la dynamique, celui des accélérations nulles : « renversement d'une longue tradition », dit Chatzis, où la statique était la reine de la mécanique rationnelle, aux mains des géomètres. C'est « imbu d'une croyance positiviste » (Chatzis) que Bélanger prône d'aborder la mécanique par la dynamique, science causale des forces, qui nous sont directement connues par l'expérience. Le philosophe et mécanicien allemand Mach, « pourtant avare de références » (Chatzis) ne s'y trompe pas, qui cite favorablement Bélanger dans son ouvrage de 1883.

Pour poursuivre le débat entamé par Chatzis, on peut se demander si le germe de cette profonde et sans doute salutaire remise en cause n'était pas déjà chez Coriolis¹²¹. Sur quels travaux de mécanique, sinon le *Calcul*, Bélanger pouvait-il s'appuyer lorsqu'il entame une carrière académique tardive en 1838 ? Justement, cette même année, commençant son premier enseignement, à Centrale, il fait lithographier l'éphémère cours de mécanique de Coriolis dans cette école. Et pourquoi Bélanger tient-il à éditer lui-même, lourd travail, le *Traité*, qui comme nous l'avons vu en vient à présenter en sa partie nouvelle la vision de la mécanique qu'avait Coriolis ? Loin de nous l'idée de dire que Bélanger ait pu plagier Coriolis. Bien au contraire, positivisme mis à part, Bélanger peut être considéré comme le légataire scientifique de Coriolis – même s'il n'y a aucun fondement juridique à cette notion, elle s'appuie, ne serait-ce que factuellement, sur l'édition posthume du *Traité*.

Pour aller plus loin, nous pensons que Bélanger peut être considéré comme l'héritier scientifique de son camarade Coriolis : cette profonde remise en cause de la mécanique rationnelle qu'il mène dans la commission de réforme de l'enseignement de l'École polytechnique en 1850 était en germe dans la vision de la mécanique que s'était forgée Coriolis entre 1830 et 1840, comme elle était inscrite dans la proposition de réforme de l'enseignement à Polytechnique que fait Coriolis, alors directeur des études, en 1840.

UNE ACTIVITÉ ÉPISODIQUE DE VULGARISATION (CA. 1833)

Comme souvent chez les savants de cette époque, la vulgarisation scientifique ne paraît pas être une priorité. Il faut attendre 1835 pour voir apparaître les Comptes-rendus de l'Académie des sciences (Biot s'opposera à Arago à ce propos), ou les conférences d'astronomie populaire faites par Comte ou Arago.

121. Grattan-Guinness [1993] fait remonter à raison à Lazare Carnot cette « tradition anti-lagrangienne » de poser la statique comme un simple cas particulier de la dynamique. On aurait donc une filiation Carnot-(Coriolis & Poncelet)-Bélanger sur ce sujet (voir aussi p. 74-75 de la présente thèse).

Coriolis n'échappe pas à la règle : il se comporte plutôt comme Biot, en savant académique, peu intéressé à la propagation de ses résultats hors le milieu scientifique. On notera toutefois quelques exceptions pendant l'année 1833. Bien que ceci reste une part marginale de son activité, nous la jugeons liée à son activité pédagogique : Coriolis diffuse ses connaissances vers ses pairs, par exemple à la Société philomathique (qu'il intègre en 1830), comme il le fait vers ses élèves. Cela fait partie, aussi, de la reconnaissance scientifique et sociale qu'il connaît à partir de 1830.

Membre de la société philomathique de Paris

La Société philomathique de Paris, créée en 1788, retient deux statuts (associé libre et membre, le statut d'associé libre semblant accordé aux plus anciens membres), et huit sections. Coriolis est membre depuis le 24 juillet 1830 de la première section (Mathématiques, Astronomie et Géodésie), comme Binet (depuis 1812), Savary (depuis 1825) ; Duhamel, Sturm ou Liouville seront reçus après Coriolis. Parmi les membres de sa section, on compte comme associés libres Lacroix (membre depuis 1793), Poisson (depuis 1803), Ampère (depuis 1807), Arago (depuis 1808).

Dans la deuxième section, Physique générale et Mécanique appliquée, on compte comme associés libres Prony (depuis 1793), Biot (depuis 1801), Gay-Lussac (depuis 1804), Hachette (depuis 1807), et comme membres Dulong (depuis 1812), Navier (depuis 1819), Becquerel (depuis 1823), Savart (depuis 1825), Babinet (depuis 1828).

On remarquera que Coriolis figure dans la première section (mathématiques) et non dans la deuxième section (mécanique) – à la différence de Navier, pour une fois. De plus, par comparaison à ses collègues, il ne devient que tardivement membre de la Société philomathique de Paris.



Lors de la séance du samedi 20 juillet 1833 de la Société philomathique de Paris¹²², il fait une communication à propos du « Bruit du tonnerre ». De manière assez ingénieuse et peut-être inédite, Coriolis explique les différentes formes de détonation du tonnerre. On sait que Galilée, par la bouche de Salviati, s'était intéressé à la vitesse de la lumière dans l'éclair – le fait qu'on voit le parcours de l'éclair lui avait fait supposer que la lumière ne voyageait pas de manière instantanée¹²³. De la même manière Coriolis va se demander pourquoi le grondement du tonnerre se prolonge dans le temps – alors que l'éclair, qui en est la cause, est lui quasi-instantané :

Nous devons donc nous représenter l'éclair comme une série de points formant une ligne irrégulière et même anguleuse dont tous les points produisent au même instant des détonations de différentes

122. Lors d'une séance précédente de la Société philomathique en 1833, il présente une machine pour mesurer l'état d'une chaussée pavée (voir ci-après, p. 165).

123. Cette hypothèse de Galilée a été une des premières fois où l'on a supposé le caractère non instantané de la lumière.

intensités. Si tous ces points étaient à des distances de l'oreille qui ne différassent pas beaucoup relativement à la vitesse du son, l'éclair ne produirait pour l'observateur qu'une seule détonation ; mais comme les différences des distances de tous les points de ce trajet à l'observateur sont au contraire très grandes par rapport à la vitesse du son, elles se changent en différences de temps c'est à dire que les détonations produites en même temps en des points différents arrivent à l'oreille successivement.

De manière tout à fait pédagogique, Coriolis relie ainsi la forme anguleuse de l'éclair au décalage des distances entre l'observateur et les points de friction propageant l'éclair.

D'abord remarquons que toute partie du trajet de l'éclair qui restera sensiblement perpendiculaire au rayon vecteur partant de l'observateur produira une forte détonation car, tous les points de cette portion de ligne étant à la même distance de l'observateur, les ébranlements qui viendront de tous les points de ce trajet apporteront leur bruit en même temps à l'oreille et, comme les ondes sonores se superposeront, elles deviendront plus grandes et produiront sur l'oreille l'effet d'une large détonation, comme un coup de canon. Au contraire, une partie du trajet de l'éclair qui se dirigera dans le sens du rayon vecteur partant de l'observateur produira une espèce de déchirement sur l'oreille parce que les ébranlements des divers points du trajet n'arriveront que successivement à l'oreille.

Ainsi, quand l'éclair tombe verticalement (ou plus précisément de manière perpendiculaire à la ligne reliant l'observateur au trajet de l'éclair), le bruit est fort et quasi-instantané. Quand il se propage de manière oblique dans le ciel, soit que l'éclair s'éloigne soit qu'il se rapproche¹²⁴ de l'observateur, la détonation durera plus longtemps.

Coriolis ne prétend pas être le premier à donner l'explication du bruit du tonnerre ; il indique que :

Cette explication a déjà été proposée, à ce qu'il paraît, par diverses personnes ; elle est indiquée dans la physique de Robinson ; et M. Gay-Lussac en parle dans ses cours.

On peut aussi citer Monge, qui établit une théorie du tonnerre en 1794. D'un autre côté, Coriolis ne manque pas de dater son observation : le *Bulletin* précise que l'explication « lui est venue à l'idée en 1815 » (soit dix-huit ans auparavant), et qu'il en « a entretenu, dans le temps, plusieurs personnes ». Manière subtile et élégante de marquer une antériorité sur une idée.

Cet article sera jugé suffisamment innovant pour être repris l'année suivante dans l'ouvrage *Archives des Découvertes et inventions nouvelles faites dans les Sciences les Arts et les Manufactures tant en France que dans les Pays étrangers pendant l'année 1833*.

124. Coriolis ne va pas jusqu'à faire remarquer le phénomène contre-intuitif suivant : lorsque l'éclair se rapproche de l'observateur, le début de la détonation correspond aux endroits où l'éclair s'est produit postérieurement.

Auteur dans le Dictionnaire de l'industrie commerciale

Sa participation annoncée à une encyclopédie, le *Dictionnaire de l'Industrie commerciale, manufacturière et agricole*, peut être aussi vue comme allant dans le sens d'une démarche de vulgarisation. Coriolis y est annoncé en tome I (1833) comme figurant parmi les auteurs :

M. CORIOLIS, Ingénieur et Professeur adjoint à l'École des Ponts-et-Chaussées, Répétiteur à l'École polytechnique, auteur de l'excellent Traité sur le Calcul de l'effet des Machines et de divers Mémoires sur le même sujet, qui ont été approuvés par l'Académie des Sciences, donnera des articles sur la Mécanique.

On trouve peu d'articles de Coriolis dans ce dictionnaire (et d'autant plus difficilement qu'il n'y a pas de table des articles avec leurs auteurs). Il semblerait toutefois qu'à part un article (*Annuité*), Coriolis n'ait pas fait d'article, y compris sur des sujets de mécanique. Les plus importants contributeurs sur des sujets scientifiques étant D. Colladon, professeur de mécanique rationnelle à l'École centrale des Arts et Manufactures (qui donne lui aussi des articles sur la mécanique), H. Gaultier de Claubry, docteur ès-sciences, répétiteur à l'École polytechnique (qui donne de nombreux articles sur la chimie et la science en général), M. Despretz, professeur de physique au Collège royal de Henri IV et M. Sainte Preuve, professeur au Collège royal de Saint-Louis (qui tous deux donnent des articles sur la physique). Enfin on trouve un nommé Victor Bois, non mentionné dans la liste initiale des auteurs, qui fait de nombreux articles scientifiques. Même l'article « Travail dynamique (mécanique) » n'est pas rédigé par Coriolis mais par J. B. Viollet (non mentionné dans la première liste des auteurs).

Chapitre 8. Le Corps des ponts et chaussées

Comme on l'a indiqué, un des principaux éléments dans cette période de la vie de Coriolis est sa participation importante à l'activité du Corps des ponts et chaussées. Avant 1830, son activité au service du Corps est peu importante : il est dispensé de service ordinaire de 1817 à 1821, puis il s'occupe d'un arrondissement des Ponts à partir de cette date – sa seule activité dont la trace nous soit restée est sa participation au pont d'Ivry avec l'ingénieur en chef Emmerly, jusqu'à son inauguration en 1829.

En revanche, à partir de 1830, les activités de Coriolis seront multiples au sein du Corps, mais cette fois-ci à un niveau supérieur, celui du Conseil Général des Ponts et Chaussées, et non au niveau du service ordinaire. Il va, de 1830 à 1838, développer les activités suivantes :

- enseignement à l'École des ponts et chaussées et participation à la commission de réforme de l'École.
- participation à la commission de création des *Annales des ponts et chaussées*
- participation à la commission du roulage, pendant le 2nd semestre 1832.

Il est difficile de savoir pourquoi Coriolis, assez subitement, en vient à avoir de multiples activités au sein du Corps. On peut y voir la conjonction de plusieurs événements. Sur le plan personnel, Coriolis est un homme arrivé à maturité (même si la maturation a été lente), et à une certaine reconnaissance sociale. Sur le plan professionnel, la parution du *Calcul* qui l'a signalé au monde scientifique, son intérim du cours de Cauchy qui fait mieux connaître sa compétence en analyse, son enseignement à l'École centrale qui peut surprendre voire irriter les autorités du Corps sont autant de raisons qui peuvent être invoquées. Sans oublier les événements politiques, et le besoin d'hommes neufs qu'avait le nouveau régime orléaniste : ainsi Coriolis, peu enclin à se mettre sur le devant de la scène, ni à mélanger politique et science, se trouve-t-il à apparaître comme un *homme neuf*, aussi bien en 1816 qu'en 1830. Et ce besoin d'hommes neufs concernait tout particulièrement le corps des Ponts en 1830 : presque menacé dans son existence, le Corps avait besoin de redorer son blason¹²⁵ suite aux sévères remises en cause qu'il subissait de la part du pouvoir et de l'opinion publique depuis 1825.

LA COMMISSION DU ROULAGE

Une des activités importantes de Coriolis au corps des Ponts et Chaussées pendant cette période faste, où il bénéficie d'une reconnaissance certaine – notamment au sein de

125. Comme le rappelle brillamment N. Montel, la création des *Annales des Ponts* est un des éléments de la stratégie corporatiste visant à mieux faire connaître l'activité du Corps.

la direction générale des Ponts et chaussées – va être sa participation à la commission du roulage. Cette commission est nommée le 31 juillet 1832 par l'administration des Ponts et chaussées afin de préparer la présentation et la discussion de la loi sur le roulage ; elle remet son rapport le 1^{er} décembre de la même année. Parallèlement, pendant le même semestre, Coriolis va produire son premier article scientifique sur le sujet – d'ailleurs premier article en relation directe avec son titre d'ingénieur des Ponts : à quarante ans, la reconnaissance advenue, Coriolis s'intéressait enfin aux activités du Corps, tout en restant sur un strict plan scientifique – son centre d'intérêt.

Il convient d'ailleurs de remarquer que, si Coriolis s'intéresse au roulage, c'est certes d'un point de vue scientifique, mais aussi parce que c'est une application directe de la théorie du travail qu'il élabore. Il s'agit, à chargement et temps de transport donnés, de diminuer le travail des chevaux, et par là même de contribuer à la conservation des routes. C'est pourquoi nous pensons que l'implication de Coriolis dans le roulage ne constitue pas un nouvel axe de recherche pour lui – encore moins un travail à caractère administratif –, mais procède directement de son intérêt à la notion de travail et à sa conception de la théorie du travail, en en constituant un domaine d'application.

Il est cependant un élément nouveau que nous pensons avoir décelé à travers l'implication de Coriolis dans le roulage : à la différence de ses écrits antérieurs qui sont en partie des travaux de recherche personnelle, ses écrits sur le roulage correspondent plus au collationnement d'un savoir en formation, principalement hors de France. Coriolis va faire connaître les travaux scientifiques de théoriciens du roulage (l'autrichien Gerstner¹²⁶, l'anglais Rumford) et ouvrir la discussion dans un article des *Annales des ponts* de 1832. Il ne semble pas qu'il y ait de véritable théoricien du roulage en France à ce moment-là : tout au plus peut-on citer Navier (et, à nouveau sur ce sujet, les destins des deux ingénieurs des Ponts se conjuguent), ou Pierre-Simon Girard (1765-1835), ingénieur des Ponts d'une autre génération, qui se situe plus dans la lignée des travaux expérimentaux de Coulomb. Plus qu'une contribution originale sur le sujet, c'est un état de la théorie auquel se livre Coriolis en 1832.

C'est donc bien une nouvelle orientation de Coriolis que de participer à la diffusion de résultats de recherche tiers – à noter qu'elle est complémentaire et ne vient pas se substituer à son activité de recherche propre (c'est pendant la même période, entre 1831 et 1835, que Coriolis travaille sur les mouvements composés et sur le jeu de billard). Cette nouvelle orientation est aussi, sans aucun doute, induite par le contexte rappelé ci-dessus : arrivée à maturation du personnage, plus grande exposition publique, participation à des commissions (finalement, dans une commission telle que celle du roulage, on ne fait pas de la science à proprement parler...) – Coriolis se prépare, plus ou moins consciemment, à devenir académicien. Elle est aussi induite par des éléments exogènes : c'était justement

126. Franz-Joseph, ritter von Gerstner (1796-1840). Son ouvrage de 1816 avait été traduit (par le mathématicien Olry Terquem) et introduit en 1827 par P.S. Girard, sous le titre *Mémoire sur les grandes routes, les chemins de fer et les canaux de navigation* (Bachelier).

l'objectif des Annales des ponts que de mieux faire connaître l'état de l'art dans ce qui a trait aux missions du Corps.



Nous examinerons successivement le contexte de la police du roulage en 1830, les apports théoriques de Coriolis, puis les controverses qui se développent entre « ingénieurs-savants » sur les rapports entre théorie et pratique du point de vue du roulage. Coriolis sera actif sur ce sujet de 1832 (date de sa nomination à la Commission) à 1838 – il rapporte à l'Académie des expériences de roulage de Morin ; après 1838 Coriolis n'aura que très peu de travaux scientifiques à son actif.

Le contexte de la police du roulage au début des années 1830

Nous suivrons ici l'intéressant ouvrage didactique que fait paraître quelques années plus tard, en 1835, un an avant sa mort, Claude Navier, rapporteur de la commission. Il correspond au rapport manuscrit¹²⁷ fait en 1830 pour la commission. Cet écrit, bien construit, comporte une comparaison avec la police du roulage en Grande-Bretagne, qui semble inspirer Navier sinon la commission.

Comme les Anglais l'avaient fait en 1823 pour suivre le développement du commerce, de l'industrie et du transport de biens et de personnes, la direction générale des Ponts avait préparé en 1829 un projet de loi modifiant la police du roulage inchangée depuis 1806. Déjà à l'époque, les enjeux étaient opposés suivant les parties : comme le signale Navier, d'un côté la plupart des citoyens déploraient l'usure des routes due au passage des messageries et souhaitaient un renforcement de la réglementation, de l'autre côté les entreprises de messagerie¹²⁸ se satisfaisaient fort bien que même la réglementation souple de 1806 ne fût pas contrôlée.

Passés les événements politiques de 1830, la loi avait été à nouveau présentée, et bénéficiait d'un rapport favorable produit début 1831 par le baron Charles Dupin, polytechnicien, député du X^e arrondissement de Paris. Le Gouvernement, face aux intérêts en jeu, avait néanmoins temporisé, et nommé cette commission le 31 juillet 1832, composée comme suit :

- TARBÉ, Inspecteur général des ponts et chaussées, président de la commission.
- DUTENS, Inspecteur général des ponts et chaussées, vice-président de la commission.
- BÉRIGNY, Inspecteur général des ponts et chaussées, membre de la Chambre des députés¹²⁹.
- DEVILLIERS, LE TELLIER, Inspecteurs divisionnaires des ponts et chaussées.

127. Navier [1835] ; aussi A.N. F14-1964, manuscrit de 1830.

128. Jusqu'à la Révolution, l'État assurait le monopole des transports de voyageurs, soit directement, soit par l'intermédiaire d'un fermier. C'est en 1798 que « les messageries sont abandonnées à l'industrie des citoyens ».

129. Charles Bérigny (1772-1842), X1794, membre du corps des Ponts, natif de Fécamp, était député de Seine-Inférieure (Dieppe) depuis décembre 1828. C'était avant la loi interdisant les fonctions parlementaires aux fonctionnaires.

- JOLLOIS, NAVIER, CORIOLIS, Ingénieurs en chef des ponts et chaussées.
- RAUCOURT, ingénieur ordinaire des ponts et chaussées, secrétaire de la commission.

Navier avait été élu rapporteur de la commission par cette dernière¹³⁰. Les questions posées à la commission étaient les suivantes :

1°) si l'on doit vérifier les chargements par le nombre de chevaux attelés ou par le pesage des voitures ?

2°) dans le cas où la préférence serait donnée au pesage, quel serait le tarif provisoire qu'il conviendrait de substituer au tarif actuel ?

Coriolis, un des premiers théoriciens français du roulage des voitures

Il apparaît que les savants et ingénieurs français avaient peu écrit sur le sujet entre 1806 (date de la précédente loi sur le roulage) et 1830 (date du projet de modification de cette loi). Les premiers travaux apparaissent avec les *Annales des ponts et chaussées* : un article de Navier en 1831 (« Considérations sur les travaux d'entretien des routes en Angleterre, procédés de M. Mac Adam », *A.P.C.* 2^o semestre 1831), et un article de Coriolis en 1832 (« Des Circonstances qui influent sur le tirage des chevaux et sur la conservation des routes dans le mouvement des voitures », *A.P.C.* 2^o semestre 1832, septembre). Mais, alors que les écrits de Navier sont plus des considérations générales que des articles scientifiques, celui de Coriolis en 1832 est un article scientifique, comprenant diverses formules. À titre d'exemple, le premier article de Navier en 1831 dans les *Annales des Ponts et Chaussées*¹³¹ est consacré à l'état des routes en Angleterre, avec des considérations générales comme des données quantitatives sur la convexité de la route,

Le profil de la route est une courbe convexe, aplatie vers le milieu. Un excédent de hauteur de 3 pouces (0m,076), du milieu sur les côtés, suffit pour une route de 18 pieds (5m49) de largeur.

ou encore des recettes pratiques en vigueur en Angleterre :

Les soins que prennent les ingénieurs anglais pour obtenir de la pierre parfaitement pure ne sauraient trop être remarqués. Non seulement les cailloux sont passés au tamis, mais souvent on les lave à grande eau pour détacher la terre qui peut y adhérer, ou bien on les agite en les faisant frotter les uns contre les autres. Ce dernier procédé paraît être préféré par M. Mac Adam.

C'est en tout cas un article sans formule mathématique. Il est d'ailleurs intéressant de voir comment Navier semble comparer une conception très théorique et réglementaire en

130. Dans une note sur Dupuit par François Ethen dans une revue économique en 1983, l'auteur note à propos de la commission du roulage que « Louis Navier, savant honoré, mais ingénieur contesté, en a la responsabilité ». Mise à part l'incertitude sur le prénom (révélatrice du fait que Navier reste encore maintenant un personnage peu connu et peu étudié), Navier apparaît à certains commentateurs comme le responsable de cette commission – le rapporteur éclipsant le président, comme cela peut arriver.

131. Navier nous précise que « cet écrit a été rédigé, et présenté à M. le Directeur général des ponts et chaussées et des mines, en 1822 ».

France à une conception assez pragmatique en Angleterre, sous l'impulsion du fameux ingénieur John Loudon McAdam (1756-1836) :

Un des principaux objets sur lesquels le comité de 1819 s'est attaché à recueillir les opinions, est l'influence des règlements établis sur la largeur des jantes et le poids des voitures. M. Mac Adam paraît attacher assez peu d'importance à ces règlements, persuadé qu'une route bien faite est inattaquable.

L'article de Coriolis de 1832 est, lui, plus technique et mathématique que celui de Navier. Nous émettons l'hypothèse que Coriolis est le premier, en France, à travailler sur la théorie du frottement de roulage, et que ceci se fait sous une double conjonction.

D'abord, Coriolis y voit très clairement un domaine adapté à sa compétence de théoricien de la mécanique appliquée. De la même manière qu'il avait appliqué sa « théorie du travail » à la recherche de roues hydrauliques à meilleur rendement, il voit dans le roulage un nouveau cas d'application concret de cette théorie – comment diminuer, à charge donnée, le travail des voitures ? C'était d'une certaine manière, comme pour les roues à aubes, un problème de rendement.

Ensuite, ce sujet lui permet de s'investir et de trouver légitimité au sein du corps des Ponts dont il se rapproche à partir de 1830, et par lequel il est sollicité suite à la parution de son ouvrage, et de son enseignement à Centrale.



Examinons, pour renforcer cette hypothèse, les écrits des autres auteurs connus sur le sujet du roulage. Jules Dupuit n'est pas encore, en 1832, intervenu sur le sujet du roulage. La controverse que Dupuit aura avec Morin, où Coriolis prendra parti – nous y reviendrons – débute avec son écrit de 1837. Quant à Morin, il publie en effet un ouvrage en 1832 (Morin [1832]) ; mais cet ouvrage traite du frottement de toutes matières les unes sur les autres (chêne, orme, cuir, métaux,...), dans la tradition de Coulomb et de Girard – il ne traite qu'incidemment du frottement de roulage des voitures. Par ailleurs, comme souvent chez Morin, il ne comporte pas de formule théorique, mais simplement des appréciations tirées de l'expérience.

Ainsi, le sujet du roulage semble traité en 1832 principalement par les deux théoriciens Navier et Coriolis (tous deux membres de la commission du roulage), le premier se plaçant plutôt sur un terrain économique, juridique et de comparaison internationale, le second plutôt sur un terrain scientifique et technique.

L'article de 1832 de Coriolis

Cet axe de travail est relativement nouveau chez Coriolis. Dans le *Calcul* de 1829, il s'intéresse au frottement – de manière théorique (§ 51, 71, 78) –, mais pas à son application au tirage des voitures. Tout au plus trouve-t-on mention de quelques

expériences qu'il fait à propos des pertes de travail dues au frottement dans le tirage des voitures :

En essayant ainsi d'observer les ébranlements transmis au même sol, lorsque différentes voitures roulent sur la pavé, je les ai trouvés assez bien d'accord avec le travail des chevaux, lequel est employé, on peut dire en totalité, à produire ces ébranlements. Ainsi, la voiture où le travail était le plus fort produisait à la même distance des ébranlements plus sensibles à l'œil.

Mais il relativisait immédiatement la portée de telles expériences qui ne lui paraissaient pas suffisamment précises pour satisfaire sa rigueur d'élaboration d'une théorie sur le sujet :

Bien que de semblables observations puissent être parfois de quelque utilité, il ne faut cependant pas accorder trop de confiance à ce moyen d'apprécier des pertes de travail.

Compte tenu du caractère embryonnaire des mentions du tirage des voitures dans son œuvre maîtresse de 1829, on est étonné de lire au début de son article de 1832 – le premier des trois articles qu'il fera pour les *Annales des ponts et chaussées* :

La note que nous présentons ici avait été rédigée il y a plusieurs années.

Coriolis commence par désigner $\int Fds$ comme étant le travail, notion qu'il avait mise en évidence six ans plus tôt ; il précise toutefois prudemment que d'autres auteurs baptisent cela « la quantité d'action ». Il explique que, sur un chemin plan (où il n'y a pas travail de la gravité), le travail moteur du cheval est égal au travail de réaction sur les roues, qui lui-même se compose du travail de la roue sur le terrain et du frottement dans les essieux. En diminuant le travail de réaction sur les roues, « on diminue le travail des chevaux et en même temps on contribue à la conservation des routes ». Coriolis manipule en permanence dans son sujet les notions de travail, travail moteur, travail résistant, principe de transmission du travail : c'est bien l'application de ces notions qui l'intéresse dans la théorie du roulage.

Concernant le travail de la roue sur le terrain, il précise que « la roue comprime le sol et emploie à cette compression un travail qui ne lui est pas restitué ». Le sol – pas parfaitement élastique – ne peut rendre à la roue qui le comprime le travail qu'il a reçu. On ne peut faire l'hypothèse de l'élasticité parfaite du contact entre roue et sol, pour de nombreuses raisons que précise Coriolis :

- La déformation du sol peut dépasser la limite d'élasticité.
- La roue ne tourne pas assez lentement « pour qu'elle n'eût pas quitté le point du sol qu'elle a déprimé avant que celui-ci ne fût revenu à sa position initiale ». Cette remarque est assez subtile : les mouvements du sol même élastiques ne sont pas instantanés : il y a eu roulage de la roue et tirage des chevaux avant que le sol élastique revienne à sa position initiale.
- Les ébranlements du sol ne sont pas réfléchis par un obstacle à résistance infinie, mais au contraire sont diffusés alentour, et sur une distance assez grande. On

retrouve ici Coriolis évaluant à distance les effets des chocs et frottements, l'onde provoquée à distance par le choc d'un filet d'eau contre l'aube d'une roue, ou l'ébranlement à distance provoqué par le passage d'une voiture sur le pavé (*Calcul* §71, cf. citation ci-dessus).

Par ailleurs, il se livre à une véritable théorie des amortisseurs :

L'emploi des ressorts est d'autant plus utile qu'ils sont moins raides, c'est à dire qu'ils se compriment davantage pour un accroissement de force déterminé

car

le travail perdu pour écraser le terrain, à chaque oscillation de la voiture, sera d'autant moins considérable que les ressorts seront moins raides et que le sol le sera davantage (...) Ces ressorts n'ont d'autre effet que de diminuer le travail transmis au terrain, et, par suite, de diminuer ainsi le travail des chevaux.

Coriolis livre enfin trois formules importantes sans démonstration, ce qui est rare chez lui : soit ces formules émanent d'une littérature tierce¹³², soit il a fait (ou refait) les calculs, mais leur publication n'entre pas dans la ligne éditoriale des *Annales*. Ces formules portent sur « le travail employé à comprimer le terrain » - donc le travail perdu -, dans différents cas (dans les trois cas, P mesure la pression donc le chargement de la voiture, et r un coefficient spécifique au sol, mesurant la raideur de la résistance à l'enfoncement du sol par unité de surface) :

- Formule 1 : cas d'une roue à jantes annulaires (R rayon de la roue, r rayon de la

$$\text{jante) : } \frac{P^{3/2}}{\rho^{1/2} \times R^{3/4} \times r^{1/4}}$$

- Formule 2 : cas d'une roue à jantes plates (L largeur de la jante) : $\frac{P^{4/3}}{\rho^{1/3} \times R^{2/3} \times L^{1/2}}$

- Formule 3 : cas d'une route pavée (à la différence des routes gravillonnaires, empierrées ou terreuses, considérées dans les deux premiers cas) (l longueur du pavé mesurée dans le sens de la route, l largeur du pavé) : $\frac{P^2}{\rho \times l \times l^2}$

Coriolis montre aussi, de manière assez évidente, qu'il existe un minimum de perte de travail par unité de poids transporté (charge idéale).

132. On peut, nous semble-t-il retrouver trace de la formule 2 ci-dessus dans le mémoire de Gerstner traduit par Girard [1827], p.50, où apparaît une formule avec le poids P à la puissance $4/3$, le diamètre de la roue à la puissance $2/3$, W (« la résistance qu'oppose le terrain », Gerstner p.17) à la puissance $1/3$. Ce mémoire a sans doute largement inspiré Coriolis en 1832. Il jugera toutefois, dans son rapport du 31 décembre 1838 à l'Académie sur un mémoire de Morin, l'ouvrage de Gerstner comme trop éloigné de la réalité.

La machine de Coriolis pour mesurer l'état d'une chaussée pavée

Coriolis est très actif sur le sujet du roulage en 1832 : il fait en fin d'année, devant la Société philomathique de Paris – dont il est membre depuis 1830 – la présentation d'une machine de sa fabrication, visant à mesurer l'état d'une chaussée pavée. Le compte-rendu, paru dans le *Bulletin des Sciences*, résume, assez fidèlement peut-on penser, l'intervention de Coriolis¹³³.

Il s'intéresse aux chaussées pavées, qui bien que plus modernes restent à l'époque minoritaires par rapport aux routes gravillonnaires. Il commence par des considérations économiques sur les marchés d'entretien des pavages donnés aux entreprises :

M. Coriolis propose de payer les pavés neufs suivant le nombre qui est fourni, et de ne pas les comprendre dans le forfait, qui ne s'appliquerait qu'à la main d'œuvre et au sable nécessaire à tout le pavage que l'entrepreneur doit exécuter pour entretenir les routes dans un état déterminé.

Comme le souligne Coriolis, l'entrepreneur aura tendance, quand les pavés sont compris dans le forfait (c'est-à-dire qu'il les a à sa charge), à minimiser le nombre de pavés à remplacer. Coriolis ne donne pas de solution alternative : si les pavés étaient hors forfait mais fournis par l'entrepreneur, c'est l'inverse qui se produirait, à savoir une tendance à remplacer trop de pavés – l'entrepreneur ayant sans doute une marge sur la fourniture des pavés. La solution qui paraît idéale serait que les pavés soient fournis par l'Administration, mais elle n'est pas mentionnée.

En tout état de cause, que les pavés soient inclus ou non dans le marché à forfait, il est nécessaire à l'Administration de vérifier la qualité du service rendu par l'entrepreneur :

C'est pour constater cet état qu'il propose l'emploi de sa machine. Elle permettrait de ne payer l'entrepreneur qu'en raison du degré de perfection de l'état du pavage.

La machine elle-même apparaît de confection assez simple et est bien décrite dans le compte-rendu. Il s'agit d'une machine à pousser à la main, avec deux trains de roues : une roue à l'avant, deux roues à l'arrière pour assurer sa stabilité, comme un tricycle. L'originalité est la présence d'une quatrième roue entre les deux trains : cette roue colle au pavé mais est « lâche », elle est reliée à l'armature par un levier articulé qui se déplie plus ou moins, et transmet l'indication de sa position à un compteur, de sorte que

cette quatrième roue, en faisant osciller le levier qui la tient, peut descendre ou monter en suivant les aspérités du pavé. L'amplitude de ces mouvements et leur nombre dépend des inégalités que présente le pavé.

133. Bien que ce ne soit pas un écrit de Coriolis *stricto sensu*, nous l'avons inclus dans la liste de ses œuvres, car cette machine est une de ses œuvres et la relation qui est faite par le *Bulletin des Sciences* est rédigée comme un compte-rendu de l'intervention de Coriolis.

Dans les indications de mesure, cette machine paraît toutefois de conception un peu compliquée. En sus de l'odomètre nécessaire pour mesurer la distance parcourue (il est relié au train arrière), Coriolis conçoit quatre cadrans de mesure différents : les trois premiers indiquent le nombre de fois où la roue du milieu s'est enfoncée de plus de 3, 4 ou 5 centimètres sous le niveau des roues du tricycle (trois mesures pour 3, 4 et 5 centimètres) ; le quatrième cumule les enfoncements totaux au cours du parcours, quelle que soit leur valeur. Le rapport entre l'indication de la quatrième roue et l'indication de l'odomètre donne une mesure quantitative de l'état de la chaussée :

M. Coriolis annonce qu'ayant fait parcourir à son chariot environ 30 lieues de route pavée, il a pu reconnaître que sa machine marchait bien (...). Il a remarqué que, sur une route pavée, la somme des oscillations de la roue du centre est entre 3 et 4 m. par cent mètres parcourus.

On ignore quelle a été la destinée de cette machine, mais il est intéressant de voir, à travers cet exemple de communication à la Société philomathique, que Coriolis s'intéresse à certains aspects concrets du roulage.

Les controverses Dupuit-Morin sur le roulage (1838)

Entre fin 1832 et 1838, il ne semble pas que Coriolis intervienne à nouveau sur le roulage. Le sujet n'est plus à la mode. La commission a remis son rapport fin 1832 – ce travail n'est pas exploité immédiatement par l'Administration. Coriolis passe à autre chose. Même s'il avait été un des premiers à défricher la théorie du roulage, il n'était pas là dans sa spécialité ; surtout il se rendait compte, sans doute, que le sujet était éloigné de la mécanique rationnelle, et qu'il était fort difficile d'élaborer des théories autres qu'empiriques, c'est-à-dire sur la base de mesures de terrain.

Silencieux sur le sujet de 1832 à 1838 – on verra que ces années seront occupées à d'autres sujets scientifiques – Coriolis est amené à s'y pencher à nouveau en 1838 dans le cadre d'un rapport à l'Académie des sciences sur un ouvrage d'Arthur Morin¹³⁴. Mais ce n'est plus une contribution scientifique comme l'article de 1832, c'est un rapport à l'Académie – par ailleurs Coriolis vient d'être nommé trois mois précédemment à la direction des études de Polytechnique, il commence à avoir d'autres sujets de préoccupation.



Ce rapport didactique commence par un exposé de l'état de l'art sur le sujet du roulage dans les quarante années précédentes :

Les premiers essais que nous connaissons sur le tirage des voitures sont dus à Edgeworth qui publia en 1797 quelques expériences sur l'influence du diamètre des roues sur l'effort du tirage pour faire passer une voiture sur un obstacle. Il signale comme une erreur la préférence que donnent

134. Ouvrage examiné en séance du 31 décembre 1839, Arago, Poncelet, Coriolis rapporteur.

aux petites roues certains constructeurs. Mais en entrant ainsi dans une idée juste il n'en avait pas saisi toute la portée puisqu'il place le principal avantage des grandes roues dans la diminution d'influence qu'elles donnent au frottement des essieux.

Rumford a publié en 1811 des expériences qui montrent l'influence de la largeur des bandes et de la vitesse sur la force de tirage qu'exigent les voitures. Les observations quoique ne pouvant avoir une grande précision à cause du dynamomètre dont il s'est servi se trouvent néanmoins d'accord avec celles de M. Morin pour établir une proportionnalité entre la traction et la vitesse.

M. de Gerstner professeur à l'Institut des états de Bohême a donné en 1813 dans un ouvrage sur les routes des considérations théoriques sur le tirage des voitures. Mais elles sont trop éloignées de la réalité pour avoir conduit l'auteur à de bons résultats, aussi les lois qu'il présente diffèrent-elles de celles qui fournissent les expériences de M Morin.

M. Navier dans un écrit publié en 1835 sur la police du roulage a présenté les considérations théoriques qui le portaient à n'admettre pour les messageries qu'un chargement plus faible que pour le roulage. Il estime que les dégradations des chaussées croissent comme le carré de la vitesse des véhicules. En ayant égard d'une autre part à l'avantage des ressorts, il avait pensé que les dégradations produites sur les routes par les messageries devaient être à poids égal une fois et demie ou une fois trois quarts celles qu'occasionnent les voitures de roulage au pas sans ressorts. Les expériences de M Morin ont démontré l'inexactitude de cette estimation.

L'ingénieur anglais Mac Neil qui s'est occupé des mêmes questions est tombé dans la même erreur puisqu'il propose aussi d'accorder aux fourgons non suspendus allant au trot des chargements plus forts que ceux des diligences. Un ingénieur français M Dupuit a publié en 1837 un travail étendu sur la même question Il est le premier qui ait mis en évidence par une série d'expériences l'influence du diamètre des roues sur le tirage mais, comme il n'a pu employer que les dynamomètres ordinaires¹³⁵, la loi qu'il donne et qui rendrait ce tirage en raison inverse de la racine carrée du diamètre des roues ne nous paraît pas devoir être préférée à celle qui résulte des expériences de M. Morin, c'est à dire à la simple raison inverse du diamètre loi que Coulomb avait déjà donnée pour le roulement des cylindres de bois.

Le peu d'accord entre les observateurs qui ont précédé M Morin faisait désirer un travail plus exact et plus complet.

Deux choses sont à noter dans l'introduction historique de ce rapport. D'abord, Coriolis ne cite pas ses propres travaux de 1832 ; peut-être considérait-il qu'un simple article, sans démonstration des formules, ne méritait pas d'être cité ; peut-être aussi sa modestie naturelle l'empêchait de se citer lui-même – mais cette modestie-là cache souvent un certain orgueil consistant à ne pas mêler son nom à cette succession de travaux peu conclusifs. Un second point étonnant est la façon dont Coriolis critique Navier, à peine deux ans après sa mort : le rapport n'aurait pas été écrit ainsi si Navier avait été encore académicien (et co-rapporteur sans doute avec Coriolis, ou seul rapporteur comme il

135. Coriolis reprend l'argumentation de Morin sur la qualité médiocre des dynamomètres utilisés par Dupuit. Mais encore une fois, pouvait-il critiquer les appareils de Morin, qui avait obtenu l'année précédente, en 1837, un prix de l'Académie pour ses appareils de chronométrie et de dynamométrie (source Tabor [1961]) ?

l'avait été en 1832 du premier ouvrage de Morin – Coriolis n'était pas encore académicien).

Mais le fait le plus marquant dans ce rapport est que, comme Chatzis l'a noté¹³⁶, Coriolis prend partie pour Morin et contre Dupuit : Morin pensait à la suite de Coulomb que le frottement était en raison inverse du rayon des roues, et Dupuit en raison inverse de la racine carrée du rayon.



En effet, avec son ouvrage de 1837, le jeune ingénieur des Ponts Dupuit (1804-1866, X1822), alors âgé de 33 ans, en service dans la Sarthe, avait « mis les pieds dans le plat » et été fort irrévérencieux avec ses anciens, à commencer par Coriolis. Dupuit cite nommément Gerstner, Coriolis, Tredgold, et indique en note de bas de page à propos de ces trois auteurs :

N'est-il pas extraordinaire qu'à l'aide de tous ces tâtonnements, la théorie n'ait rencontré la vérité sur aucun point ? pas plus pour la pression, que pour le diamètre, que pour la largeur de la bande. Pour la pression, elle lui attribue une augmentation de tirage telle que si elle était vraie, la tendance du roulage à augmenter ses chargements serait inexplicable. Pour le diamètre, elle exagère sur l'empierrement sa puissance pour diminuer le tirage, et lui en refuse une quelconque sur le pavé. Enfin l'expérience fait connaître que le tirage est indépendant de la largeur de la bande sur l'empierrement et que cette dimension de la roue a au contraire une influence très marquée sur le pavé, et c'est précisément le contraire qu'indique la théorie.

Dupuit va poursuivre son attaque en règle des hypothèses de Coriolis, les prenant une par une. À propos du diamètre des roues, il se réfère aux trois formules ci-dessus de Coriolis : pour les formules (1) et (2), sur empierrement (route gravillonnaire), Coriolis attribue les coefficients $2/3$ ou $3/4$ au rayon – alors que Dupuit lui attribue une influence plus petite, $1/2$; pour la formule (2), sur pavage, le rayon de la roue n'intervient pas pour Coriolis, ce qui fait souligner à Dupuit ce contraste entre influence du rayon sur route empierrée et sur route pavée.

Coriolis, dans son rapport de l'année suivante, campera sur ses positions (et sa formule (2) notamment) en indiquant :

On peut remarquer que par des considérations théoriques basées sur l'hypothèse que le sol de la route résiste en chaque point en raison directe de l'enfoncement, on trouve que le tirage est proportionnel à la puissance $4/3$ du chargement et en raison inverse de la puissance $2/3$ du diamètre des roues. Ces exposants diffèrent assez peu de l'unité qu'on doit leur substituer d'après les expériences de M. Morin, pour ne pas donner de présomptions défavorables aux résultats de ses observations.

136. Notes distribuées lors de son intervention au séminaire B. Belhoste Paris I- centre Malher, année 2008-2009.

Cet exposant de $2/3$ est pourtant plus proche de l'exposant $1/2$ de Dupuit que de l'exposant 1 de Morin auquel Coriolis se rallie...

À propos de la largeur de jante, là aussi Dupuit s'attaque aux trois formules de Coriolis : pour les formules (1) et (2), sur empierrement, la largeur de la bande L (ou r dans la formule (1)) intervient, avec un exposant $1/4$ ou $1/2$ - alors que selon Dupuit l'expérience montre que la largeur de jante L n'a pas d'influence sur chaussée empierrée ; pour la formule (3), sur pavé, L n'apparaît pas - alors que, selon Dupuit, l'expérience montre que L a une influence sur chaussée pavée.



Finalement, l'apport de Coriolis dans le domaine du roulage reste à notre sens limité. Sa participation à la Commission de 1832 lui donne une reconnaissance, vis-à-vis du Corps comme des pouvoirs publics, reconnaissance qu'il apprécie certainement. Il s'y intéresse en tant que théoricien de la mécanique appliquée, et nous avons émis l'idée qu'il est le premier en France à essayer de donner des formules théoriques sur le sujet. Mais c'est un sujet où la théorie est difficile à élaborer - nous sommes loin de la mécanique rationnelle des simples points matériels, et même celle des corps solides comme les machines. Coriolis disposait lui-même de peu de données d'expérience, et ce sont rapidement les expérimentateurs Morin et surtout Dupuit, en service des Ponts, qui vont s'emparer du sujet. Coriolis fait sans doute une bévue en se ralliant à Morin, polytechnicien de sa génération (1795-1880, X1813) - tandis que Dupuit était plus jeune, savant non confirmé, tel un chien dans le jeu de quilles de l'*establishment scientifique*. Mais aussi, en tant que rapporteur pour l'Académie d'un ouvrage de Morin, avait-il réellement le choix de ne pas aller dans le sens de Morin ? D'autant que, comme le rappelle Morin lui-même¹³⁷, Coriolis assiste parfois aux expériences de Morin. Coriolis n'était peut-être plus, aussi, en prise directe sur le sujet depuis 1832, s'étant occupé de tout autre chose.

En tout état de cause, le Corps, à l'inverse de l'Académie et de Coriolis, s'alignera rapidement sur la position de Dupuit : d'après Etner, dès 1839, c'est-à-dire l'année suivant le rapport de Coriolis, le directeur des Ponts, Emmery, réunit une commission « qui approuve les analyses de Dupuit ».

LA COMMISSION D'ORGANISATION DE L'ÉCOLE DES PONTS ET CHAUSSÉES

En octobre 1830, Coriolis est nommé dans la commission d'organisation de l'École des ponts et chaussées, chargée par le nouveau directeur général de proposer une réforme de l'école. C'est le début de la monarchie de Juillet, à peine plus d'un mois après les Trois

137. P. ex. Morin, « Note sur la résistance au roulement des corps les uns sur les autres... », CRAS, 1841 (t.13), p.1022.

Glorieuses, et l'époque est au réformisme, sous l'impulsion du nouveau directeur général des Ponts et chaussées et des mines Simon Bérard (1783-1859). Industriel, député de Seine-et-Oise ayant joué un rôle important dans le dépôt de Charles X et l'accession de Louis-Philippe au trône, le nouveau directeur est auréolé d'un certain prestige, et manifeste une forte volonté réformatrice, après treize ans de directorat d'un Louis Becquey vieillissant (il quitte son poste en 1830 à l'âge de soixante-dix ans).

École des Ponts et Chaussées .

*Commission instituée par Décision
de Monsieur le Directeur Général des Ponts
et Chaussées et des Mines, en date du 10 Octobre
1830, pour proposer un Projet d'Organisation de
l'École des Ponts et Chaussées.*

*Membres de la Commission
Messieurs*

*Baron de Prony, Président,
Bérigny
Jousselin
Girard
Sauvilliers
Gallon
Navier
Duleau
Coriolis
Bonmar
Minard*

Les pérégrinations de cette commission et le relatif échec de cette volonté de réforme ont été assez largement décrits (Picon, Montel,...). On sait notamment que Prony, le directeur de l'École, alors âgé de soixante-quinze ans, était "vent debout" contre ce courant de réforme – il faudra d'ailleurs attendre son décès en 1839 pour que l'Inspecteur de l'École, de Fontaine, transmette au ministre de l'époque, Dufaure, une proposition relative à l'École des ponts, reprenant en partie, et neuf ans plus tard, les recommandations de la commission. Aussi, nous intéresserons-nous principalement au rôle de Coriolis dans cette commission, en regard du rôle de Navier également, puisque c'est à ce moment-là que Coriolis prend la fonction de professeur adjoint à Navier à

l'École des ponts, poste qu'il conservera de 1831 à 1836 avant d'être professeur lui-même de 1837 à 1838.

La composition de la commission

Elle mérite qu'on s'y attarde, car elle souligne en creux l'incongruité de la présence de Coriolis. En effet, on peut se demander pourquoi il y est nommé – car la composition de la commission apparaît comme très traditionnelle¹³⁸, on y relève :

- Le directeur de l'École, Prony.
- Un ancien inspecteur des études à l'École (de 1815 à 1821), Bérigny, qui deviendra vice-président du Conseil général des ponts et chaussées (déjà membre avec Coriolis de la commission du roulage, *cf.* p. 160)
- L'inspecteur des études en place depuis 1828, Vauvilliers ; ainsi que celui qui le remplacera peu après, Minard, en novembre 1830.
- Les trois professeurs titulaires : Vallot, professeur d'architecture (professeur de construction de 1811 à 1820, professeur adjoint d'architecture de 1820 à 1823, professeur d'architecture depuis 1823 – il y restera jusqu'en 1847) ; Duleau, professeur de construction (professeur adjoint de construction de 1822 à 1828, et professeur de 1828 à 1832) ; enfin Navier, qui venait de remplacer Eisenmann qu'il suppléait depuis 1819.

La commission se compose donc de responsables en place ou l'ayant été à date récente. Sans doute l'influence de Prony avait déjà commencé à contrer, dans la composition de la commission, la volonté de réforme de Bérard. On sait que Bérard, en conflit avec ses ministres, doté d'une forte personnalité, ne restera que deux ans en poste : comme le dit joliment Nathalie Montel, le temps était compté aux hommes de la réforme. Mis à part la nomination d'un nouvel inspecteur des études (Minard en remplacement de Vauvilliers), et d'un professeur de mécanique adjoint (Coriolis), les résultats de cette commission furent maigres. Picon a largement analysé les différents rapports des membres de la commission : Navier et Coriolis proposeront de profondes modifications – alors que Minard sera beaucoup plus conservateur.



Dans ce contexte, il n'est pas facile de comprendre la présence de Coriolis dans cette commission. Nous avancerons les diverses pistes suivantes :

- Il s'était fait connaître un an auparavant, à l'âge déjà avancé de trente-sept ans, comme un spécialiste des machines ; le Corps comme l'École avaient sans doute la volonté de mieux utiliser ses compétences jusqu'alors peu connues. Par ailleurs, Coriolis était un des rares ingénieurs du Corps qui enseignait à Polytechnique, et à ce titre son expérience était précieuse aux yeux des réformateurs de l'École des ponts.

138. L'ensemble des données et dates ci-dessous sont extraites de l'annexe 2 de Montel [HDR].

- Coriolis apparaît comme un homme neuf, bien que chez lui n'apparaisse jamais de plan de carrière politique. Cet argument des « hommes neufs » est toutefois à modérer lorsqu'on examine la composition de la commission.
- L'École avait besoin d'un professeur adjoint à Navier, et Coriolis apparaît incontestablement comme la personne la mieux placée au sein du Corps. Est-ce Navier qui suggère son nom ? Est-ce la Corps ou l'École qui veut le voir jouer un rôle ?
- En relation avec l'argument précédent, se fait jour une question qui mérite d'être posée : ne faut-il pas voir dans cette nomination en octobre 1830 la préparation de la succession de Cauchy à Polytechnique ? Les événements politiques sont pressants, Cauchy a quitté la France en abandonnant son poste, son répétiteur unique Coriolis a pris « au pied levé » le cours pour l'année 1830-1831. Mais est-il le mieux placé pour conserver ce poste, compte tenu de son orientation plus marquée sur la mécanique appliquée ? Navier – qui n'est pas forcément le mieux placé lui non plus, pour les mêmes raisons, mais qui piaffe d'un certain besoin de reconnaissance – n'est-il pas en train d'orchestrer cette succession à Polytechnique en sa faveur, en ménageant à son confrère Coriolis la possibilité d'une nouvelle fonction aux Ponts, avec en sus l'avantage de le soulager, lui Navier, d'une partie de sa charge ? C'est ce qui s'appellerait « faire coup double ». *A contrario*, on peut aussi émettre l'hypothèse que c'est plus tard, lorsqu'il voit que ses propositions novatrices ne sont pas suivies aux Ponts, que Navier s'intéresse à la succession de Cauchy.

En tout état de cause, les destinées de Navier et de Coriolis, qui s'étaient peu rencontrés auparavant, semblent intimement liées en cette période de grands changements qu'est 1830-1831. Nous allons examiner les apports de chacun d'eux à la commission de réforme de l'École des ponts, afin d'apporter un éclairage complémentaire au débat.

Le rapport de Navier au sujet de la réforme de l'École des ponts

C'est avant tout l'incroyable lettre du 17 août 1830 de Navier, adressée à Baude, éphémère « commissaire provisoire des Ponts et chaussées », qui retient l'attention. C'est précisément cette période d'agitation, quinze jours après les Trois Glorieuses, que choisit Navier pour faire un véritable plaidoyer contre le fonctionnement de l'École des ponts. Il choisit mal son destinataire – il aurait pu attendre un peu avant d'envoyer sa missive, puisque le baron Jean-Jacques Baude (1792-1862) ne restera commissaire provisoire des Ponts et chaussées qu'une vingtaine de jours et sera remplacé par Bérard le 23 août 1830. Orléaniste actif, haut fonctionnaire préfectoral, Baude fera une carrière éclair de haut fonctionnaire pendant sept mois, il est à chaque fois remercié : en février 1831 notamment, il est démis de ses fonctions de préfet de police de Paris suite aux incidents causés par les légitimistes à l'occasion de leur célébration de l'anniversaire de l'assassinat du duc de Berry.

Navier profite de la lettre du 12 août que lui a adressée Baude, le nommant professeur titulaire aux Ponts en remplacement d'Eisenmann, admis à la retraite, pour attaquer en règle le fonctionnement de l'École :

J'ai commencé en novembre 1819 à faire les fonctions de cette place : il y a donc aujourd'hui onze ans révolus. Depuis cette époque M. Eisenmann n'a pas prononcé une parole, ni écrit une ligne, qui eut le moindre rapport avec les fonctions dont il était titulaire. Je ne sais pas même qu'il soit entré une seule fois dans la maison occupée par l'École.

J'ai fait de grands efforts pour créer (je ne crains pas d'employer cette expression) l'instruction dont j'étais chargé. Dès la première année, j'ai rédigé et communiqué aux élèves, par le moyen de la lithographie, la matière des leçons, à mesure que je les faisais, en imitant un exemple qui avait été donné lors du premier établissement de l'École polytechnique (...)

Je ne me suis laissé décourager, ni par le peu d'intérêt que l'administration montrait pour ses objets, ni par le relâchement qui s'était introduit dans le régime de l'École après que M. Bérigny eut cessé de remplir les fonctions d'Inspecteur [NB : 1821]. Par l'effet de ce relâchement la très grande partie des élèves ne suivait pas mes leçons. Elles étaient seulement écoutées par ceux qui avaient naturellement le goût de l'étude, et du genre d'études auquel elles avaient rapport.

À la lecture de cette lettre – c'est souvent en période politique trouble que les plumes se délient –, on ne peut manquer d'avoir l'impression d'un réel délabrement de l'enseignement à l'École des ponts et chaussées. Et on est tenté d'en donner une part de responsabilité à Navier lui-même, qui avoue ces turpitudes depuis, sinon « onze ans révolus », au moins neuf ans date du départ de Bérigny, et qui accepte depuis cette date que la « très grande partie des élèves » ne suive pas ses cours. On retrouve certains mêmes accents, plus châtiés, dans le rapport lithographié de Navier à la Commission de réforme :

Cette instruction ne produit pas le fruit qu'on pourrait en attendre, parce que les règlements établis étant imparfaits, ou n'étant pas exécutés, et les élèves abandonnés presque entièrement à eux-mêmes depuis un grand nombre d'années, la plupart ne suivent pas les leçons, et ne s'occupent point du cours. Il y a même eu des années où le concours de machines et les examens n'ont point eu lieu.

La suite de la lettre reprend les suggestions de Navier qu'on retrouvera dans son *Rapport*, et qui ont été étudiées par ailleurs : place aux recherches expérimentales, création d'un laboratoire, embauche d'un dessinateur en appui du professeur de mécanique appliquée, formation d'une collection de modèles ou à défaut de schémas à tenir à disposition des élèves, augmentation des ressources de la bibliothèque, ...

Le rapport de Coriolis à la Commission de réforme de l'École

L'analyse comparée des deux rapports de Navier et de Coriolis est intéressante : elle montre un certain manque de maturité conceptuelle et administrative de Coriolis par rapport à son aîné de sept ans. Car si le rapport de Navier s'intitule « Rapport sur le cours

de mécanique appliquée de l'École des Ponts et Chaussées demandé par la lettre de M. le Directeur Général du 28 août 1830 » et celui de Coriolis « Note sur l'organisation de l'École des Ponts et Chaussées », le premier exhale un certain souffle et montre une vision, beaucoup plus que ne le fait le second.

Mais nous ne réduisons pas l'apport de Coriolis à la défense d'une formation très scolaire, comme l'a fait Picon : celui-ci a pointé des passages certes caricaturaux du texte (« qu'on ne laisse rien deviner, rien chercher [aux élèves] »), mais la teneur globale du document nous paraît plus riche. Coriolis commence par plaider pour un enseignement de la mécanique appliquée :

Il ne faut pas que les Ingénieurs soient réduits à apprendre de l'expérience seulement, ce qu'on peut leur montrer autrement.

(...) et d'ailleurs, on sait que ce mode d'instruction [NB : l'expérience] coûte bien autrement cher à l'État que celle de l'École et qu'en outre, il porte atteinte à la considération du corps.

(...) sans doute que l'Instruction finit par arriver aux Ingénieurs, mais elle vient trop lentement pour beaucoup de choses qui peuvent s'enseigner. En leur évitant le tâtonnement et les incertitudes partout où cela est possible, on augmentera leur considération, l'agrément de leurs positions pendant leur jeunesse et l'État y gagnera toujours beaucoup, quelques frais de plus qu'il fasse pour l'École des Ponts et Chaussées.

On retrouve dans la première phrase le moteur de Coriolis, la théorisation de la mécanique appliquée (hydraulique, effet des machines, moteurs, roulage,...). Comme l'a dit Navier dans sa lettre, cet enseignement s'est progressivement construit depuis une dizaine d'années, et il importe qu'il soit donné aux élèves – Coriolis met en garde dans la citation ci-dessus contre les dangers d'une « formation sur le tas », son coût pour l'État et son préjudice à la réputation du Corps. Le *distinguo* est clairement fait par Coriolis avec l'École polytechnique, de manière même excessive peut-être :

Tous les Élèves de l'École des Ponts et Chaussées ont fait leurs preuves de capacités à l'École Polytechnique, les facultés de l'esprit sont suffisamment exercées, il ne s'agit donc plus d'établir un concours entre leurs intelligences (...)

Pour obtenir des Élèves un travail qui n'a pas tout l'attrait des Études de l'École Polytechnique, parce qu'il met beaucoup moins en jeu leurs intelligences, il faut qu'ils soient encore plus soutenus qu'à cette École (...)

Nous voyons là une marque profonde des polytechniciens formés à l'École de Monge – et qui n'est peut-être plus conforme à la réalité en 1830 –, ainsi qu'une marque particulière de Coriolis : ce sont les études théoriques et elles seules qui sont à même de mobiliser l'intelligence. Dans le même ordre d'idées, Coriolis, évoquant les écoles de plus bas niveau, se montre un tant soit peu élitiste – c'est d'ailleurs sur cette touche que se conclut sa note :

Aujourd'hui l'instruction se perfectionne et s'étend partout ; on enseigne l'art des constructions dans d'autres écoles ; si celle des Ponts et Chaussées n'atteint pas la perfection dont elle est susceptible, les Ingénieurs auront des Conducteurs qui en sauront plus qu'eux, les Compagnies trouveront ailleurs des connaissances au moins égales pour ce qui leur importe, et le Corps sera compromis dans sa considération et dans son existence. Mais qu'on soutienne le zèle de ces Élèves choisis dans une École qui est déjà le choix d'une jeunesse studieuse (...), alors on ne redoutera plus aucune concurrence de ces instructions secondaires. Des jeunes gens dont les facultés n'ont pas été exercées de bonne heure par une étude approfondie de tout ce qui développe l'intelligence, n'atteindront que très rarement au point où se tiendront les Ingénieurs, même dès le commencement de leur carrière.

Ce passage qui est d'ailleurs la conclusion de la note est élitiste à plus d'un titre – les conducteurs de travaux, selon Coriolis, n'auront jamais l'intelligence des ingénieurs. On retrouve là aussi la foi inébranlable des polytechniciens des quinze premières promotions, et de Coriolis en particulier, en l'excellence de la formation polytechnicienne – même si cela ne correspond peut-être plus à la réalité en 1830.

Nous ne nous sommes pas attardés sur divers points concernant le cours d'architecture ou le cours de construction – pour lesquels on peut se demander à quel titre Coriolis en parle –, ainsi que sur diverses considérations d'ordre réglementaire à propos des examens et de la discipline (concours de projets, lieu de travaux pratiques,...). Ces considérations ne sont toutefois pas à négliger au sens où ce sont des propositions d'actions concrètes (ex. les élèves doivent rester à Paris car c'est là qu'on peut au mieux leur montrer une diversité de machines nécessaire à leur instruction, etc.).

La suggestion de création d'une revue est, comme chez Navier, explicite chez Coriolis :

L'établissement d'un bon journal des Ponts et Chaussées dans la direction du Conseil de l'École, ouvert à tous les Ingénieurs et Architectes, serait fort utile à l'instruction et mériterait l'appui du Gouvernement. Il devrait être conçu dans l'esprit des Annales des Mines. Le Journal du Génie Civil aurait besoin d'être épuré.

Enfin, nous ne savons pas si Coriolis a voulu « se placer » comme professeur adjoint à l'École – il est fréquent que l'auteur d'un rapport sur une structure se voie attribuer une place au sein de la structure. Évoquant la possibilité d'un adjoint au professeur de mécanique, il fait le *distinguo* avec les adjoints aux autres cours en indiquant :

Les Adjoints au Cours de Construction seraient pris dans les Ingénieurs Ordinaires ayant au moins 6 à 8 ans de service. Ils se renouvelleraient souvent, et n'auraient pas de titre pour devenir Professeur. Il n'en serait pas de même pour le Cours de Mécanique ; le successeur serait l'adjoint : celui-ci aurait un successeur désigné d'avance, lequel ne ferait que trois ou quatre ans de service et viendrait ensuite à l'École.

On voit là que Coriolis fait une différence entre les enseignants de construction et ceux de mécanique (parmi lesquels il est susceptible de se ranger). Les premiers doivent avoir une

expérience pratique plus longue, et être changés sans pouvoir devenir professeurs ; pour ceux-ci, c'est la *pratique* avant tout qui est importante. Quant à l'adjoint de mécanique, il lui suffit de faire un temps plus court en service ordinaire, et après sa charge d'adjoint il succédera systématiquement au titulaire : car le concernant, c'est la maîtrise de la *théorie* qui importe.

LA CONTRIBUTION AUX ANNALES DES PONTS - NOTAMMENT SUR L'HYDRAULIQUE

La création de ce périodique a été étudiée en détail par Nathalie Montel. Elle nous indique que Coriolis prend une part active à la commission des *Annales* : il la rejoint en avril 1831, peu après sa création en février 1831¹³⁹. En 1836, il est mentionné à trois reprises dans les procès-verbaux de la commission. Il est mis à contribution par Emmery, pour « jeter un coup d'œil sur les calculs » d'un article proposé par un ingénieur des mines sur les freins des chemins de fer. Il suggère qu'un article d'un autre ingénieur des mines sur les écoulements par déversoirs soit repris des *Annales de physique et de chimie* : à l'époque il était courant qu'un article fût publié dans plusieurs revues. Enfin, il déconseille la publication d'un article de Lalanne jugé « entièrement spéculatif » et « basé sur aucun fait »¹⁴⁰.

Il écrit lui-même trois articles scientifiques, entre 1832 et 1836. L'activité d'écriture est à notre avis un plaisir pour Coriolis ; sans doute est-ce aussi le cas pour l'édition d'articles scientifiques, c'est-à-dire la relecture des articles d'autres auteurs. Sa participation au comité des *Annales* cesse à partir de 1838, quand il est nommé à Polytechnique ; cette source de stimulation et de plaisir intellectuels disparaît alors pour lui. La réduction de son activité scientifique (articles et édition des *Annales*, par exemple) pèsera, on le verra, sur le moral de Coriolis.

Sur ses trois articles, nous avons déjà évoqué le premier, l'article du second semestre 1832 sur le tirage des voitures ; le second article porte sur le même sujet, et s'intitule « Premiers résultats de quelques expériences relatives à la durée comparative de différentes natures de grès employés au pavage, sur une route royale très fréquentée aux abords de Paris » (premier semestre 1834). Mais l'article qui retient notre attention ici est le troisième article (premier semestre 1836), titré « Sur l'établissement de la formule qui donne la figure des remous ».

139. Nathalie Montel répertorie 55 participations de Coriolis à la commission du 1^{er} avril 1831 au 5 octobre 1842.

140. *BENPC*, PV du 22 novembre 1836 (cité par N. Montel p. 284). L'auteur en question est Léon Louis Chrétien-Lalanne, (X 1829 ; 1811-1892), futur directeur de l'École des ponts et membre de l'Académie des sciences.

L'article de Coriolis sur la « figure des remous »

Coriolis s'intéresse, dans cet article, à la notion de remous en hydraulique, corrigeant à la fois des travaux de Bélanger et de l'ingénieur des ponts Pierre Vauthier¹⁴¹ – ce dernier n'appréciera guère cette correction à ses travaux. Nathalie Montel indique que c'est en tant que rapporteur du projet d'article de Vauthier que Coriolis propose d'insérer à la suite de cet article une note « qui forme le complément analytique du travail de M. Vauthier¹⁴² ».

L'hydraulique des remous n'était pas la spécialité de Coriolis : c'est Bélanger qui s'était spécialisé en ce domaine, avec la formule des remous, dite formule de Bélanger, publiée en 1828. Néanmoins, Coriolis apporte un complément intéressant, introduisant un coefficient α qui reste connu dans l'hydraulique actuelle comme « coefficient de Coriolis ». Son article de 1836 étant assez complexe, comme souvent chez Coriolis, il nous a paru utile d'expliquer avant tout la façon dont ce coefficient est présenté de nos jours.



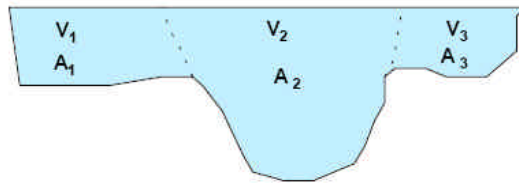
Ce coefficient, appelé α par Coriolis – signe conservé dans les notations modernes actuelles, est parfois aussi appelé coefficient de Boussinesq¹⁴³-Coriolis. Dans des lits de rivière avec plusieurs profils d'écoulement (figure ci-dessous), il mesure le décalage entre l'énergie moyenne d'une tranche d'eau verticale élémentaire $(v^2/2)_m$ et le carré de la vitesse moyenne $(v_m^2/2)$. Il est égal au rapport entre le premier et le second terme, et est systématiquement supérieur à 1 – on le trouve mentionné aussi¹⁴⁴ dans la littérature scientifique contemporaine comme $\beta = \overline{u_x^2} / \bar{u}_x^2$ (moyenne de la vitesse quadratique divisée par carré de la vitesse moyenne), ce qui correspond à la même notion.

141. Pierre Vauthier (1784-1847, X1801, PC). Par la suite, après la mort de Coriolis, il écrira en 1847 avec son fils Louis-Léger Vauthier (1815-1901, X1834, PC) un article à propos duquel le rapporteur Bélanger regrettera « que les auteurs n'aient pas eu égard à l'ensemble des observations critiques qui leur avaient été faites » - évoquant sans doute Coriolis, sans le citer (Montel, p. 323)

142. BENPC, Ms 1836, PV du 24 mai 1836 ; cité par N. Montel, p. 347.

143. Joseph Boussinesq (1842-1929), mathématicien et théoricien de l'hydraulique. Il fera référence à Coriolis dans ses travaux détaillant ce coefficient, voir p.ex. « Sur le mouvement permanent et varié de l'eau dans les tuyaux de conduite et dans les canaux découverts », note de M. J. Boussinesq présentée par M. de Saint-Venant, CRAS, 1871 (t.73), p. 101 et ss. En 1872, il expliquera comment il améliore « le coefficient de Coriolis », in « De l'influence de la force centrifuge sur l'écoulement permanent varié de l'eau dans les canaux prismatiques de grande longueur », CRAS, 1872 (t.74), p. 1026 et ss., aussi in « Essai sur la théorie des eaux courantes », CRAS, 1872 (t.75), p. 1011 et ss.

144. Voir Jean-Frédéric Gerbeau, Benoist Perthame, "Derivation of viscous Saint-Venant system for laminar shallow water; numerical validation", rapport de recherche INRIA, décembre 2000 ([en ligne](#))



$$\alpha = \frac{V_1^3 A_1 + V_2^3 A_2 + V_3^3 A_3}{V_m^3 (A_1 + A_2 + A_3)}$$

$$V_m = \frac{V_1 A_1 + V_2 A_2 + V_3 A_3}{A_1 + A_2 + A_3}$$

Coefficient de Coriolis. *S'agissant de la différence entre la moyenne quadratique et le carré de la moyenne simple, il se mesure en moyenne du cube de la vitesse (on l'obtient par développement limité).*

Une expression continue, équivalente à celle ci-dessus, est donnée par $\mathbf{a} = \int v^3 dA / v_m^3 A$. Il dépasse rarement 1,15 dans des canaux construits, mais peut aller jusqu'à 2 dans des écoulements naturels (source

University of Illinois Agricultural and Biological Engineering, age-web.age.uiuc.edu/classes/age357/html/age35715.pdf). Dans la littérature anglo-saxonne, on parle de « Coriolis coefficient », ou parfois de « Coriolis wear testing » (test d'érosion de Coriolis), qui correspond à la même notion¹⁴⁵. L'établissement des relations entre ce coefficient et le célèbre nombre de Reynolds en hydraulique sont aussi un sujet de recherche actuel.



Examinons à présent la façon dont Coriolis introduit ce coefficient dans son article complexe de 1836. Par divers calculs fondés sur des hypothèses, il obtient un coefficient de 1,47 en s'intéressant au rapport mentionné ci-dessus :

L'expression $\Delta \frac{V^3}{2g}$ qui restait dans l'équation après qu'on avait divisé tous ces termes par Qdt , devra donc être remplacée par $\Delta \frac{\int v^3 da}{2gQ}$.

(...)

Nous poserons donc la formule

$$\frac{\int v^3 dy dx}{2gQ} = 1,47 \frac{V^3}{2g}$$

Si l'on simplifie la formule, ceci donne $\int v^3 dy dx / Q = 1,47 V^3$; le premier terme (Q est le débit d'eau) provient, comme nous indique Coriolis, « de la différence de la somme des forces vives que possèdent les mêmes portions de filets formant les volumes abandonnés en amont et envahis en aval » – un différentiel d'éléments variables en v^2 (forces vives) se traduisant en effet par un développement limité en un terme en v^3 (terme qu'on retrouve dans la légende de la figure ci-dessus). Coriolis précise bien que :

La quantité $\frac{\int v^3 da}{2gQ}$ est toujours plus grande que celle qu'on mettrait pour le cas où les vitesses sont égales, c'est-à-dire que $\frac{V^3}{2g}$.

145. Voir par exemple « Determination of wear coefficients for erosive wear prediction through Coriolis wear testing », *Science Direct Elsevier* (2004) ([en ligne](#))

ce qui fait que le « coefficient de Coriolis » est toujours supérieur à 1 – pour simplifier, la moyenne du carré des vitesses est toujours supérieure au carré de la moyenne des vitesses.

Coriolis modifie donc la formule de Bélanger en y introduisant ce coefficient :

comme nous venons de le supposer, au lieu de la formule de M. Bélanger qui est

$$\Delta s = \frac{-\Delta \frac{V^2}{2g} \pm \Delta h}{\sum_{\omega} (aV + bV^2) - i}$$

on devra prendre la suivante :

$$\Delta s = \frac{-1,47\Delta \frac{V^2}{2g} \pm \Delta h}{\sum_{\omega} (aV + bV^2) - i}$$

Concrètement, il s'ensuit que «la correction (...) dans la formule de M. Bélanger (...) diminuera l'étendue des remous pour les gonflements, et les étendra pour les renflements ».

Mais Coriolis, comme il lui arrive parfois, va remettre en cause la fiabilité de ses propres hypothèses – notamment celle des courbes de vitesses en ellipse qui lui avait permis de trouver le coefficient de 1,47. Ce n'est pas qu'il doute, mais il essaie diverses modélisations – nous avons déjà croisé, à propos du dernier chapitre du *Calcul* (roues à aubes, moulins à vent), la démarche hypothético-déductive de modélisation de notre auteur. Il va faire l'hypothèse d'une deuxième loi de vitesses, différente de sa première hypothèse, en « prenant des paraboles pour les courbes des vitesses », au lieu d'ellipses : il trouve alors un coefficient de 1,16 et non 1,47, en soulignant :

Cette valeur est propre à faire sentir jusqu'à quel point la loi des vitesses a de l'influence sur la formule.

Il introduit ainsi le coefficient α , coefficient de Coriolis, en précisant que « sa détermination expérimentale serait fort utile à l'hydraulique pratique » :

*Peut-être se présenterait-il [sic] des cas où le premier coefficient 1,47 que nous avons trouvé serait un peu fort ; mais la dernière valeur [NB : 1,16] doit être trop faible. En adoptant 1,40 pour tous les cas, nous pensons qu'on sera assez près de la réalité. Cependant on ne doit pas se livrer avec trop de confiance à cette dernière valeur ; il sera bon de rectifier ce nombre à l'aide de quelques expériences. Pour cela, on le laissera d'abord disponible, c'est-à-dire qu'on ne fixera pas d'avance la loi de répartition des vitesses, et qu'on posera seulement en remplaçant le coefficient numérique par **a**.*

La controverse avec Vauthier

Cet article de 1836 de Coriolis allait donner lieu à une controverse avec un autre ingénieur des Ponts et chaussées, de moindre envergure, Pierre Vauthier (1784- 1847,

X1801). L'article de Coriolis apportait des éléments complémentaires aux travaux de Bélanger sur la formule des remous (1828), et corrigeait certains développements que Vauthier lui avait donnés dans les *Annales* en 1836.

Avant de corriger certains de ses éléments, Coriolis rend hommage à son camarade Bélanger :

La question de la figure des remous est la plus importante de toutes celles que l'hydraulique théorique présente aux ingénieurs. Pour les autres problèmes qui se rapportent aux écoulements par les orifices et par les tuyaux ou canaux à section constante, on a plus emprunté à l'expérience qu'à la théorie : cette dernière, au contraire, a pris la prépondérance dans la question des remous. Aussi le travail de M. Bélanger, le premier qui ait été fait sur cet objet, doit-il être rangé en tête des théories à l'aide desquelles l'hydraulique fournit le moyen de suppléer à ce que l'expérience ne peut donner.

On constate une fois de plus que le rapport entre la théorie et la pratique est au cœur des préoccupations de Coriolis – lui-même se range avec Bélanger dans les théoriciens de l'hydraulique. Cette primauté de la théorie chez Coriolis est réellement un élément frappant : paraphrasant par anticipation Boltzmann, il pourrait convenir qu'« il n'y a rien de plus pratique que la théorie¹⁴⁶ » !



Après avoir précisé qu'il a travaillé sur l'hydraulique à l'occasion d'examens menés à l'École des ponts en 1835, il est amené à publier ses travaux parce que Vauthier a déjà publié les siens :

Le travail important de M. Vauthier tirant de nouvelles ressources de la formule des remous, je me suis décidé à ne plus différer de publier ce que j'avais fait sur l'appréciation de son exactitude, et sur la correction qu'il faut lui faire subir, lorsqu'on ne peut plus rester dans l'hypothèse du parallélisme des tranches.

Il va réfuter d'abord les méthodes de ses collègues Bélanger et Navier, sans mettre en cause leurs résultats :

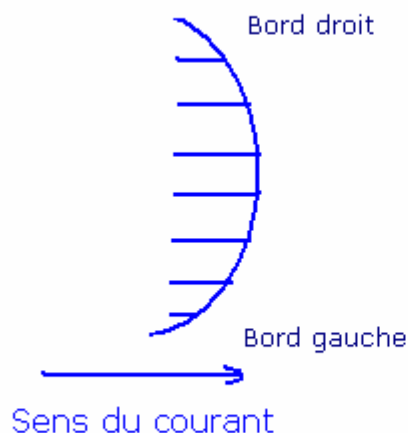
Ainsi, pour arriver à la formule très-utile que M. Bélanger a donnée, on n'a pas besoin de substituer la pente du fond à la pente de l'axe du courant, comme il le fait. Il n'est pas nécessaire, non plus, de supposer, avec M. Navier, dans son cours lithographié pour l'école des ponts et chaussées, que ce qui doit s'entendre d'un filet moyen, en tant qu'on calcule l'action de la résistance totale, s'applique ensuite aux seuls filets à la surface. Il

Il examine ensuite deux lois différentes de répartition des vitesses dans une même section de fluide. L'idée est de sortir de l'approximation suivant laquelle sur une tranche donnée, toutes les vitesses sont les mêmes : on introduit donc une loi de répartition des vitesses sur une tranche de fluide donnée. La première hypothèse est une loi de répartition en

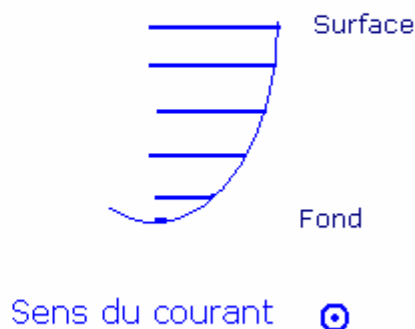
146. Cité par Jacques Bouveresse, conférence au Collège de France.

« ellipses », la deuxième une loi en « paraboles », dans les deux cas en largeur du fleuve comme en profondeur.

Coupe horizontale du lit



Coupe verticale du lit



Exemple de la loi de répartition en ellipses. *À gauche, il s'agit d'une coupe horizontale, par exemple à la surface du cours d'eau ; comme dit Coriolis, « dans les sections horizontales, les vitesses peuvent aussi être regardées comme réparties suivant les ordonnées de courbes elliptiques (...) les vitesses deviennent sensiblement nulles contre les bords ». À droite, il s'agit d'une coupe verticale, par exemple au milieu du cours d'eau ; comme dit Coriolis, « on peut, sans grande erreur, regarder [les ellipses] comme tangentes au fond, c'est-à-dire regarder la vitesse au fond comme devenant nulle, bien que très près du fond elle soit déjà sensible ».* (dessins A. Moatti)

Après divers calculs, Coriolis obtient ce coefficient 1,47 permettant de corriger la formule de Bélanger – il démontre qu'à Δs donné (tranche de courant), Δh (différence de profondeur) sera plus fort avec la correction qu'il propose¹⁴⁷. Les conséquences sur le calcul de Vauthier sont les suivantes :

Ainsi, l'élévation calculée par M. Vauthier pour la barrage de Poissy, quoique plus forte que celle qui a été donnée par M. de Prony, serait encore un peu trop faible.

Ceci constitue presque une attaque en règle, car le calcul d'une élévation trop faible pour un barrage peut avoir des conséquences désastreuses ! Coriolis critique aussi la méthode de Vauthier :

Dans ce cas, il n'est pas nécessaire de procéder par tâtonnement, comme le fait M. Vauthier.



147. En effet on peut démontrer, d'après la formule de Bélanger modifiée par Coriolis en bas de page 328, que pour Δs donné, on a $\Delta h_{\text{corr}} = \Delta h - 0,47\Delta V^2/2g$. Comme Δh et $\Delta V^2/2g$ sont de signes opposés, précise Coriolis, cela accentue l'effet.

Vauthier va vigoureusement protester contre l'article de Coriolis, en décembre 1836, dans un article aussi publié dans les *Annales*. Il commence par ironiser sur le « savant mémoire » de Coriolis, puis accepte la correction de ses calculs par le coefficient α de Coriolis, mais en minimisant son effet : « la valeur que M. Coriolis affecte au coefficient est beaucoup trop considérable ». Il trouve des valeurs nettement plus faibles (au maximum de 1,1 contre 1,4 pour Coriolis), ironise sur la pique que lui a lancée Coriolis à propos de la hauteur assignée au barrage de Poissy (« la hauteur assignée (...) est trop faible en effet, comme le dit M. Coriolis, lorsqu'on considère le coefficient α ; mais elle est trop faible de 0m,00061 au plus », soit 0,6mm...), et enfin conclut son article en minimisant totalement la portée du coefficient, en hydraulique pratique comme en hydraulique théorique :

Mais la solution complète de ce problème, si peu importante, comme nous l'avons démontré pour l'hydraulique pratique, n'est pas non plus ce qui peut actuellement intéresser le plus l'hydraulique théorique. De nouvelles études nous ont appris qu'il est à introduire, dans la formule du mouvement permanent, comme dans celle du mouvement uniforme, des modifications beaucoup plus intéressantes que celle due au coefficient α .

En conclusion, nous noterons que Vauthier, s'il a peut-être raison sur le cas particulier du barrage de Saint-Germain où la correction due au coefficient semble minime, a tort sur la généralité du problème : le coefficient de Coriolis, prenant des valeurs pouvant aller jusqu'à 2, est de nos jours un élément important de la science hydraulique, et une de ses pistes de recherche fécondes.

Chapitre 9. Le mouvement relatif

Il s'agit de loin de la contribution la plus connue de Coriolis ; elle se fait en deux étapes :

- Le « Mémoire sur le principe des forces vives dans les mouvements relatifs des machines », lu le 6 juin 1831 à l'Académie des sciences, publié dans le *Journal de l'École polytechnique* en septembre 1832 (21^o cahier, tome XIII), publié aussi des les *Mémoires des savants étrangers*.
- Le « Mémoire sur les équations du mouvement relatif des systèmes de corps », publié dans le *Journal de l'École polytechnique* en 1835 (24^o cahier, tome XV),

Le second mémoire est connu pour introduire les « forces centrifuges composées », qui prendront par la suite le nom de « force de Coriolis ». Le premier mémoire jette les bases de calcul pour le second résultat, mais il comprend aussi la notion à notre avis nouvelle à cette époque des « forces d'entraînement ». Ce vocable est resté, bien qu'on en crédite rarement le premier mémoire de Coriolis.

Une autre différence importante entre les deux mémoires montre l'évolution du travail de Coriolis : le premier, on le verra, révèle une égalité scalaire – elle porte sur les forces vives dans le mouvement relatif (grandeur scalaire). Le deuxième révèle une égalité vectorielle, plus puissante, portant sur le principe de la dynamique dans le mouvement relatif. *A posteriori*, le résultat du premier mémoire devient un simple cas particulier de celui du second mémoire : par projection de l'identité vectorielle sur la courbe du mouvement, on obtient l'identité scalaire du premier mémoire – puisque la force centrifuge composée « ne travaille pas », sa projection est nulle dans la direction du mouvement.

Il y a dans l'enchaînement de ces deux mémoires, à quatre ans d'intervalle, une unité intellectuelle et une logique de construction de l'œuvre de Coriolis, qui lui est spécifique.

GENÈSE D'UNE IDÉE

Il est difficile de tracer le fil qui amène Coriolis à s'intéresser au mouvement relatif. Il n'en est pas fait mention dans le *Calcul*. Belhoste et Lemaître émettent l'idée que c'est l'étude critique de la roue à aubes de Poncelet qui amène Coriolis à s'intéresser au mouvement relatif. C'est une hypothèse qui mérite d'être développée, à la lumière de plusieurs éléments.

D'abord, Coriolis, à la fin de son premier article de 1831 sur les mouvements relatifs, applique ses résultats à la roue de Poncelet, en relevant une seconde erreur théorique. En 1829 déjà, dans le *Calcul*, il avait fait mention d'une première erreur : le mouvement de l'eau dans l'aube ne ressort pas de la mécanique du point matériel, mais de

la mécanique des corps solides, puisqu'en effet une molécule d'eau montant va se trouver gênée dans son mouvement (« les particules déjà dévées, dont la vitesse est moindre, gênent le mouvement de celles qui sont en dessous et qui ont plus de vitesse»). Dans son article de 1831, il fait une autre objection théorique – nous l'avons vue : l'eau sortant de l'aube a une vitesse relative non nulle (alors qu'elle l'avait en entrant) parce que la gravité joue plus à la descente qu'à la montée : le travail de la gravité n'est pas égal et opposé à la montée et à la descente, il est en valeur absolue plus grand à la descente puisque la roue a tourné entre-temps. Ceci amène à diminuer le rendement théorique de la roue.

Autre argument en faveur l'hypothèse de Belhoste & Lemaître, Coriolis cite, dès la première phrase de son article de 1831, la théorie des roues hydrauliques :

LA détermination du mouvement d'un système de corps liés d'une manière quelconque à des points qui sont entraînés dans l'espace, est une des questions qui intéressent le plus la théorie des machines, particulièrement celle des roues hydrauliques. Jean Bernouilli a traité le mouvement d'un point matériel pesant dans un tube droit tournant horizontalement d'un mouvement uniforme autour d'un de ses points. M. Ampère, dans les *Annales de mathématiques*, a résolu la question analogue pour le cas où le tube décrit un cône vertical. On peut généra-

La deuxième phrase nous donne un troisième élément allant dans le sens proposé. Coriolis citant les travaux précédant le sien et connus de lui mentionne Ampère. Il s'agit d'un article des *Annales de mathématiques* (Journal de Gergonne) paru en 1830, c'est-à-dire entre le *Calcul* et l'article de 1831. Cet article d'Ampère s'inscrit dans une *disputatio*, où Gergonne va intervenir en pointant à nouveau une erreur dans la roue hydraulique de Poncelet, que l'on retrouve ainsi par une troisième voie.

L'article d'Ampère (1830), inspirateur de la réflexion de Coriolis ?

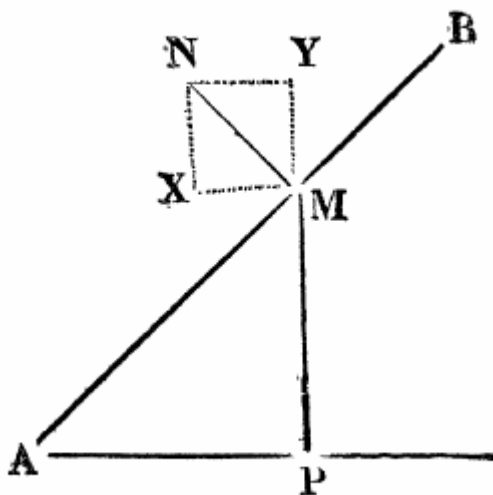
Coriolis cite cet article dès la seconde phrase comme un des écrits inspirant son travail, sachant qu'il adopte, lui, une approche très différente et beaucoup plus générale :

On peut généraliser ces questions [celle de Jean Bernouilli et celle d'Ampère], en considérant le mouvement dans un canal entraîné dans l'espace d'une manière quelconque ; mais ce dernier problème n'est qu'un cas particulier de celui dont je me suis occupé dans ce Mémoire. Il comprend les mouvements d'une machine quelconque dont certaines parties sont entraînées d'un mouvement donné. J'ai trouvé relativement à cette question une proposition assez générale qui, je crois, n'a pas encore été donnée (...)

Ampère, dans son article, parle d'une « inexactitude frappante » dans un article de l'année précédente, d'un certain Lebarbier : ce dernier aurait livré un article de 10 pages dans le Journal de Gergonne en oubliant la force centrifuge !

À cet égard, il est intéressant de comprendre la démarche d'Ampère rétablissant la solution correcte :

Comme les problèmes de ce genre sont du nombre de ceux que je traite chaque année, dans mes cours, j'ai pensé qu'il pourrait vous être agréable de faire connaître à vos lecteurs la solution directe que j'en donne depuis bien long-temps. Cette solution partant des équations générales de la dynamique, on n'a pas besoin de considérer, en particulier, l'effet de la force centrifuge, mais on le reconnaît ensuite dans les résultats qu'on obtient.



Un tube AB tourne dans un plan vertical autour d'un point A. Une sphère M est mobile dans le tube (dessin de l'article d'Ampère)

La démarche de Coriolis dans son article de 1831 sera elle aussi essentiellement dynamique – il ne fera pas intervenir la force centrifuge. Après avoir donné la solution correcte concernant le tube tournant dans un plan vertical, Ampère indique, à propos de la composante de la force normale au tube :

L'autre portion (...) est celle par laquelle le tube en pressant la sphère, augmente sa vitesse perpendiculairement à l'axe de ce tube, afin qu'elle le suive dans son mouvement de rotation.

L'approche d'Ampère n'est pas très élaborée, comme le montre ce type de phrase, tout en montrant une intuition physique certaine. Elle est destinée à résoudre un problème très précis et circonscrit : d'ailleurs Ampère va prendre immédiatement après le deuxième membre nul ($\theta''=0$), puisque le mouvement est uniforme.

Mais, dans la suite de son article, Ampère procède à l'étude d'un cas plus général, qu'il présente comme suit :

On peut généraliser le problème de Bernoulli en supposant que l'axe du tube, au lieu de se mouvoir dans un plan horizontal, décrit une surface conique quelconque ; et j'ai fait, il y a longtemps, à ce sujet, une remarque qui ne me paraît pas dépourvue d'intérêt ; elle consiste en ce que si, faisant toujours abstraction de la pesanteur, on développe la surface conique sur un plan, et qu'on suppose que l'axe du tube décrive exactement sur ce plan, dans les mêmes intervalles de temps, les espaces angulaires qu'il aurait décrit sur la surface conique dont il s'agit ; en traçant sur ce même plan la trajectoire plane qu'y décrirait le centre de la sphère mobile, en vertu du mouvement du tube, il suffira de plier cette surface plane sur la surface conique, de manière que les situations correspondantes de l'axe du tube coïncident, pour obtenir la trajectoire qui devrait être décrite sur cette dernière surface, par le centre de la sphère.

Par une méthode tout à fait différente de Coriolis, mais en faisant appel aux mêmes types de calcul (comme le prouve notamment sa phrase «la somme des produits des cosinus correspondants sera nulle», ce que Coriolis utilise aussi dans son raisonnement), Ampère arrive, comme le montre la citation ci-dessus, à des résultats fort analogues à ceux auxquels arrivera Coriolis – mais non développés, à l'inverse de ce que fera Coriolis. Cependant l'objectif d'Ampère est différent : comme l'avait fait Lebarbier incorrectement, il cherche à redémontrer les lois de Kepler sans utiliser la dynamique de Newton, en appliquant le calcul différentiel de préférence au calcul intégral (intégration de l'équation des forces vives):

(...) c'est pourquoi j'ai cherché à démontrer ce théorème par les éléments, d'une manière plus simple qu'il ne l'est dans les Principes mathématiques de la philosophie naturelle, en évitant de supposer connues les diverses propriétés sur lesquelles est fondée la démonstration que l'on trouve dans cet admirable ouvrage, d'où elle a passé dans un grand nombre de traités élémentaires.

Ampère fait ici allusion à la démonstration par Newton de la forme de la trajectoire de la Lune : lancée en mouvement rectiligne uniforme, elle s'infléchit en une ellipse autour de la Terre par action de la force de gravitation en $1/D^2$. Ampère déplore ici, à mots couverts et dans le style qui lui est propre, le fait que cette démonstration ait pu se répandre dans des manuels à caractère pédagogique (elle l'est toujours, l'approche par la cinématique étant plus difficile).

Ampère (1830), force d'entraînement et force de Coriolis

Il a paru utile d'effectuer un travail inédit, à savoir la reconstitution des résultats de Coriolis (1831 & 1835) à partir du cas particulier étudié par Ampère.

On a $\overline{OM} = r \cos \theta \vec{i} + r \sin \theta \vec{j} = r\vec{u}$, $\frac{d\overline{OM}}{dt} = \dot{r}\vec{u} + r\dot{\theta}\vec{v}$ (\vec{v} étant le vecteur normal - $\sin\theta \vec{i} + \cos\theta \vec{j}$), en dérivant à nouveau (sachant que $d\vec{u}/dt = \dot{\theta}\vec{v}$, et $d\vec{v}/dt = -\dot{\theta}\vec{u}$) :

$$\vec{\gamma} = \frac{d^2\overline{OM}}{dt^2} = (\ddot{r}\vec{u} + \dot{r}\dot{\theta}\vec{v}) + (\dot{r}\dot{\theta}\vec{v} + r\ddot{\theta}\vec{v} - r\dot{\theta}^2\vec{u})$$

$$\vec{\gamma} = \ddot{r}\vec{u} + (r\ddot{\theta}\vec{v} - r\dot{\theta}^2\vec{u}) + 2\dot{r}\dot{\theta}\vec{v} \quad (1)$$

Le premier terme en $r''\vec{u}$ est l'accélération du mobile dans le repère propre au tube.

Le second terme se rapporte au «premier théorème de Coriolis» (1831) – c'est l'accélération d'entraînement. On prend un point N situé en M mais indissolublement lié au tube ($r'=0$). On a

$$\overline{ON} = r\vec{u}, \text{ puis } \vec{v}_N = r\dot{\theta}\vec{v}, \text{ et } \vec{\gamma}_N = r\ddot{\theta}\vec{v} - r\dot{\theta}^2\vec{u}$$

Le troisième terme se rapporte au «second théorème de Coriolis» (1835). C'est l'accélération de Coriolis appliquée au mobile M dans son repère propre :

$$\vec{\gamma}_c = 2\vec{\Omega} \wedge \vec{v} = 2 \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ \dot{\theta} \end{pmatrix} \wedge \begin{pmatrix} \dot{r} \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} = 2\dot{r}\dot{\theta}\vec{v}$$

La formule (1) nous amène ainsi au principe des forces vives eu égard au mouvement relatif (Coriolis 1835) :

$$\vec{\gamma}_{R'} = \vec{\gamma}_R + \vec{\gamma}_e + \vec{\gamma}_c$$

Les accélérations correspondant respectivement à: celle dans le repère lié aux axes fixes (\mathcal{R}'); celle dans le repère lié aux axes mobiles (\mathcal{R}), l'accélération d'entraînement; enfin l'accélération de Coriolis.

L'article d'Ampère contient donc, par anticipation – mais dans un cas très particulier et sans rapport avec la généralité du système telle qu'étudiée par Coriolis – les résultats de ce dernier: ceux sur la force d'entraînement (1831) et ceux sur les forces centrifuges composées (1835).

Une remarque de Gergonne sur la roue à aubes de Poncelet

Ampère avait démasqué cette « inexactitude frappante » chez Lebarbier, l'oubli de la force centrifuge. Il avait même quasi ridiculisé cet auteur inconnu en faisant application d'un de ses résultats :

L'erreur de cette solution s'aperçoit immédiatement en remarquant que, suivant les idées de l'auteur, si la gravité était nulle, ainsi que la vitesse initiale, le centre de la sphère mobile devrait constamment parcourir la circonférence d'un cercle ayant pour centre le centre du mouvement, tandis qu'il est évident qu'alors cette sphère, en vertu de l'action de la force centrifuge, devrait s'éloigner sans cesse de ce point.

Mais c'est Gergonne lui-même – peut-être ennuyé d'avoir publié l'article de Lebarbier l'année précédente, mais plus certainement excédé de la querelle de priorité que lui avait faite l'année précédente Poncelet sur la théorie des polaires en géométrie, qui donne à ce dernier le coup de pied de l'âne¹⁴⁸, dans une de ses célèbres notes de bas de page signées par l'éditeur (celle-ci en bas d'une des pages de l'article d'Ampère) :

(*) Je reçois à l'instant une lettre de M Th. Barrois, de Lille, qui contient des remarques toutes pareilles à celles de M Ampère. M. Barrois pense que M. Poncelet a commis une inadvertance, à peu près pareille, dans le calcul de sa roue à aubes courbes, ce qui n'ôte rien d'ailleurs, ajoute-il, au mérite pratique de l'invention. Il est évident que la solution du problème traité à la pag. 359 du précédent volume est entachée d'une pareille erreur.

Afin de consoler l'auteur ou les auteurs, autant du moins que les torts d'autrui peuvent nous consoler des nôtres, je saisisrai cette occasion pour observer que le petit article que j'ai donné à la pag. 263 de mon XV.^{me} volume, sur la stabilité de l'équilibre des corps flottans, quelque spécieux qu'en soient les raisonnemens, est complètement faux de tous points.

J. D. G.

Finalement, on peut considérer que le sujet de l'entraînement de l'eau dans l'aube de la roue de Poncelet joue un rôle indiscutable dans la réflexion de Coriolis sur les mouvements relatifs. Comme on peut considérer que l'article d'Ampère de 1830, portant

148. Gergonne s'était déjà opposé à Poncelet, de manière fort ironique et presque moqueuse, sur une réclamation d'antériorité de Poncelet en géométrie pure (Poncelet [1827-1828]) (voir note chapitre 4 sur les moments). À cette occasion, il avait déploré que Poncelet s'en fût aller professer un cours de machines à Metz au lieu de poursuivre ses remarquables travaux de géométrie : « Personne n'a été plus fâché que moi de voir M. Poncelet chargé de ce cours ; je m'en suis expliqué à son ami le colonel Vainsot, dès qu'il m'en a donné la première nouvelle, et plus tard j'ai dit publiquement ce que j'en pensais (tom. XVII, page 274). Il ne manque pas en effet d'hommes propres à appliquer les sciences ; et on ne saurait laisser trop de loisirs au petit nombre des esprits privilégiés qui peuvent en reculer les limites. Malheureusement tout le monde ne pense pas ainsi. La roue à aubes courbes de M. Poncelet lui a valu d'honorables récompenses et sa *théorie des polaires réciproques* (Annales, tom. VIII, pag. 201) bien que d'une toute autre importance, a passé pour ainsi dire inaperçue. Mais, parce que M. Poncelet est empêché de publier les résultats de ses recherches, s'ensuit-il que tout le monde sera tenu de se croiser les bras pour l'attendre ? Je ne puis me persuader qu'il pousse l'exigence à ce point. J.D.G. ».

sur un cas particulier, joue un rôle dans la réflexion de Coriolis. Mais nous allons nous attacher à montrer que la démarche de Coriolis est beaucoup plus générale, théorique et analytique.

LE PREMIER MÉMOIRE, 1831

Présentation par Poisson

Un document de présentation intéressant de ce « Mémoire sur le principe des forces vives dans les mouvements relatifs des machines » est le rapport qu'en fait Poisson en séance du 31 octobre 1831 de l'Académie des sciences. Comme souvent, le texte du rapporteur permet de mieux comprendre le texte, puisqu'il tire ce qui lui en semble essentiel, et qu'il remet le texte en perspective.

Poisson commence par rappeler le « principe des forces vives » tel que posé par d'Alembert :

$$mv_f^2 - mv_i^2 = 2 \int_i^f \sum F dx \quad (1)$$

L'accroissement des forces vives, entre deux positions successives du système, est égal au double de l'intégrale, prise entre ces limites, de la somme des forces qui ont agi sur tous ces corps multipliés chacun par l'élément de sa direction ; intégrale que l'on appelle la quantité d'action due à ces forces.

Poisson poursuit en indiquant que Coriolis établit le principe des forces vives, non dans le cas de mouvements absolus, mais dans le cas de mouvements relatifs, par exemple à l'intérieur d'une machine : dans le membre de gauche (les *forces vives* mv^2), ce sont les vitesses relatives qui interviennent dans ce cadre ; dans le membre de droite (la *quantité d'action*), il faudra retrancher les *forces d'entraînement*.

Ceci conduit, dans le texte de Coriolis, après quatre pages de calculs précis, au principe suivant qu'il écrit avant de l'énoncer :

$$\frac{mV_r^2}{2} - \frac{mv_r^2}{2} = \int P \cos(\widehat{Pds_r}) ds_r + \int P_e \cos(\widehat{P_e ds_r}) ds_r \quad (2)$$

Cette équation renferme ce théorème, que le principe des forces vives a encore lieu dans le mouvement relatif aux axes mobiles, pourvu qu'aux quantités d'action $\int P \cos(\widehat{Pds_r}) ds_r$, calculées avec les forces données P et les arcs ds_r décrits dans ce mouvement relatif, on ajoute d'autres quantités d'action qui résultent des forces P_e , qui sont égales et opposées à celles qu'il faudrait appliquer à chaque point mobile pour lui faire prendre le mouvement qu'il aurait s'il était invariablement lié aux axes mobiles.

Notons que Poisson avait simplifié la formulation : Coriolis utilise « les forces P_e égales et opposées » ; Poisson indique qu'on *retranche* « les composantes des forces qui produiraient les vitesses que les moteurs doivent au mouvement de la machine ». Coriolis dans

l'introduction de son second mémoire (celui de 1835) continuera à utiliser la même formule « *ajouter... d'autres forces opposées à celles qui...* »

On remarquera aussi l'insigne compliment que Poisson fait à Coriolis lorsqu'il juge que son résultat peut rejoindre ceux de la mécanique rationnelle :

Et le théorème sur la somme des forces vives relatives que son Mémoire renferme méritera, par sa simplicité, de trouver place, comme l'auteur le désire, dans les traités qui ont pour objet la mécanique rationnelle.

Analyse du mémoire de Coriolis

Ce mémoire – qui n'est pas simple quoiqu'en dise Poisson dans cette dernière citation – comprend 20 pages et 6 pages d'annexe : bien qu'*a posteriori* il ne soit qu'un cas particulier du résultat du second mémoire, il est plus volumineux et plus calculatoire que ce dernier, qui fait 13 pages : de fait, les résultats du second mémoire étaient en germe dans le premier, et Coriolis pour définir la «force centrifuge composée» n'aura qu'à reprendre à mi-chemin les calculs de son premier mémoire.

Le mémoire se compose de huit parties ainsi structurées :

(A) Introduction et énoncé des principaux résultats.

(B) « Démonstration du principe des forces vives appliqué aux mouvements relatifs quelconques ». Cette partie aboutit au « premier théorème de Coriolis ».

(C) « Recherche de la quantité d'action ou du travail transmis à la machine qui porte les axes mobiles ». Cette partie de portée générale aboutit à la quantité d'action Q (à noter que, bien que sa définition du travail date de 1829, Coriolis, hors le titre de cette partie, emploie systématiquement le terme « quantité d'action »).

(D) « Simplification dans le cas où les quantités de mouvement dues aux vitesses d'entraînement se font équilibre d'elles-mêmes dans la machine au dernier instant ».

(E) « Expression générale de la quantité d'action qu'il faut introduire dans l'équation des forces vives, en raison du mouvement des axes mobiles ».

(F) « Application aux cas où le mouvement de translation des plans mobiles est uniforme autour d'un axe de direction constante qui n'a qu'un mouvement de translation uniforme » ; cette partie renvoie pour un calcul pratique vers la note annexe (a).

(G) « Application de la formule qui donne la quantité d'action transmise à une roue hydraulique tournant autour d'un axe horizontal ».

(H) « De la pression que produit une veine fluide qui rencontre obliquement un plan fixe ou mobile » ; cette partie renvoie pour un calcul pratique vers la note annexe (a).



Dès l'introduction (partie A), Coriolis commence par poser les bases de son résultat :

...on peut appliquer l'équation des forces vives en y faisant entrer les vitesses relatives, et les quantités d'action ou de travail qui se rapportent aussi aux mouvements relatifs. Mais dans ces quantités d'action, en outre des forces qui sont immédiatement données et qui concourent au moment absolu, il faut en considérer d'autres dont il est facile d'indiquer la nature : elles sont opposées aux forces qu'il faudrait appliquer aux points matériels du système s'ils étaient libres, pour les obliger à conserver par rapport aux plans mobiles les positions relatives qu'ils ont à un moment donné (...)

Mais, dès le départ aussi, il met en garde contre la fausse évidence de l'énoncé :

(...) on se méprendrait si l'on regardait la proposition comme évidente, même dans cet exemple assez simple. Il est si peu évident qu'on doit introduire ces forces, que l'on arriverait à des résultats faux si l'on procédait ainsi pour toute autre équation que celle des forces vives.

Coriolis résume ainsi la portée du mémoire, tout en anticipant, de manière encore non consciente, les résultats du second mémoire. L'introduction des « forces d'entraînement » – et de celles-ci uniquement – n'est valable que pour le principe des forces vives, et aboutit au principe des forces vives dans le mouvement relatif, énoncé en (2) ci-dessus (ce que René Dugas appellera « premier théorème de Coriolis »). De fait, toute autre équation du mouvement relatif nécessite, en plus de la force d'entraînement, l'introduction de la « force centrifuge composée » (deuxième théorème de Coriolis, 1835) : comme celle-ci « ne travaille pas », la projection scalaire dans la direction du mouvement la fait disparaître, ce qui permet d'aboutir à (2). Cette phrase, qui apparaît dès l'introduction (« on arriverait à des résultats faux si l'on procédait ainsi pour toute autre équation que celle des forces vives ») nous permet de penser que l'idée du second théorème était peut-être déjà en germe chez Coriolis.

Dugas estime que Coriolis ne s'était pas arrêté, dans son premier mémoire, sur l'importance de son résultat, « pressé qu'il était d'aboutir au calcul de la quantité d'action transmise à des roues hydrauliques ». L'objectif est en effet clair chez Coriolis, revenant à plusieurs reprises – de quoi conforter à nouveau l'hypothèse émise par Belhoste & Lemaître :

Le but pratique de ces questions étant de trouver la quantité d'action transmise à la machine pendant qu'elle est entraînée (p.270)

Le but ordinaire de ce genre de problème de mouvement dans un système entraîné par une machine d'une manière donnée a priori, comme cela se présente pour les roues hydrauliques, est de trouver la quantité d'action transmise à la machine (p.277)

Il s'agit de calculer (...) la quantité d'action que reçoit la roue qui le porte, et par conséquent celle qu'elle communique à la machine dont elle est le moteur (annexe a, p.298)

La partie (B) du mémoire (p.272-277), après l'introduction, est la plus théorique et de portée la plus générale. Coriolis se place dans le cas de deux repères normés mais non orthogonaux, l'un pour les axes fixes, l'autre pour les axes mobiles, et donne les relations existant entre les coordonnées cartésiennes d'un même point dans les deux repères de la manière la plus générale. De la même manière, il exprime dans leur plus grande généralité les liaisons qui existent au cours du mouvement $L = 0$, $M = 0$, etc., et utilise les multiplicateurs de Lagrange pour projeter l'expression de ces liaisons sur les axes mobiles. Cette généralité est importante pour Coriolis, qui insiste (p.279) : « sans rien particulariser sur ces mouvements ».

Cette partie aboutit au résultat principal du texte, le « premier théorème de Coriolis », rappelé en (2) ci-dessus par Poisson.

D'importantes coquilles dans le JEP

La lecture des mémoires de Coriolis est assez difficile du point de vue mathématique, mais de plus certaines coquilles à des endroits cruciaux obligent le lecteur (que ce soit le lecteur actuel ou celui de l'époque) à des rectifications s'il veut suivre le raisonnement :

- p. 273, en bas, dernier système d'équations : remplacer x', y', z' par x_1, y_1, z_1 .
- p. 274, en bas, avant-dernier système d'équations : remplacer dans le membre de gauche dx par dx_1 ; ôter les coefficients m dans les trois équations ; dans la deuxième équation, membre de droite, remplacer le second dy par $d\eta$.
- p. 274, en bas, dernier système d'équations : remplacer dans le membre de gauche d_e^2x par $d_e^2x_1$ (idem pour y, z).
- p. 279, équation (C) : remplacer v par v_r .
- p. 279, dernière équation, enlever le premier terme m .
- p. 280, équation (D), manque \cos après le produit $v_r v_e$.
- p. 281, équation concluant la partie, facteur 2 en trop.
- p. 283, dernière équation, d^2a au lieu de da .
- p. 284, dernier système d'équations, de nombreuses incohérences : remplacer les parenthèses $(xdy - zdz)$ par $(xdy - ydx)$, $(ydz - xdy)$ par $(ydz - zdy)$; seule la deuxième parenthèse $(zdx - xdz)$ est correcte.
- p. 291, première équation, les indices e (pour entraînement) s'appliquent aux vitesses et non aux masses ; manque m dans le dernier terme.
- p. 291, deuxième équation, erreur de signe dans le dernier terme.



La partie (C) aboutit à la formule la plus générale de la quantité d'action transmise :

Telle est la formule générale du travail transmis à la machine à laquelle tiennent les axes mobiles.

La partie (E) est la plus longue et la plus difficilement accessible du mémoire, car elle ne semble donner aucun résultat particulier par rapport à (2). Coriolis détaille le dernier terme de la formule (2), le plus « nouveau » dans l'équation des forces vives, celui qui est à la base du premier théorème de Coriolis, $\int P_e \cos(\widehat{P_e ds_r}) ds_r$. Coriolis avait dès l'énoncé de son théorème le souci de l'expliciter :

Nous indiquerons plus loin le moyen de représenter ces forces et de simplifier les calculs des quantités d'action qui leur sont dues (p. 277, juste après le premier théorème qui introduit les forces d'entraînement P_e)

Revenons au calcul de $\int P_e \cos(\widehat{P_e ds_r}) ds_r$, en ne nous occupant plus des forces dues au mouvement de l'origine des axes mobiles (p. 282)

Coriolis n'évoquera que huit pages plus loin (p.290) le mouvement possible de l'origine, pour aussitôt annuler son effet dans la pratique (mouvement rectiligne uniforme de l'origine des plans mobiles). Cette partie (E) aboutit à la formule la plus générale de l'expression du nouveau terme de l'équation des forces vives, qui résulte des «forces d'entraînement »:

$$\sum \int P_e \cos(\widehat{P_e ds_r}) ds_r = \sum \frac{mV_e^2}{2} - \sum \frac{mv_e^2}{2} - 2 \sum m \int \frac{dN}{dt} d\sigma \quad (3)$$

le dernier terme étant lié à la variation de la vitesse de rotation des axes mobiles. Ainsi, quand la rotation est uniforme, ce terme est nul. Mais Coriolis tient à donner le résultat dans sa plus grande généralité, ce que le titre de sa partie (E) indique ; le terme $\sum \int P_e \cos(\widehat{P_e ds_r}) ds_r$ faisant son apparition dans l'équation des forces vives du mouvement relatif est lié à deux facteurs, qu'on voit en (3). Le premier facteur (à droite de l'équation) est la différence des forces vives due à la différence des vitesses d'entraînement dans le temps. Cette partie de l'équation est en effet à rapprocher du principe traditionnel des forces vives (1) ci-dessus : la variation d'une quantité d'action correspond à la variation des forces vives liées aux vitesses, en utilisant cette fois-ci les vitesses d'entraînement. Mais on ne saurait se contenter de cette analogie avec le principe traditionnel des forces vives, et il faut ajouter un second facteur, qui est la variation de la vitesse des axes mobiles dans le temps, représentée par le deuxième terme.

Ainsi, cette partie (E) complète assez bien le premier théorème : Coriolis vise à ramener à une expression connue (la première partie de (3)), et à voir quelle est la différence induite par son théorème, ce qui l'amène au dernier membre à droite de l'équation (3). On constate le souci de Coriolis de se rapprocher le plus possible du principe des forces vives traditionnel, et ainsi de s'inscrire, sur le fond comme sur la forme, dans la tradition lagrangienne de la mécanique rationnelle.



Les parties (F) (et sa note annexe (a)), (G), (H) (et sa note annexe (b)) sont, comme l'indique leur titre, des parties applicatives.

La partie (F) est illustrée par l'annexe (a), qui consiste en l'application des résultats à la théorie d'une roue à axe vertical mue par une chute d'eau, servant de moteur à un moulin ou à une usine. Coriolis se montre d'emblée plus concret dans l'annexe :

Au lieu d'appliquer directement les formules générales, nous reprendrons dans cet exemple les considérations qui y conduisent.

Coriolis simplifie donc ainsi considérablement la compréhension du sujet par rapport aux parties (A) à (F). Bien entendu, il utilise son théorème des forces vives dans le mouvement relatif, ou plutôt la quantité d'action correspondante (partie (B)) :

... la quantité d'action qu'il faut ajouter en vertu du principe établi dans ce mémoire, c'est-à-dire celle qui est due ici aux forces centrifuges de la rotation, ayant pour expression l'accroissement de force vive du au seul mouvement de rotation, sera $m\mathbf{w}^2/2 (R^2 - r^2)$

La formule (2), dite premier théorème de Coriolis, s'applique comme suit dans l'annexe (a), en reprenant la formule donnée par l'auteur (p. 299) :

$$\frac{mV_r^2}{2} - \frac{mv_r^2}{2} = mg(H - h) + \frac{m\omega^2}{2}(R^2 - r^2) \quad (4)$$

Le premier terme à droite de l'équation (4) représente le terme $\int P \cos(\widehat{Pds_r}) ds_r$, et le deuxième terme à droite de l'équation (4) représente le terme $\int P_e \cos(\widehat{P_e ds_r}) ds_r$ explicité dans les parties (E) et (F), et tel que $\int P_e \cos(\widehat{P_e ds_r}) ds_r = \frac{mV_e^2}{2} - \frac{mv_e^2}{2} = \frac{m\omega^2}{2}(R^2 - r^2)$, ce qui assure la cohérence avec la formule (3) de la partie (E), puisque nous sommes justement dans un cas d'application où $\int \frac{dN}{dt} d\sigma = 0$ (pas de variation de l'axe de rotation dans une roue à axe vertical).



La partie (G) n'est illustrée par aucune annexe, et elle semble écrite uniquement pour rectifier certains résultats de Poncelet, qui y est mentionné :

On peut appliquer les formules générales des articles précédents à la question du mouvement de l'eau dans les aubes courbes des roues de M. Poncelet.

Elle donne ce résultat important en conclusion :

... il s'ensuit que $SmV^2/2$ est plus grand que $Smv^2/2$, et qu'ainsi l'eau sort de la roue avec une force vive relative plus grande que celle qu'elle avait en y entrant

Mais, comme nous l'avons dit, ce sujet, même s'il a pu être à l'origine de la réflexion de Coriolis, n'est qu'une conséquence très particulière de l'ensemble de l'article.

LE SECOND MÉMOIRE, 1835

Paradoxalement, l'article de 1835 « Mémoire sur les équations du mouvement relatif des systèmes de corps », qui contient le résultat de la « force de Coriolis » (« second théorème de Coriolis » pour reprendre l'expression de R. Dugas), est moins complexe, moins long, moins charpenté (il ne comprend pas différentes parties) que l'article de 1831. Les résultats du second article sont largement en germe dans le premier article¹⁴⁹.

Différence avec le premier mémoire

Dès l'introduction de son second mémoire, Coriolis rappelle les limites de son article de 1831, à savoir qu'il ne s'appliquait qu'au principe des forces vives – c'est à dire à l'identité scalaire qui représente le bilan énergétique du mouvement – et non à d'autres équations du mouvement relatif. Coriolis va généraliser la démarche dans son second mémoire, en se posant les questions suivantes : peut-on utiliser les termes de correction liés aux vitesses d'entraînement dans d'autres équations du mouvement que le principe des forces vives ? si ce n'est pas le cas, peut-on « donner une expression simple des nouveaux termes de correction » ? Coriolis y répond dès son introduction :

Pour établir une équation quelconque de mouvement relatif d'un système de corps ou d'une machine quelconque, il suffit d'ajouter aux forces existantes deux espèces de forces supplémentaires ; les premières sont toujours celles auxquelles il faut avoir égard pour l'équation des forces vives, c'est à dire que ce sont des forces opposées à celles qui (...); les secondes sont dirigées perpendiculairement aux vitesses relatives et à l'axe de rotation des plans mobiles ; elles sont égales au double du produit de la vitesse angulaire des plans mobiles multipliée par la quantité de mouvement relatif projetée sur un plan perpendiculaire à cet axe.

Le mémoire de 1831 donnait une égalité scalaire, celle des forces vives. Le mémoire de 1835 donne une égalité vectorielle, beaucoup plus puissante, s'appliquant aux lois vectorielles du mouvement lui-même – comme le principe de la dynamique de Newton. Coriolis montre immédiatement, dans son introduction, que le résultat de 1831 est un cas particulier de son second résultat, autrement dit vérifie le résultat de 1835 dans le cas particulier du principe des forces vives : en effet, les seconds termes de correction (la « force de Coriolis F_c ») étant perpendiculaires aux vitesses relatives, le cosinus $F_c dsr$ est nul ; seuls subsistent, dans le membre de droite du principe des forces vives, les premiers termes de correction, ceux du premier mémoire.

149. Nous nous sommes interrogé sur le délai entre les deux articles – ce d'autant que les résultats du second se tirent facilement du premier : peut-être avons-nous un élément de réponse avec la note manuscrite de Coriolis [ASM-AAS] qui date de 1832 le manuscrit du second article, qui ainsi n'aurait été publié qu'en 1835.

C'est dans cette disparition de ces forces centrifuges composées que consiste le théorème que j'ai présenté à l'Académie des Sciences, en 1831. Il devient maintenant un cas particulier de l'énoncé plus général sur l'introduction des ces forces centrifuges composées.

Analyse du résultat et comparaison avec les notations modernes

La démonstration de Coriolis est largement engagée dans le mémoire de 1831. Il se sert d'un résultat intermédiaire du premier mémoire (p. 275) pour aboutir très vite au résultat de son second mémoire (p.146), en donnant l'équation du mouvement comme suit :

$$m \frac{d^2x}{dt^2} = 2 \left(rm \frac{dy}{dt} - qm \frac{dz}{dt} \right) + X - X_e + \lambda \frac{dL}{dx} + \mu \frac{dM}{dx} + \text{etc.} \quad (4)$$

Analysons les différents termes de cette équation du mouvement, qui est une équation vectorielle en x, y, z (nous n'avons écrit que l'équation en x) :

- Le terme de gauche de l'égalité représente $m\mathbf{g}$ \mathbf{g} étant l'accélération dans le repère mobile.
- Le deuxième terme de droite (X) représente les forces appliquées, mesurées dans le repère mobile.
- Le troisième terme de droite (X_e) représente le terme correctif du premier mémoire, tel que défini par Coriolis.
- Enfin, le premier terme de droite représente l'opposé de la « force centrifuge composée », dont Coriolis nous donne les trois composantes sur les axes mobiles :

$$\begin{aligned} & 2 \left(m \frac{dy}{dt} - qm \frac{dz}{dt} \right) \\ & 2 \left(pm \frac{dz}{dt} - rm \frac{dx}{dt} \right) \\ & 2 \left(qm \frac{dx}{dt} - pm \frac{dy}{dt} \right) \end{aligned}$$

On reconnaît l'expression des coordonnées de la force de Coriolis (ici son opposé), qu'on écrit en notations modernes : $2m\vec{V} \wedge \vec{\Omega}$ (produit vectoriel), le vecteur \mathbf{V} étant le vecteur vitesse dans le repère mobile, de coordonnées $(dx/dt, dy/dt, dz/dt)$, le vecteur \mathbf{W} étant la vitesse angulaire de rotation des « plans mobiles », de coordonnées (p, q, r) .

Notons aussi que l'équation du mouvement [(4) ci-dessus pour la coordonnée x , et les deux autres équations non représentées pour les coordonnées y et z] constitue une équation vectorielle analogue à la l'équation newtonienne de la dynamique $\vec{F} = m\vec{\gamma}$. Coriolis réécrit donc ainsi une équation vectorielle du mouvement relatif, qui n'est plus

$\vec{F} = m\vec{\gamma}$, mais à laquelle on a ajouté deux termes correctifs, \mathbf{F}_e la force d'entraînement (donnée par les $-X_e, \dots$), et \mathbf{F}_c la force de Coriolis :

$$\vec{F} + \vec{F}_e + \vec{F}_c = m\vec{\gamma}$$

La désignation de « forces centrifuges composées ».

Coriolis utilise l'appellation « forces centrifuges composées » (au pluriel) pour désigner le terme correctif. Il est intéressant de voir comment et pourquoi Coriolis introduit ce terme, ce d'autant que la notion de force centrifuge n'est pas utilisée dans le premier mémoire. Coriolis fait l'analogie dès le début du second mémoire.

Ces dernières ont la plus grande analogie avec les forces centrifuges ordinaires. Pour mettre en évidence cette analogie, il suffit de remarquer que la force centrifuge est égale à la quantité de mouvement multipliée par la vitesse angulaire de la tangente à la courbe décrite, et qu'elle est dirigée perpendiculairement à la vitesse et dans le plan osculateur, c'est à dire perpendiculairement aussi à l'axe de rotation de la tangente. Ainsi, pour passer de ces forces centrifuges ordinaires aux secondes forces dont les doubles entrent dans l'énoncé précédent, on n'a qu'à remplacer la vitesse angulaire de la tangente par celle des plans mobiles, et substituer à la direction de l'axe de rotation de cette tangente, la direction de l'axe de rotation de ces mêmes plans mobiles.

Si l'on essaie de traduire cette analogie en termes modernes (et bien que maintenant cette analogie entre force centrifuge et force centrifuge composée ait été complètement abandonnée dans la présentation et l'enseignement de la force de Coriolis), on peut écrire:

Force centrifuge simple = valeur scalaire $mV\omega$ (quantité de mouvement mV multipliée par vitesse angulaire de la tangente ω)
= direction perpendiculaire à la vitesse et « à l'axe de rotation de la tangente »

Force centrifuge composée = $m\vec{V} \wedge \vec{\Omega}$ = valeur $mV\Omega$ (quantité de mouvement mV multipliée par vitesse angulaire des plans mobiles Ω ¹⁵⁰)
= direction perpendiculaire à la vitesse et « à l'axe de rotation des plans mobiles »

C'est ce qui permet à Coriolis d'écrire, à propos des « forces centrifuges composées » :

Ces dernières forces ont la plus grande analogie avec les forces centrifuges ordinaires.

150. On suppose ici V et Ω orthogonaux, ce qui ne fait pas intervenir le cosinus de leur angle.

Si l'on comprend l'analogie avec la force centrifuge, à aucun moment Coriolis n'explique l'utilisation du terme « composées » - cette explication ne semble pas figurer dans la littérature non plus : on peut penser que la vitesse de rotation \mathbf{W} est *composée* – par l'intermédiaire du produit vectoriel – avec la vitesse du mobile \mathbf{v} .

On notera au passage que Coriolis définit une notion de force centrifuge composée dont le double intervient dans son résultat, ce qui l'oblige à parler à chaque fois du « double des forces centrifuges composées ». On ne peut manquer de remarquer qu'il s'était élevé auparavant contre l'emploi du terme « forces vives » pour mv^2 , obligeant toujours à parler de la seule quantité physique intéressante, $\frac{1}{2}mv^2$, comme « la moitié des forces vives ».

On voit donc que, pour passer des forces centrifuges ordinaires aux secondes forces dont les doubles entrent dans les équations du mouvement relatif, il suffit de substituer en même temps, à l'axe de rotation de la tangente, à la vitesse angulaire, et à la quantité de mouvement du point mobile ; l'axe de rotation des plans mobiles, la vitesse angulaire de ces plans, et la quantité de mouvement projeté sur un plan perpendiculaire à cet axe. Ces secondes forces centrifuges (...), on peut les nommer forces centrifuges composées.

L'acception moderne de la force de Coriolis est bien $2m \mathbf{v} \wedge \mathbf{W}$, avec le coefficient 2 ; Coriolis n'a quant à lui pas franchi le pas d'inclure le coefficient 2 dans ce qu'il désigne sous le nom de « forces centrifuges composées ».



On notera la différence entre les titres des deux mémoires : le premier ne porte que sur « le principe des forces vives dans les mouvements relatifs des machines » ; le second sur « les équations du mouvement relatif des systèmes de corps ». Le terme « équations du mouvement » prime sur le terme « principe des forces vives », et le généralise ; le terme « mouvement relatif de systèmes de corps » prime sur le terme « mouvements relatifs des machines », et le généralise. La portée du second mémoire est beaucoup plus générale ; comme le pluriel a disparu au profit du singulier, le terme « machines » a disparu ; et, de fait, les applications du second mémoire dépasseront largement le cadre de l'étude des machines : le pendule de Foucault, la météorologie, le géomagnétisme terrestre font intervenir les équations vectorielles du mouvement contenues dans le second mémoire – ce alors que ces applications ne font intervenir ni le principe des forces vives ni une quelconque conservation de l'énergie.

DÉBATS AUTOUR DE LA FORCE DE CORIOLIS – POSTÉRITÉ

La postérité de la « force centrifuge composée » mériterait à elle seule une étude, tant est devenue célèbre de nos jours « la force de Coriolis » – mieux connaître qui se

cachait derrière ce nom était d'ailleurs, nous l'avons dit, une des motivations du présent travail.

Nous avons vu que, de son vivant, Coriolis a la satisfaction de voir la force centrifuge composée entrer dans les manuels de mécanique rationnelle. Mais cela paraissait, peut-être, comme un artifice issu de la théorie des machines, auquel il fallait faire attention si on ne voulait pas faire d'erreurs de calcul (*cf.* ce qui était arrivé à Poncelet pour sa roue à aubes), mais qui ne changeait somme toute pas tellement le raisonnement – telle une astuce de calcul dont l'omission ne changeait pas fondamentalement l'analyse d'un phénomène. Nous verrons d'ailleurs qu'encore maintenant, la force de Coriolis est parfois désignée – en un certain sens – comme une force *fictive*.

Mais Coriolis était sans doute loin d'imaginer ce qui allait se passer à peine huit ans après sa mort – une vérification expérimentale étonnante de la force centrifuge composée dans un domaine fondamental sans rapport avec la théorie des machines !

Le pendule de Foucault (1851)

C'est presque un cas d'école en histoire des sciences, où deux résultats *liés* sont mis en évidence *indépendamment* à si peu de temps d'intervalle (une quinzaine d'années). D'autre part, tout sépare Foucault de Coriolis : Foucault est physicien (*cf.* ses expériences sur la vitesse de la lumière), intéressé par l'astronomie, plutôt expérimental, *self-made man* (son premier diplôme est sa thèse de physique en 1853, à trente quatre ans), par ailleurs journaliste scientifique (au *Journal des Débats*) et vulgarisateur ; Coriolis est d'une autre génération (vingt-sept ans les séparent), de formation mathématique, plutôt théoricien, brillant polytechnicien ingénieur des Ponts, fort peu penché sur la communication ou la vulgarisation scientifiques.



L'expérience du pendule de Léon Foucault au Panthéon de Paris, en 1851. Ce pendule est réinstallé au Panthéon en 1995. © Illustration Conservatoire national des arts et métiers.

D’ailleurs, leurs chemins ne se sont pas croisés – leurs résultats arrivent tout à fait indépendamment. Dugas enfonce le clou comme suit en concluant son chapitre IV consacré au mouvement relatif :

Force centrifuge composée au sens de Coriolis et pendule de Foucault sont deux conquêtes essentielles de la mécanique, l’une d’origine surtout mathématique, l’autre fruit d’une géniale intuition de physicien, que les traités aujourd’hui classiques réunissent dans une même explication rationnelle, mais qui sont nés séparément : ce n’est pas la lecture de Coriolis qui a inspiré l’expérience de Foucault.

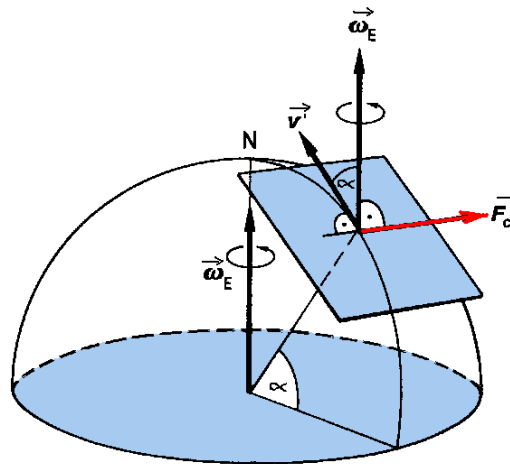
Costabel [1981] s’est aussi penché sur ce sujet. En ce qui concerne l’aspect théorique, il pense que les promoteurs de la mécanique au XVIII^e siècle et au début du XIX^e étaient « plus préoccupés de développer toutes les conséquences mathématiques des principes posés pour l’analyse dynamique du mouvement que d’instituer une réflexion sur l’incidence que pouvait avoir dans cette analyse l’attention portée au repère du mouvement » - il souligne dans ce contexte le caractère remarquable de la démarche de Coriolis. En ce qui concerne l’aspect pratique, il indique avec raison que le pendule de Foucault doit plus « au sens aigu de l’expérimentation de son auteur plutôt qu’à une claire vision théorique du problème ». Et, paraphrasant Dugas dans un style moins concis mais plus académique, il conclut, à propos de ces deux résultats :

Nées séparément, les traités classiques les réunissent depuis le début du XX^e siècle dans une même explication rationnelle, mais si celle-ci a mis longtemps à s’élaborer, c’est précisément à cause de la difficulté à faire ressortir de ces deux conquêtes leur leçon commune et essentielle.



Mais un autre résultat expérimental, moins connu de nos jours et moins étudié que le pendule de Foucault, avait été découvert auparavant, dans un tout autre contexte. Ferdinand Reich, chimiste et physicien allemand (1799-1882) avait mis en évidence en 1833 la déviation des corps pesants vers l’Est : dans un puits de mine de Freiberg (Saxe), d’une profondeur de 158 m, il avait mesuré en moyenne, après 106 essais, une déviation de 28,3 mm. Cette déviation vers l’est se calcule conformément à la formule vectorielle de Coriolis $2\mathbf{W} \wedge \mathbf{v}$: elle vaut $2/3\omega T_0 h \cos\alpha$, où ω est la vitesse de rotation de la Terre, h la hauteur de chute et α la latitude du lieu. Poisson lui-même, dans une communication de 1837 à l’Académie des sciences¹⁵¹, avait étudié cette déviation des graves, reprenant les expériences de Reich – mais sans faire de lien avec les travaux de Coriolis.

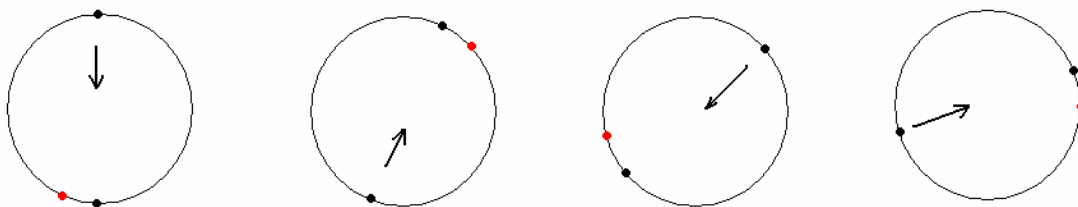
151. « Extrait de la première partie d’un Mémoire sur le mouvement des projectiles dans l’air, en ayant égard à leur rotation et à l’influence du mouvement diurne de la Terre », *Comptes-rendus de l’Académie des sciences*, 1837, t.5, p.660-668 (séance du 13 novembre 1837). Persson [2005] indique que l’article de 1835 de Coriolis a influencé Poisson : c’est bien possible, mais nous n’avons aucun élément pour confirmer cela.



Représentation de la force de Coriolis, dirigée vers l'Est pour un mobile situé se rapprochant de l'axe de rotation de la Terre ($F_c = 2m\mathbf{v}\sin\alpha$). Pour être le plus concis possible pour décrire l'effet Coriolis (dans le cas simplifié d'un mobile à la surface terrestre, on a le choix entre deux assertions équivalentes : 1°/ tout mobile se rapprochant de l'axe de rotation terrestre subit une déviation vers l'est, tout mobile s'en éloignant subit une déviation vers l'ouest ; 2°/ tout mobile dans l'hémisphère Nord subit une déviation vers sa droite ; tout mobile dans l'hémisphère Sud subit une déviation vers sa gauche.

Foucault connaissait ce résultat à travers l'article de Poisson qui le mentionne. Or, comme il le note à propos de cet effet de déviation (Foucault [fév. 1851]), «le pendule présente l'avantage d'accumuler les effets et de les faire passer du domaine de la théorie dans celui de l'observation». Ce sont bien les remarquables conditions d'expérimentation «qui minimisent l'amortissement des lentes oscillations [du pendule] et permettent de prolonger assez longtemps l'observation pour profiter de "l'accumulation des effets" » (Costabel [1981]).

Il est à noter que Foucault cite Poisson, mais pas Coriolis dont il ne connaissait certainement pas les travaux : sa base théorique est celle de l'effet de déviation de Poisson. Notons aussi que la vision de Foucault est principalement fondée sur des domaines sans rapport avec ceux de Coriolis – l'astronomie fondamentale et la mécanique céleste : il veut démontrer le mouvement diurne de la Terre, comme l'indique le titre de son article de 1851 aux *Comptes-rendus*.

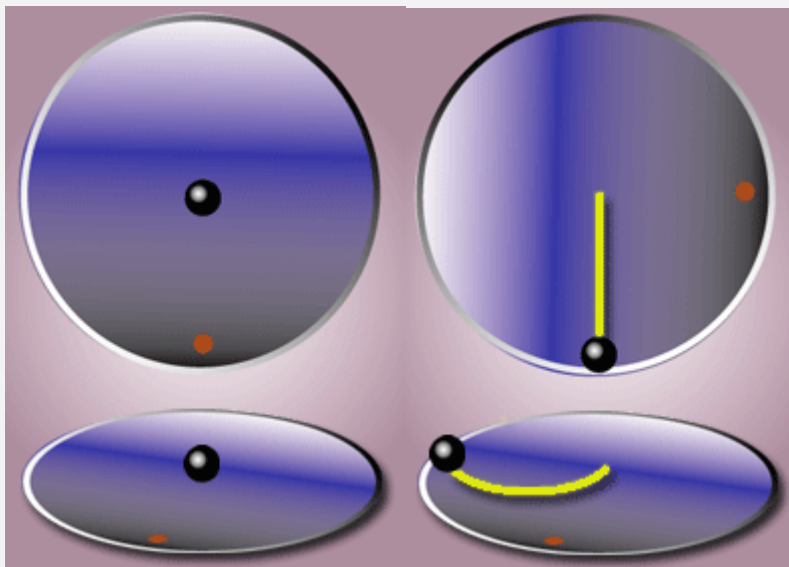


Explication graphique du pendule de Foucault par l'effet Coriolis. *À gauche, le pendule lancé de midi vers 6h est dévié vers sa droite par la force de Coriolis, il arrive à environ 7h (point rouge) ; disque suivant, on a remplacé le point rouge à 7h par un point noir : lancé de ce point vers 1h, le*

pendule est dévié vers sa droite par la force de Coriolis et arrive à 2h (point rouge), et ainsi de suite. Sur ces quatre schémas, en eux allers-retours du pendule, le plan d'oscillation de celui-ci a déjà tourné d'un quart de tour (NB : la représentation est ici schématique, la rotation du plan du pendule se fait en fait bien plus lentement, mais suivant ce même schéma). Comme écrit Foucault [1851], « il m'a semblé que la masse du pendule peut être assimilée à un projectile qui dévie vers la droite quand il s'éloigne de l'observateur » (dessins A. Moatti)

Relativité des repères et mouvement de rotation

La force de Coriolis peut se visualiser, de manière cinématique et sans calcul, dans le schéma ci-dessous. Une boule tombe vers le bas dans un repère absolu. L'observateur (point rouge) est dans un repère non absolu, lié à un disque qui tourne dans le sens contraire des aiguilles d'une montre. En position de droite, la boule est tombée (en repère absolu), tandis que le disque a fait un quart de tour – et l'observateur s'est déplacé d'un quart de tour avec lui. Ce qu'a vu l'observateur dans le repère en rotation est la courbe décrite par le mobile en bas à droite : le mobile lui paraît avoir courbé sa trajectoire vers la droite.



Il y a entre les repères en rotation (ici le disque, ou une roue à aubes, ou le globe terrestre) une différence importante avec les repères en translation. Le principe de relativité des mouvements ne s'y applique pas, puisque l'objet en rotation est un référentiel non inertielle.

Dans les repères en translation, on peut dire avec Galilée que « le mouvement est comme rien » - c'est l'image de la boule lancée du haut du mât d'un bateau et qui tombe au pied du mât. Dans un repère en rotation par rapport à un repère galiléen, il n'en est rien.

Vifs débats autour de l'approche de Coriolis : Joseph Bertrand en 1847

Nous verrons plus avant comment le lien est progressivement fait entre le pendule de Foucault et la force centrifuge composée de Coriolis. Mais savant l'expérience de Foucault, l'œuvre de Coriolis va être au purgatoire, et Coriolis critiqué de manière inattendue.

C'est le jeune Joseph Bertrand qui lance la salve ; à peine quatre ans après la mort de Coriolis, en 1847, dans le même *Journal de l'École polytechnique* dans lequel celui-ci avait publié ses deux résultats. Il compare le mémoire de 1742 de Clairaut à celui de Coriolis, en parlant d'un « principe qui n'est démontré dans le Mémoire le plus récent que par des calculs compliqués », opposant ces calculs à l'évidence et à la limpidité de la démarche de Clairaut. Joseph Bertrand enfonce même le clou en croyant pouvoir en tirer un principe épistémologique, en introduction de son article :

(...) trop souvent, après avoir étudié la mécanique analytique, on croirait faire une chose inutile en cherchant à compléter l'étude de cette science par la lecture des travaux épars dont les prédécesseurs de Lagrange ont enrichi les recueils académiques du XVIII^e siècle. Je crois que cette tendance, malheureusement très générale, est de nature à nuire aux progrès de la mécanique, et qu'elle a déjà produit de fâcheux résultats : la trop grande habitude de tout déduire des formules fait perdre jusqu'à un certain point le sentiment net et précis des vérités mécaniques considérées en elles-mêmes; et si la science a gagné d'une manière incontestable à l'introduction de ces méthodes si générales, on peut dire que, par compensation, chaque question doit néanmoins se présenter sous un jour moins lumineux, et qu'enfin les procédés analytiques dont on fait aujourd'hui un si grand usage sont plus propres à convaincre l'esprit qu'à l'éclairer, en lui permettant de suivre d'une manière intuitive les relations des effets avec les causes.

Ces réflexions ne se sont jamais présentées à moi avec plus de force qu'après la lecture successive de deux Mémoires dans lesquels le même sujet est traité, à près de cent ans de distance, par Clairaut et par M. Coriolis.

L'attaque est frontale : Coriolis aurait fait comme Clairaut cent ans avant, et de manière plus compliquée – et en suivant Coriolis, on perdrait l'entendement du thème. Cette diatribe de Joseph Bertrand peut être rangée parmi les vitupérations contre l'abstraction mathématique en physique (*a fortiori* en mécanique) que l'on peut trouver à travers les âges – les attaques contre les formules « abstraites » de la théorie de la relativité en seront un autre exemple. D'un autre côté, Joseph Bertrand n'a pas tout à fait tort quand il impute à Lagrange, puis à Coriolis, un éloignement des réalités mécaniques. L'avertissement de Joseph-Louis Lagrange dans sa *Mécanique analytique* était clair :

On ne trouvera point de Figures dans cet Ouvrage. Les méthodes que j'y expose ne demandent ni constructions, ni raisonnements géométriques ou mécaniques, mais seulement des opérations algébriques, assujetties à une marche régulière et uniforme. Ceux qui aiment l'Analyse, verront avec

*plaisir la Mécanique en devenir une nouvelle branche, et me sauront gré d'en avoir étendu ainsi le domaine*¹⁵².

De cette citation, on connaît surtout la deuxième partie citée à de maintes reprises ; la première partie est en elle-même intéressante, elle ouvre une école de mécanique théorique. Les ouvrages sans figures de Coriolis s'inscrivent, d'une certaine manière, dans cette tradition. Dans le *Traité de mécanique* (reprise posthume du *Calcul de l'effet des machines*), ouvrage de 337 pages, on ne trouve qu'une page de figures en fin d'ouvrage, contenant 12 figures géométriques – et non des figures de roues ou de turbines comme on peut en trouver chez Poncelet.



Mais le problème, chez Clairaut, c'est qu'il ne démontre qu'une partie du sujet¹⁵³. Comme le souligne Dugas, il parvient à estimer l'accélération d'entraînement, mais ses résultats sont incomplets : ne s'intéressant qu'aux forces vives (égalité scalaire), il ne met pas en évidence la force centrifuge composée. Dugas entreprend de corriger le raisonnement de Clairaut, comme Bertrand l'avait fait cent ans auparavant.

L'Académie d'ailleurs, dans son rapport sur le mémoire de J. Bertrand, n'emboîte pas le pas à la forme du discours de ce dernier, et modère son propos. Pour les forces d'entraînement, le rapport de Combes¹⁵⁴ indique que Coriolis n'avait pas lu le mémoire de Clairaut, qui portait sur la mécanique d'un point matériel ; ce faisant, Coriolis a donné « l'expression *analytique* des forces capables de produire les mouvements relatifs d'un *système quelconque* de corps » (c'est nous qui soulignons) ; il est arrivé au résultat suivant lequel il convient « d'ajouter aux forces données, les forces que Clairaut avait indiquées ». Concernant les forces centrifuges composées, le rapport de Combes redonne clairement à César ce qui est à César. Il parle d'ailleurs, sans doute pour la première fois¹⁵⁵, du « théorème de Coriolis », et on peut dater de ce rapport la claire attribution de ce résultat à Coriolis par ses successeurs :

C'est donc à Coriolis que revient l'honneur d'avoir donné, le premier, l'expression exacte et complète des forces qu'il faut ajouter aux forces réellement appliquées à un système de corps, pour former les équations des mouvements relatifs de ce système, dans un milieu doué d'un mouvement quelconque de translation et de rotation. Le résultat de ses recherches simplifie beaucoup plusieurs questions de mécanique appliquée et de mécanique générale, parmi lesquelles nous citerons la théorie des roues à force centrifuge et des roues à réaction, objet de plusieurs Mémoires d'Euler, imprimés dans le

152. Extrait des registres de l'Académie royale des Sciences, 27 février 1788.

153. Costabel [1981] pense, contrairement à Dugas, que le mémoire de Clairaut n'a pas échappé à la lecture de Coriolis. Mais il partage globalement l'avis de Dugas sur cet article, le qualifiant de résultat « incomplet qui, appliqué seulement dans des cas favorables, n'avait cependant pas donné des résultats inexacts ».

154. « Rapport sur un mémoire de M. Joseph Bertrand, concernant la théorie des mouvements relatifs », Commissaires MM. Cauchy, Lamé, Combes rapporteur, *Comptes-rendus de l'Académie des sciences*, 1848 (t.27), p. 210-213.

155. Sans doute la première mention sous la plume d'un académicien, cinq ans après la mort de leur collègue Coriolis. On trouve néanmoins en 1844 une mention du « beau théorème de M. Coriolis » dans un ouvrage de Reech (p.140) présenté à l'Académie.

Recueil de l'Académie de Berlin ; la question du mouvement des projectiles, en ayant égard au mouvement diurne de la terre, sur laquelle nous avons un Mémoire de Poisson, publié en 1839.

L'Académie nous donne aussi dans ce rapport une clef sur la démarche de Coriolis en 1831 – et à cet égard on peut savoir gré à Bertrand d'avoir soulevé le sujet de la comparaison avec Clairaut :

Le principe établi par Clairaut, dans le Mémoire de 1742 paraît, au reste, presque évident, de sorte que beaucoup d'auteurs en ont fait l'application, sans connaître la démonstration de Clairaut, et sans s'inquiéter d'en donner une. Comme ils ont traité exclusivement des questions de mécanique appliquée, en ne faisant usage que de l'équation des forces vives, les résultats ne sont entachés d'aucune erreur. Aussi le premier Mémoire de Coriolis a-t-il excité une espèce de surprise : on a paru étonné qu'il eût recours au calcul, pour établir un principe aussi simple et qu'on tenait pour démontré; car chacun s'était fait pour lui-même si nous pouvons ainsi parler, la démonstration de Clairaut. Cependant la notion des forces centrifuges composées avait échappé à tout le monde, comme à Clairaut.



En fait, ce qui gênera nombre de scientifiques (et notamment nombre de mathématiciens de la mécanique rationnelle, tels Bertrand) est l'approche purement dynamique de Coriolis, qui part de l'équation vectorielle du mouvement. Ils chercheront à obtenir le même résultat de manière cinématique, sans considération aucune de forces : c'est ce que font Joseph Bertrand en 1847 comme René Dugas en 1941. C'était l'approche de Clairaut en 1742 – conduisant toutefois à un résultat incomplet et erroné. C'était aussi l'approche d'Ampère en 1829 – mais son article portait sur un cas très particulier.

Bélangier lui-même – dont on connaît l'admiration et l'attachement à l'œuvre de Coriolis – en fait, la même année que Bertrand¹⁵⁶, une démonstration cinématique simple, et ramenée à un cas particulier ("à la Ampère") : en qualifiant cette découverte comme « l'un des plus beaux titres [de Coriolis] au souvenir du monde savant », il écrit (Bélangier [1847]) :

La découverte de cette belle théorie appartient à Coriolis, qui l'a démontrée avec la généralité que comporte l'analyse infinitésimale. J'ai tâché d'en rendre la démonstration élémentaire en me bornant au seul cas utile dans la théorie des machines, celui du mouvement de rotation autour d'un axe fixe.

C'est encore l'approche d'Édouard Lucas en 1876, quand il donne une « Démonstration nouvelle du théorème de Coriolis » dans les *Nouvelles annales de mathématiques*, journal à caractère plus pédagogique que scientifique puisque c'était la revue de préparation des candidats à Polytechnique. Son article de cinématique se conclut comme suit :

156. L'Académie (rapport Combes) prend soin d'assurer que les démarches de Bertrand et de Bélangier, se situant toutes deux dans l'année 1847, furent indépendantes.

L'accélération apparente d'un point dans le mouvement relatif est la résultante 1° de l'accélération absolue de ce point ; 2° de son accélération d'entraînement ; 3° de l'accélération centrifuge composée $2\omega v \sin \alpha$

Rien de nouveau sous le soleil, puisque ce sont exactement les résultats de 1831 & 1835 de Coriolis – avec une démonstration et une approche totalement différentes. Laissons Dugas – qui a pas mal réfléchi sur la question – exprimer une idée assez largement répandue, en conclusion de son article de 1941 titré « Sur l'origine du théorème de Coriolis » :

L'histoire que nous racontons ici n'a qu'un intérêt rétrospectif, puisque le progrès didactique est certain. Il serait évidemment déraisonnable d'inciter un jeune étudiant à aborder le théorème de Coriolis par la voie même dont il est issu.

On ne saurait être plus clair.



Un autre point d'achoppement se fera jour assez rapidement aussi autour de la force centrifuge composée – c'est ce que certains appellent son caractère *fictif*. En effet, elle n'existe que parce que l'observateur se trouve dans un référentiel en rotation (référentiel non inertiel) ; pour un observateur situé dans un référentiel inertiel (ou galiléen), pour le même mouvement observé, elle ne s'applique pas. Or, il est clair que dans le repère lié à la roue à aubes ou dans le repère lié à la Terre, le mobile subit une déviation provenant... d'une force. Comme le dit ironiquement Persson, historien suédois spécialiste de la météorologie :

Many textbooks are anxious to tell the student that the Coriolis force is a "fictitious force", "an apparent force", "a pseudoforce", or "mental construct". The centrifugal force, however, although equally fictitious, is almost always talked about as a force. This leaves the impression that some fictitious forces are more fictitious than others.

Ce débat entre scientifiques, pointé ici pour certains manuels par Persson, est en fait récurrent : suivant le repère dans lequel on fait les calculs, on fait intervenir ou non la force de Coriolis. Ce débat n'est pas spécifique de la force centrifuge composée, il concerne aussi la force centrifuge. Pour cette dernière, on le retrouve dans des problèmes de mécanique céleste (mouvement des planètes) ou dans des calculs de marée : certains astronomes préfèrent faire les calculs dans le référentiel en rotation, d'autres dans le référentiel galiléen. Joseph Bertrand, à nouveau lui, se classera clairement dans cette deuxième catégorie : pour lui ces forces fictives (force centrifuge ou force centrifuge composée) n'ont pas grande signification.

Le débat Bertrand-Babinet-Delaunay sur l'érosion des cours d'eau (1859)

Ce n'est que progressivement que le corps scientifique en arrive à accepter le concept de Coriolis dans toute sa généralité, en le sortant de son champ d'application initial et en faisant abstraction de l'approche démonstrative. Après avoir été redémontré de manière cinématique et extrait de la théorie des machines, le théorème de Coriolis sera en mesure d'expliquer un certain nombre de phénomènes, comme le pendule de Foucault ou l'érosion des cours d'eau.

C'est Charles-Eugène Delaunay (1816-1872) qui, en France, contribuera le plus à faire comprendre la généralité d'application des résultats de Coriolis. En 1856, dans son *Traité de mécanique rationnelle*, il n'utilise qu'une forme passive sans citer Coriolis :

La seconde force apparente a reçu le nom de force centrifuge composée.

Mais le mouvement est lancé : c'est en utilisant cette force que Delaunay donne une base théorique à l'expérience de Foucault : quatre ans après celle-ci, ceci constitue une de ses premières explications dans un manuel.



Quelque temps après, en 1859, un débat assez virulent a lieu entre Joseph Bertrand (à nouveau), Babinet et Delaunay, où ce dernier va évoquer de manière déterminante Coriolis, contre Bertrand.

Jacques Babinet (1794-1872), en ce qui le concerne, parle d'un théorème de Foucault qui « rectifie et complète plusieurs théories admises et professées par des savants du premier ordre » (entendez Coriolis, notamment), selon lequel un point libre marchant vers l'ouest avec une vitesse acquiert « vers le nord, c'est-à-dire vers la droite », une vitesse relative égale à $\omega a \sin \lambda$. Mais c'est surtout Delaunay qui ouvre, en défense de Babinet, une joute avec Bertrand sur l'usure des cours d'eau – qui est une application de la force de Coriolis : Bertrand pensait que seuls les cours d'eau dirigés suivant les méridiens érodaient leur rive droite (et non les cours d'eau dirigés d'est en ouest) ; Delaunay lui montre le contraire.

Pour ce faire, Delaunay fait explicitement référence à Coriolis, tout en mettant l'accent sur la simplification faite de sa démarche :

L'étude de ces mouvements relatifs, la recherche des particularités qu'ils présentent et qui peuvent les faire distinguer des mouvements absolus, est extrêmement délicate. La marche qui me semble la plus convenable pour y arriver, consiste à s'appuyer sur une théorie fort ingénieuse que nous devons à Coriolis, et qui a été tellement simplifiée dans ces dernières années, qu'elle a pu être introduite dans l'enseignement ordinaire de la mécanique rationnelle : je veux parler de la théorie des forces apparentes dans les mouvements relatifs.

Delaunay donne acte à Coriolis du fait qu'il a nommé la *force centrifuge composée*, qu'il en a « complètement déterminé la valeur, la direction et le sens », et qu'elle

(...) donne lieu à la rotation du plan d'oscillation du pendule, dans l'expérience de M. Foucault ; c'est elle qui produit les mouvements qu'on observe dans le gyroscope du même physicien ; c'est elle enfin qui intervient dans le mouvement des cours d'eau, et qui tend à porter les eaux vers la rive droite de leur lit.

Il donne l'expression simplifiée de la force centrifuge composée $2m\omega\sin\alpha$.

Le débat se poursuit ensuite entre Delaunay et Bertrand. Ce dernier confirme sa répugnance à utiliser «les forces centrifuges composées de Coriolis» ; c'est précisément parce qu'elles sont « fictives » qu'elles « ne paraissent pas de nature à faire bien comprendre le mécanisme du phénomène ». Mécanisme du phénomène [sic] que Bertrand ne semble pas bien comprendre lui-même, puisqu'il arrive à un résultat erroné sur les cours d'eaux est-ouest : peut-être est-ce, aussi, pour Bertrand, une manière de rejeter sa propre faute sur Coriolis ?

Laissons là aussi le mot conclusif, particulièrement pertinent, à Delaunay :

M. Bertrand (...) semble répugner à se servir des forces fictives de Coriolis pour arriver à l'explication des phénomènes réels qui nous manifestent l'existence de la rotation de la terre. Je n'ai pas la prétention de dire que la théorie de Coriolis peut seule en rendre compte. Mais je viens de faire voir que cette théorie conduit très facilement à une idée nette et précise de la manière dont les choses doivent se passer. J'ajoute que de quelque manière qu'on raisonne, en suivant une autre marche, on doit arriver identiquement aux mêmes résultats (...)

Finalement, il semble que ce débat de 1859 à l'Académie des sciences, avec cette prise de position de Delaunay, acte le fait qu'il convient d'attribuer à Coriolis l'idée et la théorisation des forces centrifuges composées¹⁵⁷. Les arguments effectifs apportant un bémol à la théorie de Coriolis (approche par la dynamique trop compliquée, possibilité de faire les calculs dans un repère inertiel sans forces « fictives ») ont certes été reconnus, mais le corps savant lui reconnaît l'idée originelle et le cite. À partir de cette date, l'ensemble des applications afférant à la théorie de Coriolis (pendule de Foucault, érosion des cours d'eau) lui est clairement rattaché, même si l'on parle non de *force de Coriolis* mais de *forces centrifuges composées*. Par exemple, en 1863, dans un mémoire assez scolaire à l'Académie¹⁵⁸, Finck explique un passage de l'*Astronomie* d'Arago sur la déviation des corps graves en s'aidant de « la théorie des mouvements relatifs de Coriolis », et en utilisant ses équations : le pli est pris d'utiliser les résultats de Coriolis dans des domaines qui n'étaient pas les siens.

Cette force entre progressivement, aussi, dans les traités les plus académiques de mécanique rationnelle. À titre d'exemple, quelques décennies plus tard, Paul Appell, dans son *Traité de mécanique rationnelle* de 1896, mentionne la «force centrifuge composée» (signalons qu'il utilise encore « demi-force vive » à deux reprises pour l'expression $\frac{1}{2}mv^2$!). En 1930, le cours de Paul Painlevé à l'École polytechnique mentionne à dix

157. C'est, par exemple, l'avis de Persson [1998].

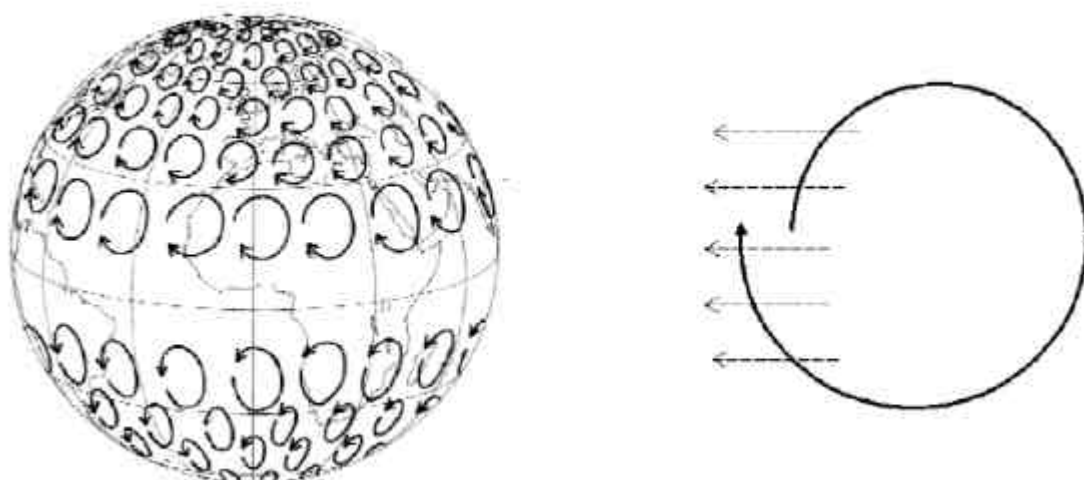
158. Finck, « Chutes des corps qui tombent d'une grande hauteur », *CRAS*, 1863 (T.56), p. 957 et ss.

reprises la « force centrifuge composée », en indiquant lors d'une des occurrences « force centrifuge composée ou force de Coriolis ».

La force de Coriolis en météorologie

Anders Persson s'est spécialisé dans l'histoire de la force de Coriolis dans son domaine, sur ses acceptions et sur la façon de la présenter. Il la relie de manière intéressante à la force centrifuge simple, et par ailleurs est assez radical sur la façon de l'expliquer

À l'inverse de l'inertie "normale", qui résiste aux changements du mouvement d'un corps, la force inertielle de Coriolis résiste à ces déplacements en essayant, par un mouvement circulaire, de ramener le corps à sa position d'origine. Toute explication mathématique ou intuitive de la force de Coriolis qui entrerait en conflit avec la notion de mouvement inertielle circulaire serait donc incomplète ou fausse.

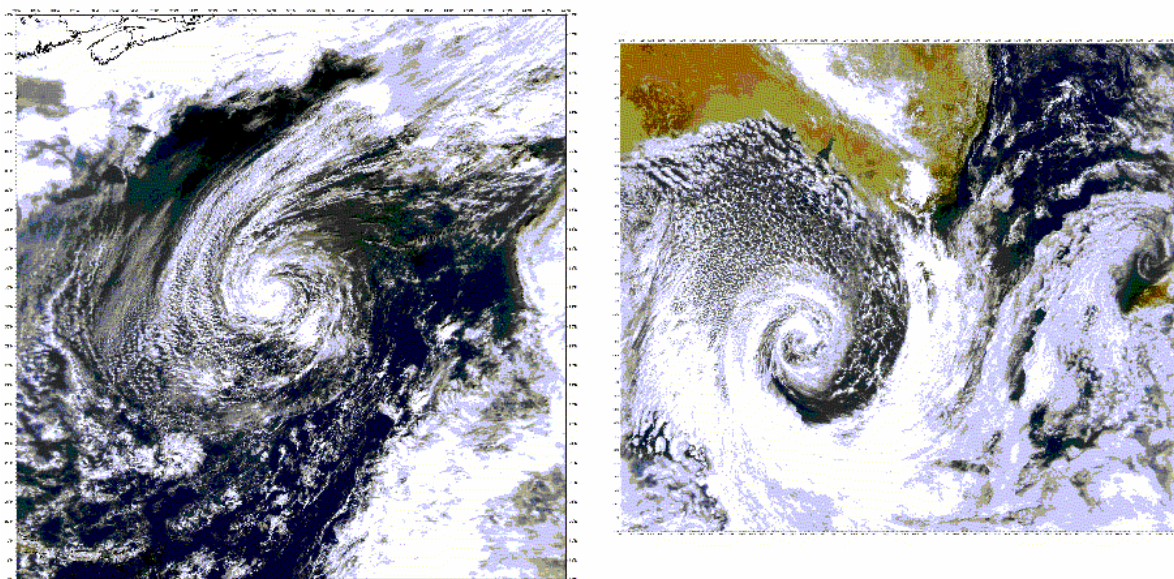


Extrait de l'article de Persson [2005], représentation en météorologie du mouvement circulaire inertielle dû à la force de Coriolis.

L'application de la force de Coriolis au domaine météorologique ne viendra pas de France : nous avons vu que nos physiciens français, de Foucault à Delaunay, ont déjà largement étendu le domaine originel d'application de la force centrifuge composée, et lui ont donné une légitimité en relation avec Coriolis.

Persson date de 1858 (à peu près à la même époque que les débats français entre Bertrand et Delaunay) l'introduction d'une force centrifuge rotatoire en météorologie, sous l'impulsion de William Ferrel (1817-1891) :

If a body is moving in any direction, there is a force arising from the earth's rotation, which always deflects it to the right in the northern hemisphere, and to the left on the southern.



(à droite) Cyclone dans l'hémisphère nord (sens inverse des aiguilles d'une montre) : ouragan Olga le 28 novembre 2001 dans l'Atlantique ; (à gauche) Cyclone dans l'hémisphère sud (sens des aiguilles d'une montre) : sud de l'Australie le 20 février 2002 – on reconnaît la côte sud de l'Australie (images NASA)

L'approche de Persson est intéressante. À rebours de la majorité des scientifiques, il pense que l'approche de Coriolis par la dynamique est, en tout cas pour la météorologie, beaucoup plus féconde qu'une approche par la cinématique – il regrette que les travaux de Coriolis n'aient pu être véritablement connus qu'avec la réédition Gabay de 1990 (!). Selon lui, si les découvertes majeures en ce domaine ont été faites « sans connaissance particulière » des travaux de Coriolis, leur diffusion eût évité à son avis de nombreuses interprétations erronées en météorologie – il rend d'ailleurs en conclusion un bel hommage à Coriolis :

C'est pourquoi il est tout à fait qualifié de prêter ainsi son nom à la force éponyme. Eût-il été avec nous aujourd'hui, sans doute eût-ce été un des rares qui l'eût comprise et enseignée correctement !

Nous n'entrerons pas ici plus avant dans l'histoire de la force de Coriolis en météorologie – d'autant que c'est là un domaine qui était sans doute encore plus étranger aux préoccupations de Coriolis que la mécanique céleste de Foucault. De la même manière que nous avons pu situer et dater en France l'attribution aux travaux de Coriolis des effets de la « force centrifuge composée » (l'utilisation de cette désignation étant une claire référence aux travaux de 1835 de Coriolis), il serait intéressant de situer à quelle date ce même concept de force centrifuge composée, ou de force de Coriolis, commence à se répandre hors de France, dans le domaine météorologique notamment. Mais ceci dépasse largement le cadre du présent travail.

Chapitre 10. La Théorie du jeu de billard

L'année 1835 est incontestablement une *annus mirabilis* pour Coriolis, avec la parution de l'article sur les forces centrifuges composées, mais aussi avec son livre sur le jeu de billard, *Théorie mathématique des effets du jeu de billard*. Cet ouvrage contribue, semble-t-il encore maintenant, à la renommée de Coriolis chez les amateurs du jeu de billard¹⁵⁹. Coriolis lui-même ne pensait-il pas que ce serait cet ouvrage qui marquerait sa postérité ?

Il est de fait que ce livre paraît détonner dans l'œuvre de Coriolis, comme si c'était un ouvrage plus futile par son sujet, ou plus accessoire dans son oeuvre. Nous ne nous arrêterons pas à cette première approche, et il nous paraît utile de donner à cet ouvrage une certaine importance dans la vie et l'œuvre de Coriolis.

Le billard a sans doute été une activité importante dans la vie de Coriolis, comme les échecs. Soit il y a joué lui-même plutôt adroitement, soit il a beaucoup regardé jouer à Polytechnique pendant toute sa carrière – il mentionne comme habile joueur Tholosé le général commandant l'école de 1831 à 1838. Il cite aussi le champion Mingaud qu'il a vu jouer – nous y reviendrons. Le jeu de billard a dû occuper de longues soirées de loisirs pour Coriolis.

Déjà en 1829 dans le Calcul, le jeu de billard est évoqué à plusieurs reprises, notamment dans le chapitre III relatif à la théorie des chocs :

[§66] *Bien que, dans le choc des billes d'ivoire dont on se sert dans le billard, on observe assez approximativement la conservation de force vive dans les vitesses des centres de gravité quand les mouvements de rotation sont peu sensibles.*

[§67] *Dans le jeu de billard, si l'on faisait frapper une bille contre une bande en bois sans garniture, quelque élastique que fût ce bois, la bille ne reprendrait pas en quittant cette bande la vitesse de translation qu'elle avait avant le choc.*

Coriolis lui-même nous donne une clef de compréhension de ses antécédents sur le sujet quand il écrit [ASM-AAS] qu'

Il avait fait des recherches analogues à celles de M. Poinsot sur le mouvement d'un corps solide et il avait trouvé de son côté sans l'avoir publié le théorème donné par ce savant sur la détermination de l'axe instantané de rotation autour duquel commence à tourner un corps frappé par une impulsion qui ne passe pas par le centre de gravité¹⁶⁰.

Nous verrons qu'en effet ce qu'on appelle maintenant le « mouvement à la Poinsot » joue un rôle dans le billard, où en effet, pour reprendre ce qu'indique Coriolis, les coups les

159. C'est, par exemple, l'œuvre qu'a choisi de rééditer Jacques Gabay en 1990 (il a aussi mis en annexe les deux mémoires sur le mouvement relatif de 1831 et de 1835).

160. Dans Renard [1862], qui reprend une grande partie de [ASM-AAS], la partie importante de la citation est tronquée (à partir de "autour duquel...") ; il convient donc dans ce cas de se référer directement à [ASM-AAS].

plus étonnants se produisent quand la bille est frappée par la queue suivant un axe qui ne passe pas par son centre de gravité.



Il convient de ne pas se méprendre sur le caractère scientifique de l'ouvrage de Coriolis. Bouleau indique à propos de cet ouvrage qu'il date d'une époque où la science s'intéressait au jeu en général – ainsi Pascal s'intéressait au jeu de dés, et que le positivisme allait peu de temps après amener à une vision « sérieuse » de la science, sans rapport avec les jeux, quels qu'ils soient¹⁶¹. Peut-être est-ce en effet cette vision positiviste qui nous fait nous interroger face au sujet de l'ouvrage ? Mais à sa lecture, on constate, comme son titre l'indique, que c'est avant tout un livre de mécanique, très mathématique et calculatoire – un peu plus facile à lire que les articles sur le mouvement relatif des corps ou que le *Calcul*, mais à peine. Il est abondamment illustré par des planches en fin d'ouvrage, ce qui rend sa lecture plus facile, mais y figurent néanmoins de nombreuses formules mathématiques.

Par ailleurs, ce n'est pas un traité du jeu de billard lui-même – comme il existe des ouvrages pour apprendre à jouer, au billard, ou au bridge, etc. Ce sont les *effets* du jeu de billard qu'étudie Coriolis, de la même manière qu'il avait étudié en 1829 les *effets* des machines. Mais la comparaison s'arrête là : ce terme « effets » se rapporte au sens traditionnel qu'on lui donne dans les jeux de balle (tennis, football, billard, ou autres). Au billard, ces effets sont dus au frottement, qui apparaît notamment quand la bille n'est pas frappée en son centre. Coriolis trouvait là un terrain de légitimité et sans doute d'intérêt scientifique, rejoignant ses autres travaux sur le frottement, par exemple ceux concernant le tirage des voitures.

Mais, surtout, l'ouvrage a ceci d'original qu'il se rapporte à une véritable innovation technique, celle de la « queue à procédé », faite par le joueur Mingaud dans les années 1820. Avant le procédé hémisphérique, la queue avait une extrémité carrée, et le choc était plat contre la boule. Avec la queue à procédé, le billard devenait un jeu complètement différent : le frottement de glissement entraînait en jeu, la bille pouvait avoir un mouvement rétrograde, c'est-à-dire revenant en arrière après un choc contre une autre boule. On peut penser que Coriolis avait été véritablement fasciné par cette invention : il en fait, le premier, la théorie. Son ouvrage ne porte pas uniquement sur la théorie du choc de deux boules – c'est bien un ouvrage sur le billard, portant sur la théorie du choc de la queue et de la boule, de la boule et de la bande, et d'une boule à effet contre une boule immobile. Coriolis y ajoute aussi un aspect expérimental, étayant certains coefficients qu'il choisit, suite à des expériences faites avec des billes suspendues par des fils.

161. Ce type de considérations générales est intéressant mais peut toujours être mis en défaut : ainsi, une véritable somme sur le bridge est publiée en 1940 par le mathématicien Émile Borel et le champion d'échecs André Chéron, *Théorie mathématique du bridge à la portée de tous*. Ce livre (réédité lui aussi par Jacques Gabay) se compare à l'ouvrage de Coriolis : il essaie d'évaluer la plupart des combinaisons *mathématiques* du bridge, comme celui de Coriolis les combinaisons *mécaniques* du billard. De nos jours, à rebours de ce que suggère Bouleau, les développements pédagogiques et informatiques autour du concept de « jeu sérieux » peuvent s'assimiler à une interaction entre science et jeu.

Finalement, loin d'être un ouvrage de circonstance ou futile, la *Théorie des effets du jeu de billard* est un ouvrage scientifique, important par son caractère novateur, juste après l'invention de la queue à procédé – ouvrage encore unique à nos jours.

LE JOUEUR MINGAUD, INVENTEUR DE LA « QUEUE À PROCÉDÉ »

Coriolis dans sa préface nous indique qu'il a vu jouer le célèbre Mingaud. Intéressons-nous à ce personnage qui apparaît ainsi dans un livre de mathématiques, et dont la postérité semble avoir gardé la trace comme un innovateur hors pair dans le domaine de la technique du billard et de son jeu. Il est en effet l'inventeur des queues « à procédé ». Citons Coriolis à ce propos (p.78) :

On emploie deux espèces de queues ; les unes, dites à procédé, sont terminées à leur pointe par une garniture de cuir formant une espèce de demi-sphère saillante, les autres sont coupées à la pointe suivant un plan perpendiculaire à leur longueur.

La queue à procédé, la seule encore connue actuellement (celle qui précédait a disparu), est caractérisée par une rondelle hémisphérique complétant la queue. On peut enduire la rondelle de craie pour augmenter l'adhérence entre la queue et la bille. Mais son principal intérêt, par rapport à la queue traditionnelle, c'est l'effet de rotation qu'elle permet de donner. François Mingaud, ancien capitaine d'infanterie de l'armée napoléonienne, aurait fait cette invention vers 1823 alors qu'il était en prison pour délit d'opinion, et la légende veut qu'il enduisait sa rondelle de cuir avec la chaux des murs de la prison. Il a fait paraître entre 1827 et 1831 un traité intitulé "Noble jeu de Billard - Coups extraordinaires et surprenants", qui semble être un recueil d'une quarantaine de planches expliquant chacune un coup¹⁶².



162. Ce livre de 1827 semble être particulièrement rare et cher dans le milieu bibliophile. On n'en trouve malheureusement pas trace à la BnF.

Le joueur François Mingaud (1771-1847) ; ci-dessous, on distingue le procédé, rondelle hémisphérique au bout de la queue ; la frappe sous le centre de gravité est un des coups permettant l'effet « rétro » (image  Billard-passion.fr)



ANALYSE DE L'OUVRAGE

Le livre de Coriolis, quant à lui, se compose d'une préface, d'un exposé résumant les résultats des chapitres suivants, et de huit chapitres exposant chacun un point précis. L'exposé préliminaire est un résumé, comme l'indique Coriolis :

J'ai pensé que quelques personnes qui ne voudraient pas entrer dans le détail des démonstrations, et qui cependant auraient assez de connaissances mathématiques pour entendre le langage et les principaux signes de cette science, seraient bien aises de trouver à part un résumé des règles et des constructions fournies par la théorie.

Cependant cet exposé préliminaire, long de cinquante pages, est assez rébarbatif : il commence par une suite de définitions, puis les résultats s'enchaînant les uns aux autres sans démonstration. Il est préférable de se reporter aux huit chapitres effectifs, qui donnent une architecture solide à l'ouvrage en traitant des points différents comme l'étude du mouvement de la bille (chapitre I), celle du coup de queue horizontal (chapitre II), du choc de deux billes (chapitre III), des effets du deuxième choc (chapitre IV), du choc contre la bande (chapitre VI).

Du mouvement d'une bille sur un plan horizontal, en ayant égard aux frottements.

Dans ce chapitre premier, Coriolis rappelle la différence entre les deux types de frottement : le frottement de glissement, et le frottement de roulement. Le frottement de roulement, classique, provient d'un « fléchissement que le poids de la bille produit sur le tapis », et correspond de fait au frottement de roulement d'une roue sur la chaussée. Le frottement de glissement, induit par le procédé, est celui qui s'oppose au mouvement

horizontal de la bille sur le tapis. En appliquant les équations du mouvement, Coriolis parvient à un premier théorème :

La résultante de la vitesse du centre et de celle du centre de percussion supérieur est toujours constante pendant le mouvement.

Le centre de percussion supérieur est défini par Coriolis comme le point situé «à une distance au-dessus du centre égale à $2/5^e$ du rayon¹⁶³». À la suite de ce premier théorème, Coriolis distingue deux étapes importantes dans le mouvement de la bille :

- Un mouvement transitoire où la bille a un mouvement courbe (il démontre que c'est une parabole), dû à l'existence du frottement de glissement.
- Un mouvement final uniforme et rectiligne de la bille, après l'annulation du frottement de glissement.

Coriolis explique que le mouvement initial courbe aura toujours lieu

si le glissement au point d'appui sur le tapis n'a pas lieu dans la direction même de la vitesse du centre, c'est-à-dire si l'axe de rotation n'est pas perpendiculaire à cette vitesse.

Pour éclairer ce propos, nous pouvons distinguer, à la lecture de Coriolis et des ouvrages expliquant le sien, différents cas de frappe :

- Coup de queue horizontal, avec déport (le déport, ou «l'attaque», correspond à la distance entre le plan de frappe et le centre de la bille). Si la bille est frappée avec un léger déport à gauche, il lui est imprimé, en sus de la vitesse longitudinale, une légère vitesse transverse vers la droite, et elle forme un très léger arc de parabole vers la droite avant de prendre une trajectoire rectiligne (figures ci-dessous : la figure moderne, à gauche, explique le coup ; la figure de Coriolis, en dessous, explique la trajectoire).
- Coup de queue horizontal, sans déport : le plan de frappe passe par le centre.

163. C'est à cause de la valeur du moment d'inertie d'une sphère, égale à $2/5MR^2$, que ce point situé à $2/5R$ au-dessus du centre joue un rôle particulier.

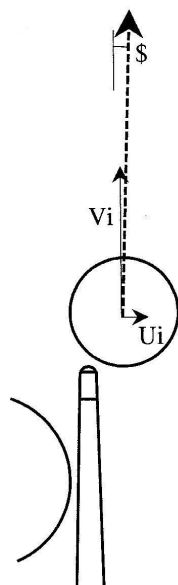


Fig. 1.

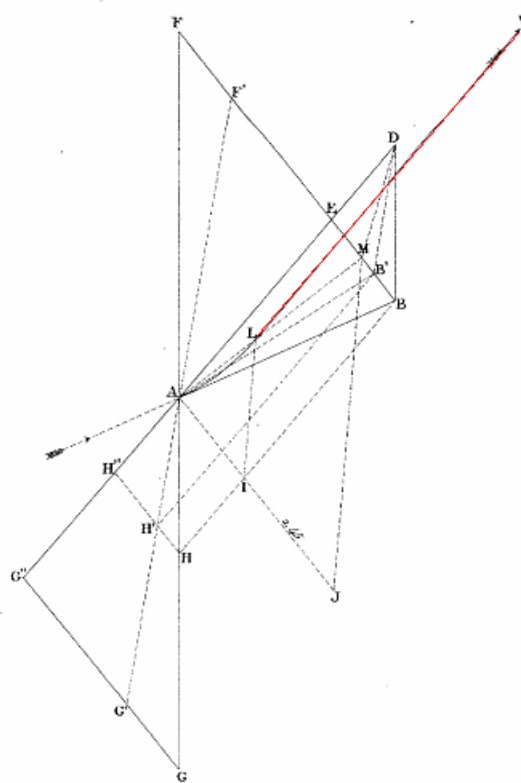


Figure 1, planche 1 de l'ouvrage. On a fait figurer en rouge la trajectoire de la bille dans son mouvement rectiligne uniforme. De A à L , la bille décrit un mouvement parabolique dû au frottement de glissement, puis à partir de L un mouvement rectiligne uniforme. L'explication de cette figure se trouve p. 66 : « Ainsi, on peut considérer l'effet du frottement comme tendant à rapprocher l'une de l'autre, et sur la ligne droite BF , les extrémités B' et F' des lignes qui représentent les vitesses de translation du centre et de rotation du point supérieur de la bille.

De l'effet du coup de queue horizontal.

En chapitre II, Coriolis définit le coup de queue horizontal : c'est celui qui est « dirigé parallèlement au tapis ». Le coup de queue incliné sera étudié par Coriolis plus loin, en chapitre VIII.

Coriolis, après avoir rappelé les deux types de queues existantes (*cf.* ci-dessus), examine la transmission du mouvement de la queue à la bille. Il existe différents cas où cette transmission pourrait se produire de manière non satisfaisante. Le cas principal énoncé par Coriolis est celui de « fausse queue », quand l'extrémité de la queue glisse sur la bille sans la frapper (ceci n'est pas possible avec les anciennes queues sans procédé). Coriolis définira plus loin, à partir des données d'expérience, les cas de « fausse queue », quand la bille est frappée trop haut ou trop bas et que la queue glisse :

L'expérience a appris aux joueurs qu'on peut sans glisser frapper la bille jusqu'à une distance du centre de $0,70R$ (...) pour ne pas faire fausse queue (...)

Après avoir exclu ces cas de fausse queue, il part de l'hypothèse d'une solidarité entre la queue et la bille :

En partant donc de ce point que la bille reçoit par le choc de la queue une quantité de mouvement dans la direction du mouvement de la queue et appliquée au point où se fait le contact (...)

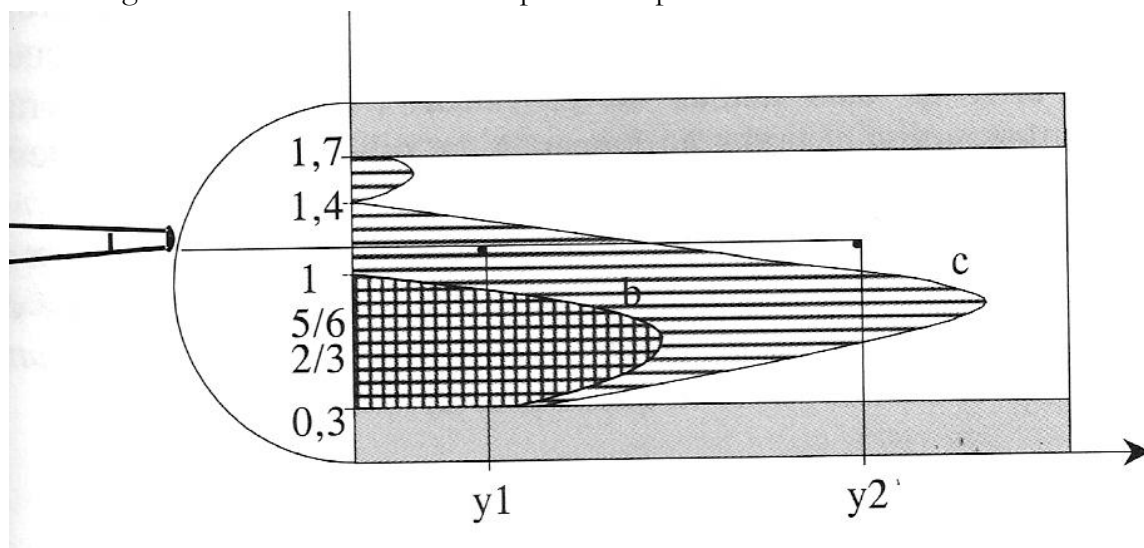


Plusieurs cas se présentent alors pour expliquer les effets du coup de queue horizontal. Coriolis introduit alors un autre paramètre, la « hauteur d'attaque ».

La discussion faite par Coriolis sur la hauteur d'attaque peut se résumer par les conclusions et le schéma suivant (pour des raisons de simplification, on suppose le déport nul, i.e. les deux paramètres *déport* et *hauteur d'attaque* ne sont pas combinés) :

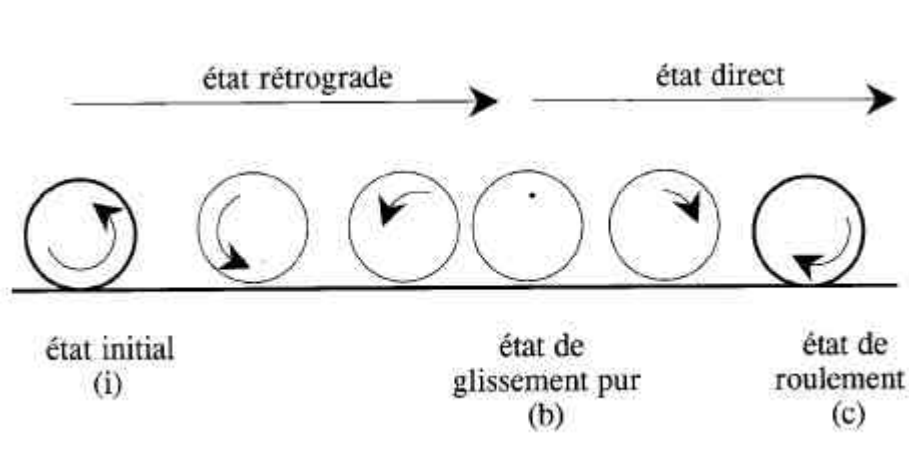
- Cas 1, zone de « fausse queue », quand le point de frappe se situe entre $1,7R$ et le haut de la bille (ou en bas, entre le tapis et $0,3R$). Coriolis exclut ce cas comme non souhaitable au billard (*cf.* figure, bandes grisées).
- Cas 2, frappe au-dessus du centre, entre R et $1,4R$: la bille glisse en « rotation directe », c'est-à-dire dans le sens du mouvement ; puis la rotation due exclusivement au glissement s'annule, et le mouvement prend son cours naturel uniforme. Le cas de frappe à $1,4R$ (centre de percussion) est un cas particulier limite : la bille ne glisse pas, elle roule sans glisser (mouvement de rotation définitif) dès le départ.
- Cas 3, frappe au-dessus du centre de percussion, entre $1,4R$ et $1,7R$: comme ci-dessus, sauf que la vitesse de rotation accélère la vitesse de translation, avant que la bille ne prenne son mouvement uniforme.
- Cas 4, frappe sous le centre, entre $0,3R$ et R : la bille connaît trois états différents (hors le point singulier). Elle tourne en rotation rétrograde, passe par un point singulier de

glissement pur sans rotation, poursuit son glissement en rotation directe, puis roule sans glisser. Les deux dernières étapes correspondent au cas 2.



Ci-dessus : Différents cas possibles suivant la hauteur d'attaque (extrait de Petit [2004], reprenant et illustrant Coriolis [1835])

Ci-dessous : États possibles de la bille en phase de glissement (extrait de Petit [2004]). Le déroulé complet de gauche à droite correspond au cas 4 ci-dessus.



Les figures modernes ci-dessus explicitent les différents cas posés par Coriolis. Ce dernier mène la discussion sur la base d'une figure en géométrie projective, plus difficile à comprendre.

Coriolis, étudiant toujours le coup de queue, examine alors les pertes de forces vives au moment du choc de la queue et de la bille. Il procède par une expérience, avec des queues et des billes suspendues dans le vide : le rapport entre la hauteur d'où oscille la queue et de la hauteur à laquelle la bille monte est en relation avec le rapport de l'énergie transmise. Il obtient une perte d'énergie de 13%, chiffre qu'il prend dans ses calculs en faisant une réserve sur les vitesses plus faibles données par son dispositif par rapport aux vitesses données dans le jeu effectif de billard :

La perte est donc de 0,13 de la force vive totale (...) Il n'a pas été possible de faire des expériences avec des vitesses de choc qui approchassent davantage de celles qui ont lieu dans le jeu ordinaire ; mais la fraction ci-dessus s'étant conservée constante dans ces expériences, nous avons pu l'étendre aux vitesses qui ont lieu dans le jeu.

Il est intéressant de constater que, même si Coriolis fait une « théorie mathématique » (des effets du jeu de billard), à plusieurs reprises il fait ou fait faire des expériences pour étayer ses résultats, comme celle que nous venons de citer, ou d'autres :

(p.75) *Ayant fait frapper horizontalement une bille de grosseur ordinaire qui était suspendue par un fil d'environ 2m de longueur...*

(p. 88) *Pour cela j'ai suspendu une queue de manière qu'elle pût osciller horizontalement (...) Il a suffi, pour produire cet effet, d'attacher le devant et le derrière de la queue à deux fils divergents qui partaient du plafond à une hauteur d'environ deux mètres au-dessus de la queue.*

(p. 101) *Pour déterminer le frottement de deux billes pendant le choc, j'ai suspendu une bille à un fil et je lui ai fait une marque propre à bien montrer la rotation qu'elle pouvait prendre.*

(p. 136) *En suspendant une bille à un fil et la faisant frapper contre la bande où elle arrivait lorsque le fil était dans une position verticale, nous avons trouvé, par une série de plus de cinquante expériences...*

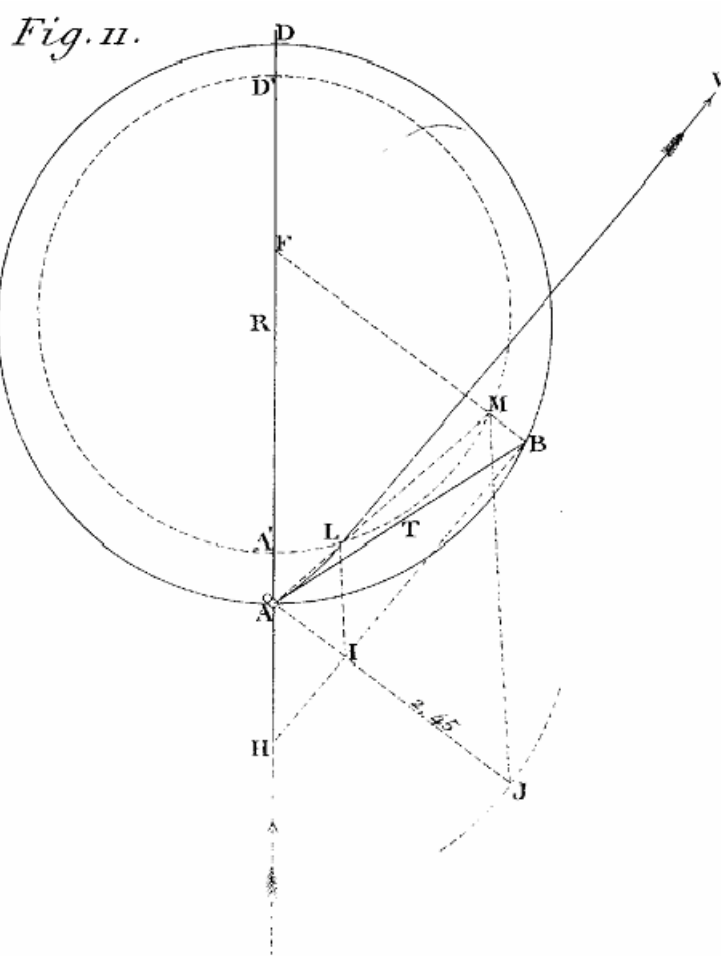
(p. 141) *...on peut déterminer par expérience le coefficient du frottement dans le choc contre la bande... Pour cela il suffira de jouer contre la bande, en donnant le coup de côté et à la hauteur du centre.*

Dans le dernier cas, à l'inverse des précédents, il s'agit d'une expérience non simulée par des fils portant bille ou canne, mais d'une expérience réelle sur le billard.

Du choc de deux billes et du carambolage.

Coriolis commence, en chapitre III, par réaliser une expérience pour mesurer le frottement de deux billes entre elles, il le trouve négligeable ; de même il considérera les chocs de billes comme étant à élasticité parfaite.

La théorie du choc est décrite par la figure ci-dessous, sous forme de diagramme de vitesses et de directions. On remarque l'usage des figures de géométrie descriptive, ce qui n'est pas étonnant de la part de Coriolis formé à l'École polytechnique de Monge.

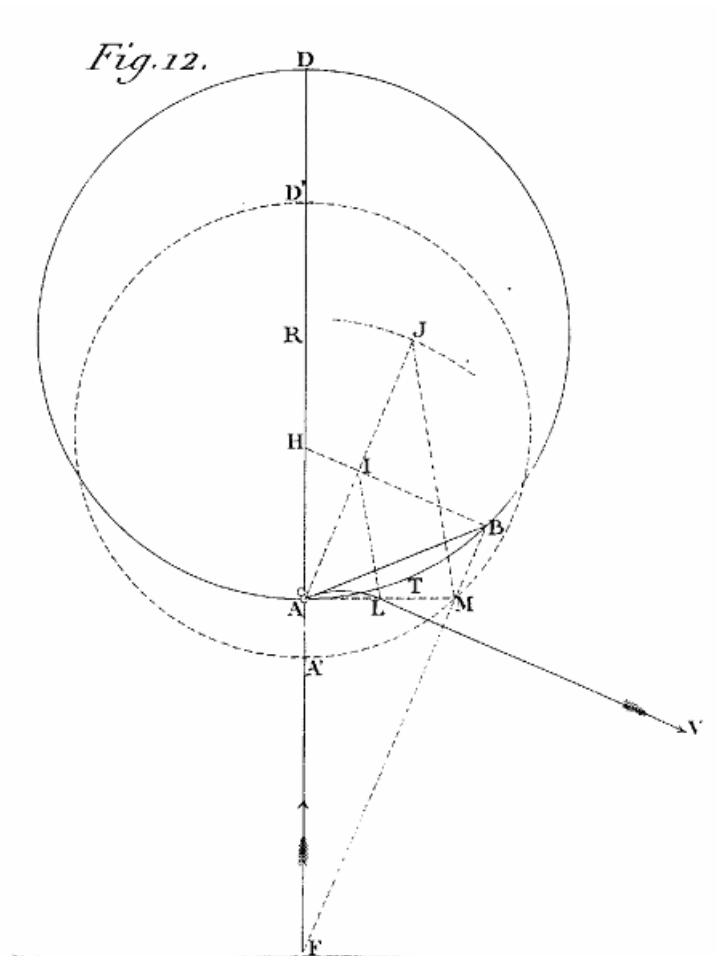


(figure 11 planche 3). Le choc est représenté par les deux petites boules figurées au point A. La droite AD mesure la direction de la bille choquante, et la valeur AD mesure sa vitesse savant le choc. ALV sera la trajectoire de la bille choquante après le choc : comme après le choc avec la queue, elle décrit d'abord une parabole (AL) avant de rouler en ligne droite. Le cercle AD permet de placer les différents angles de choc, de 0° (choc frontal) à 90° d'une côté ou de l'autre (choc rasant).

Coriolis distingue implicitement plusieurs cas dans le choc :

- La bille choquante est déjà en mouvement uniforme au moment du choc ; elle le reste et prend une direction rectiligne (elle « prend la tangente » AB) sans décrire de courbe parabolique.
- La bille choquante est encore en mouvement transitoire parabolique, auquel cas elle le restera après le choc. Dans ce cas, lorsqu'elle est en rotation rétrograde (c'est-à-dire qu'elle a été frappée sous son centre), peut alors se produire le fameux mouvement rétrograde de la bille choquante après le choc, décrit par Coriolis dans sa figure 12 :

Si au moment du choc la rotation est rétrograde (...) la bille reculera dans sa marche finale.



(figure 12 planche 3). La bille choquante arrive suivant la direction FA avec un mouvement de rotation rétrograde : elle repart en arrière suivant la direction ALV (parabole puis droite).

L'intérêt de cette partie, et son caractère novateur lié au procédé de Mingaud, est de distinguer le caractère fondamentalement différent du choc suivant que la bille choquante est en mouvement transitoire (figure 3, et cas spectaculaire de la figure 4), ou qu'elle est en mouvement rectiligne permanent sans glissement. Dans ce dernier cas, Coriolis calcule que la déviation de la bille choquante par rapport à sa direction initiale ne peut dépasser $33^{\circ}44'$ (alors que dans l'autre cas elle peut dépasser 90° , c'est-à-dire revenir en arrière, cf. figure 4).

Chocs avec frottement entre billes

Dans le chapitre IV, Coriolis examine le cas où une bille, en ayant choqué une autre, est encore dans un mouvement de glissement et en vient à choquer une autre bille.

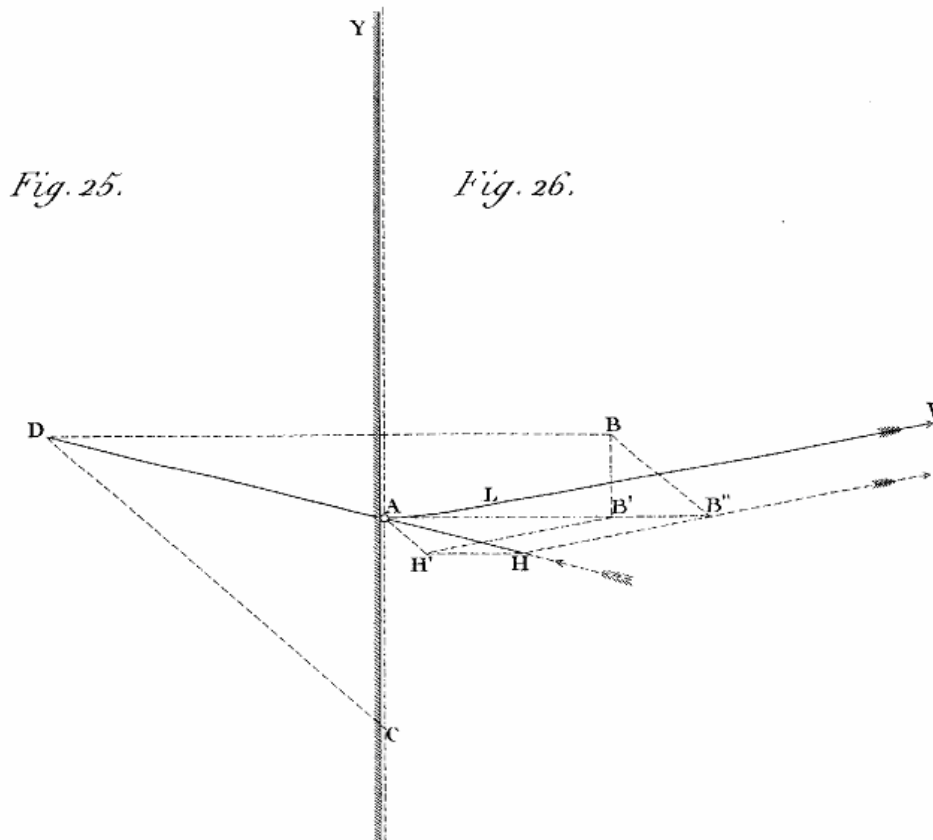
Dans le chapitre V, il revient sur le cas du choc de deux billes (chapitre III), cette fois-ci sans négliger certains paramètres comme le frottement des billes pendant le choc (bille mal polies), le défaut d'élasticité, ou l'inégalité des masses des deux billes. Concernant les défauts d'élasticité, il conclut que la palette des angles possibles après le choc se trouve diminuée par rapport à des billes parfaitement élastiques.

Puis il s'intéresse au frottement lors du choc. Il l'avait négligé dans le choc de deux billes en bon état : mais il prépare là le chapitre suivant, consacré au choc d'une bille contre une bande, pour lequel «le frottement n'est jamais négligeable». Il repose les équations générales du mouvement et, de manière analogue au cas du défaut d'élasticité, indique que ce frottement a pour effet de «diminuer l'angle aigu que fait la direction finale avec la direction initiale, c'est-à-dire l'amplitude courbe de la parabole». Il conclut ce chapitre ainsi :

Toutes ces influences du frottement sont très faibles, comme on l'a dit, pour des billes bien polies ; mais il était bon de reconnaître dans quel sens elles modifient la marche des billes quand les frottements ne sont pas négligeables pour des billes un peu dégradées.

Du choc contre la bande, soit directement, soit après un autre choc.

Par une série d'expériences, Coriolis calcule un coefficient d'absorption de la quantité de mouvement de la bille par la bande lors d'un choc : il introduit un paramètre e égal au rapport des vitesses normales de la bille avant et après le choc (coefficient de restitution en quelque sorte), et le trouve par expérience égal à 0,5-0,55. On voit apparaître (planches 4 et 5, figures 24 à 33) des constructions faisant intervenir la bande du billard.



Construction la plus simple du choc contre la bande (on voit la bille en A et la bande Y verticale). Coriolis se place dans le cas où la bille arrive avec une vitesse AD « dans son état final », c'est-à-dire en roulant sans glisser. La bille, après le choc, prend un mouvement légèrement parabolique puis retrouve en L sa marche sans glissement. On notera qu'il n'y a pas égalité des angles d'incidence et de réflexion : le choc contre la bande n'est pas élastique, la bande absorbe une partie de la quantité de mouvement de la bille.

Coriolis termine ce chapitre par une expérience originale, faite sur le billard lui-même (et non simulée, cf. ci-dessus), afin de déterminer le coefficient de frottement f contre la bande. Il donne différents coups, « en plaçant la bille assez près de la bande pour qu'elle y arrive à l'état de glissement », ou loin de la bande en frappant la bille « un peu en dessous du centre pour qu'elle arrive à l'état de glissement au moment du choc ». À partir de sa formule $\operatorname{tg}\psi = f_1 \frac{1 + \varepsilon}{\varepsilon}$, connaissant ε il va chercher à mesurer l'angle de réflexion ψ contre la bande pour connaître le coefficient de frottement. L'originalité de l'expérience tient dans le fait qu'il mesure cet angle lorsque la bille vient toucher la bande opposée :

Cette tangente sera donnée par expérience en examinant le point où la bille revient toucher la bande opposée.

Il conclut finalement à la suite de ces expériences en adoptant un coefficient de frottement égal à 0,20.

Dans le bref chapitre VII, Coriolis introduit un cas particulier qu'on peut qualifier d'adhérence due au frottement, dans un choc contre la bille ou contre la bande. Lorsque la direction du choc « fait avec la normale au point de choc un angle inférieur à une certaine limite », l'effet du frottement est

de forcer le point de la bille mobile qui est venue toucher l'autre corps à adhérer à ce dernier, et à ne s'en séparer que par rotation et non plus par glissement.

De l'effet du coup de queue incliné.

Dans ce long et important chapitre, Coriolis examine ce cas où se « produit un double choc, l'un entre la queue et la bille, l'autre entre la bille et le tapis », lorsque la queue n'est plus horizontale, mais prend la bille par au-dessus (« coup de queue incliné »). C'est bien évidemment ce deuxième choc qui est nouveau par rapport aux chapitres précédents, et qui a lieu quand on procède à ce coup de queue incliné.

Coriolis pose à nouveau les équations du mouvement, et dans un premier temps néglige le « ressaut de la bille », c'est-à-dire le fait que la bille puisse quitter le tapis si le coup est très incliné ou très fort :

L'expérience montre que ce ressaut n'est pas sensible dans les coups de queue d'une intensité ordinaire, quand on ne tient pas la queue très inclinée : ainsi nous en ferons d'abord abstraction pour traiter les effets des coups de queue ordinaires.

Après avoir résolu les équations différentielles du mouvement, il en vient à indiquer les lois du coup de queue :

La bille n'ira en ligne droite, dans la direction de la queue, qu'autant que cette direction sera horizontale ; ou bien, si elle ne l'est pas, qu'autant que le plan vertical du choc passera par le centre de la bille.

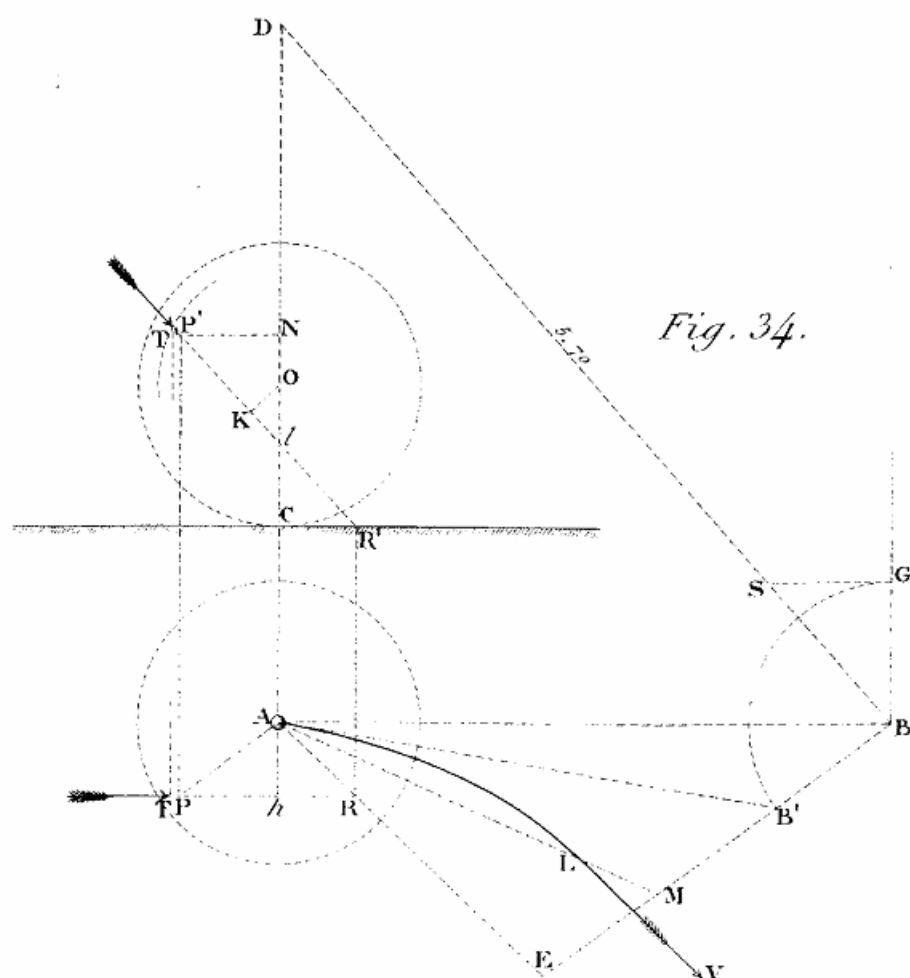
La bille ira toujours en ligne courbe toutes les fois que la queue ne sera pas horizontale, et que le plan vertical du choc ne passera pas par son centre.

Toutes les fois qu'on tient la queue inclinée et que le plan vertical du choc ne passe pas par le centre de la bille, celle-ci décrit une ligne courbe qui se sépare de la direction du choc, en se portant du côté où est situé le point du choc, ou en termes plus abrégés, que la bille se dévie de la direction du choc en se portant du côté où elle a été frappée.

Ainsi, un coup de queue incliné porté à gauche du centre déviera la trajectoire vers la gauche par rapport à celle résultant du coup de queue non incliné. Coriolis mentionne que dans certains cas, la bille « finirait par reculer, c'est-à-dire par revenir en sens contraire de la direction primitive de la vitesse de départ ». Il tempère toutefois le caractère effectif de cette possibilité : en effet, la queue ne doit plus toucher la bille après le choc (car sinon elle force la bille à avancer, qui ne peut reculer), ce qui n'est pas le cas si « le joueur ne met pas une grande adresse à retirer la queue après le coup ». En conclusion de l'ouvrage, Coriolis rendra un discret hommage aux champions du jeu :

Néanmoins, les joueurs exercés trouveront moyen de retirer la queue si rapidement à l'instant du choc, qu'ils font disparaître cette cause d'incertitude dans les effets des coups de queue inclinés et excentriques¹⁶⁵.

165. Il faut comprendre l'adjectif « excentrique » dans son sens propre, c'est-à-dire « ne passant pas par le centre ». Ceci se rattache aux lois indiquées plus haut, l'effet varie si le coup de queue est incliné et excentrique.



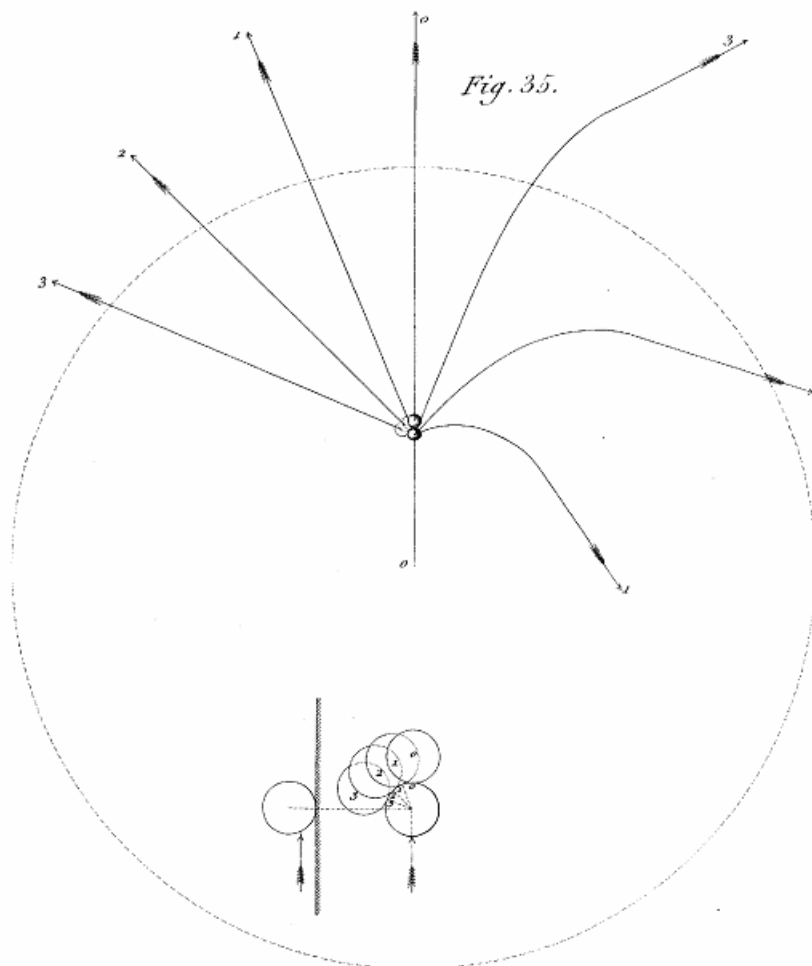
(figure 34, planche 5) : Construction d'un coup de queue incliné. La construction se fait là sur deux plans, en géométrie descriptive : en haut on voit le coup de queue incliné (P'R') porté à la bille, coup qui ne passe pas par le centre de la boule, étant frappé à droite (point P) ; en bas, la projection sur le tapis, vue de dessus, montre le chemin pris par la bille AV orienté vers la droite puisque la bille est frappée sur sa droite.

Retour à l'introduction

Il paraît utile à présent de revenir à l'exposé de cinquante pages que donne Coriolis en introduction à son ouvrage. Sa première partie présente, comme on l'a dit, un résumé des huit chapitres, avec quelques exemples. Sa deuxième partie présente un certain nombre d'exemples de coups et de chocs illustrés. Coriolis avait conseillé, en conclusion de sa préface, aux lecteurs à culture mathématique de sauter l'exposé introductif, en ajoutant toutefois à propos de cet exposé :

Néanmoins, on devra y recourir pour l'explication des planches 6,7, 8, 9, 10, 11 et 12 ; elle se trouve aux pages de 32 à 39, et de 46 à 50.

Cette partie de l'exposé comprend 7 planches de figures (données à l'échelle de 5% par rapport à une table de billard grandeur nature, nous précise l'auteur) pour lesquels Coriolis résume ses résultats dans des figures plus globales – nous en donnons un exemple ci-dessous.



(figure 35 planche 6) : Cette figure permet de visualiser un exemple de coup pris par Coriolis dans son exposé introductif. On frappe la bille (schéma du bas, à gauche) à une hauteur égale à $0,4R$. Le choc de la bille contre une bille 2 est représenté en bas à gauche, avec différentes positions de la bille choquée, numérotées de 0 à 3. Ces positions correspondent à ce qu'indique Coriolis dans le texte : « On a supposé que le point de choc se trouvait successivement à $\frac{1}{4}$, $\frac{2}{4}$, $\frac{3}{4}$ d'angle droit du point d'arrière » (ce qui correspond aux positions 1 à 3). Les trajectoires 1 à 3 à droite de l'axe sur le schéma du haut sont celles de la bille choquante après le choc. Les trajectoires 1 à 3 à gauche sont celles de la bille choquée.

QUELLE SUITE À CET OUVRAGE ?

Il n'est pas aisé de connaître quel est l'impact de ce travail de Coriolis, ni la réception qu'il a eue dans le milieu scientifique, que ce soit de son vivant ou par la suite. Résal, dans le JMPA qu'il dirigeait¹⁶⁶, indique que le « remarquable ouvrage de Coriolis (...) a fait peu

166. H. Résal, « Commentaire à la théorie mathématique du jeu de billard », *Journal de mathématiques pures et appliquées*, 3^e série, tome 9 (1883), p. 65-98.

de sensation, peut-être même à cause de son titre ; car les analystes ne sont généralement pas des joueurs de billard et inversement » ! Maximilien Marie (1819-1891, X1838), répétiteur de mécanique à Polytechnique de 1862 à 1883, mentionne dans son ouvrage d'histoire des sciences (1888) à propos de Coriolis que « sa théorie des effets du jeu de billard est l'une des plus heureuses applications que l'on ait faite des théories abstraites de la Mécanique à l'étude des phénomènes de mouvement ».

Ce livre reste cité dans de nombreux sites Internet se rapportant au billard. C'est lui qui a été réimprimé par Gabay. Il a été traduit en 2005 en anglais par David Nadler, professeur de mathématiques à San Francisco¹⁶⁷. Un ingénieur informaticien français, amateur de billard, Régis Petit, a écrit un ouvrage reprenant un à un les chapitres de Coriolis en un langage mathématique moderne, en corrigeant ses erreurs¹⁶⁸ et en rendant bien évidemment hommage à « l'ouvrage magistral de Coriolis, reconnu unanimement comme le père de la théorie mathématique du jeu de billard ».

Ces éléments laissent à penser que ce travail reste unique, et a eu peu de successeurs effectifs. Pour aller dans le même sens, Coriolis pensait que, parmi tous ses travaux, c'est celui-ci qui resterait à la postérité. Peut-être que c'est parce que c'est son ouvrage le plus achevé sur un sujet donné : son autre ouvrage, le *Calcul*, balaye de nombreux sujets et se présente plus comme un manuel, reprenant par ailleurs des travaux antérieurs.

Il n'en est rien pour le *Billard*, où l'étude faite par Coriolis est totalement nouvelle – l'invention du procédé étant elle-même très récente. Il rappelle en introduction les travaux de Poisson (*Traité de mécanique*) sur « les effets du frottement sur une sphère qui se meut en ligne droite », que Coriolis ramène à « un cas particulier de [la question] qu'on a à résoudre dans le jeu de billard ». Il cite plus précisément l'article de 1758 du « fils du célèbre Euler [qui] s'est occupé du mouvement d'une sphère sur un plan », auquel il concède certains recoupements avec son ouvrage, tout en précisant qu'il ne connaissait pas cet article lors de la rédaction de son traité.

Il est clair que Coriolis a fait œuvre innovante en regroupant ce type d'études sur le frottement d'une sphère sur un plan *dans un même traité spécifiquement consacré au billard*, et en le faisant au moment où le récent procédé Mingaud était en lui-même une formidable innovation.



Pour le lecteur du XXI^e siècle, cet ouvrage reste difficile à qualifier. Il contient semble-t-il tous les cas possibles de frappe d'une bille, mais entre dans un niveau de détail qu'il paraît difficile de réaliser dans la pratique, même pour un champion de billard : en ce sens, il reste un ouvrage théorique par de nombreux aspects. D'un autre côté, paradoxalement, il fait des approximations (par exemple sur les coefficients de frottement

167. Voir www.coriolisbillards.com. Cette traduction en anglais est vendue en ligne, et l'auteur a souhaité avertir du caractère mathématique très prononcé de l'ouvrage.

168. Coriolis avait déjà produit une page d'*errata*, mais il est vrai qu'il subsiste de nombreuses erreurs, la plupart de notations. Régis Petit [2004] produit un erratum plus complet encore de l'ouvrage de Coriolis.

de la bille contre la bande – approximations provenant des expériences faites par Coriolis), et il ne semble pas que quiconque ait entrepris de vérifier ces coefficients, aussi peuvent-ils ne pas correspondre à la réalité. Dit autrement, certains aspects théoriques ne peuvent être mis en pratique, et certains aspects pratiques mériteraient confirmation.

Ouvrage très clair, complet, parfois trop détaillé, il est trop compliqué pour servir à un joueur de billard ; quant au scientifique, il lui sera difficile d'ajouter quoi que ce soit à ce qui a été dit par Coriolis – cas peut-être unique de l'histoire des sciences où un sujet est traité sans concurrents et sans successeurs ? En ce sens, il représente le paradoxe d'un ouvrage qui force l'admiration sans pouvoir attirer de développements sur la voie du sujet qu'il a traité. Laissons à Coriolis lui-même le soin de conclure¹⁶⁹, même s'il manque là de clairvoyance :

C'est un traité complet où tous les coups sont examinés et toutes les questions résolues avec assez de bonheur et d'élégance. Son auteur aime à le citer comme une production originale. Il est probable que, bien que ce travail n'ait pas de but utile, [il] sera cependant celui de Coriolis qui subsistera le plus longtemps en raison de ce que le sujet a été complètement traité.

169. Source [ASM-AAS]. Coriolis parle de lui à la troisième personne du singulier dans cet écrit.

Chapitre 11. 1836, année de la consécration.

Après cette *annus mirabilis* de 1835, année d'intense production, l'année 1836 va être celle de la consécration pour Coriolis : la disparition précoce de Navier, à 52 ans, lui ouvre les portes de l'Académie. C'est aussi le moment d'une certaine maturité : Coriolis ne se porte pas candidat à la succession de Navier comme professeur à Polytechnique – sans doute a-t-il pris conscience que cela ne correspond pas à ses aspirations.

C'est aussi une année où Coriolis semble moins absorbé par des travaux de fond en mécanique (forces centrifuges, théorie du jeu de billard, ...), et où il peut se consacrer à des travaux plus divers et moins approfondis, notamment revenir aux mathématiques : il est sollicité par son collègue à Polytechnique Joseph Liouville, pour écrire dans le *Journal de mathématiques pures et appliquées* que celui-ci vient de créer.

CORIOLIS AUTEUR DE MATHÉMATIQUES DANS LE JMPA

Nous avons vu que le premier article de Coriolis – même s'il n'est pas signé – est un article de mathématiques, en 1819 dans le *Journal de Gergonne*. S'il se fait connaître à partir de 1829 comme théoricien de la mécanique appliquée, il continue toutefois son enseignement de mathématiques à Polytechnique, et publie en 1836 deux articles de mathématiques appliquées dans le *Journal de Liouville*, l'un sur un dispositif d'intégraphe, l'autre sur la chaînette d'égale résistance.

L'article sur l'intégraphe est le tout premier article du *Journal de Liouville*, et Coriolis en écrit deux dans l'année de lancement de ce journal¹⁷⁰ : on peut penser que Coriolis et Liouville se connaissant bien en tant que collègues à l'École polytechnique, le second s'est adressé au premier quand il s'est mis en quête d'auteurs pour le lancement de sa revue, leurs relations ne s'étaient pas encore dégradées – ceci interviendra plus tard quand Coriolis sera directeur des études. Écrire dans cette nouvelle revue, comme écrire dans le *Journal de l'École polytechnique*, est aussi une manière pour Coriolis de tenir son rang en tant qu'enseignant à Polytechnique, ainsi que de prendre date pour l'Académie – il y sera élu en décembre 1836.

Du côté de Liouville, on peut penser qu'il connaissait à la fois le plaisir de Coriolis à écrire, ainsi que sa passion pour les mathématiques, et plus précisément pour une forme de mathématiques appliquées à la physique ou à la mécanique : cet auteur neuf – il n'avait signé aucun article dans les *Annales de Gergonne* – venait ainsi à illustrer de manière notoire

170. Il en écrira un troisième un peu plus tard, « Mémoire sur le degré d'approximation qu'on obtient pour les valeurs numériques d'une variable qui satisfait à une équation différentielle, &c. » (*JMPA*, II, juin 1837).

le domaine des mathématiques appliquées auquel s'attachait le *Journal*, dans son titre notamment.

Nous avons vu que l'article sur les moments correspondait à l'utilisation de la mécanique dans un problème de géométrie. Les deux autres articles sont, eux aussi, à la frontière entre mathématiques et physique, tout en restant des articles de mathématiques : ils sont rédigés avant tout comme des articles d'analyse, à aucun moment Coriolis ne donne d'exemple d'application mécanique ou physique du sujet, qui pourtant – intégraphe ou chaînette – s'y prête chacun à sa façon.

L'intégraphe de Coriolis

Coriolis imagine un dispositif permettant de tracer des courbes qui sont données par des équations différentielles, en prenant d'abord deux exemples concrets, l'exponentielle et la chaînette, puis en généralisant à tout tracé de courbe donnée par une équation différentielle de type $y \frac{dx}{dy} = \varphi(x)$: si on est capable de tracer la courbe $f(x)$, alors l'enroulement d'un fil sur un cylindre donnera la courbe y (obéissant à l'équation différentielle $\frac{d(\text{Log}y)}{dx} = \frac{1}{\varphi(x)}$).

Le cas particulier de l'exponentielle, le plus simple, est traité séparément par Coriolis, qui donne une application concrète :

J'ai fait construire, d'après cette remarque, une machine au moyen de laquelle un fil tendu par un léger poids s'enroule ou se déroule autour d'un cylindre en passant par un petit trou percé dans une plaque mobile qu'on approche ou qu'on écarte à volonté du cylindre.

Cette machine est d'application pratique, il s'agit d'une machine financière :

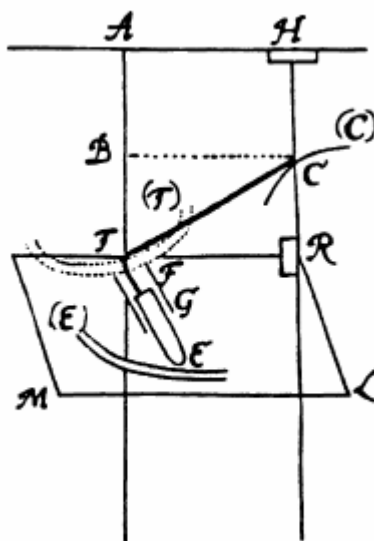
On conçoit comment cette machine opère facilement tous les calculs d'intérêts composés. La marche de l'aiguille répond aux durées des placements, et les nombres qu'on lit sur l'échelle, au point où le fil se sépare du cylindre, indiquent ce que sont devenues les sommes placées, ou ce qu'elles doivent être pour l'escompte.

Coriolis précise en note que «le modèle de cette machine fait partie de la collection de l'École polytechnique». De fait, dans la note non datée qui représente sans doute la collection de ses travaux pour son admission à l'Académie des sciences, on peut lire, première des trois machines, «une machine qui opère tous les calculs d'intérêts composés et d'amortissements (...) déposée au cabinet des modèles de l'École polytechnique». Aucune machine n'a été retrouvée à l'École polytechnique¹⁷¹, mais peut-être un modèle pourrait l'être.

171. Cette machine ne figure dans ces collections (courriel de M. Azzola, AEP, 27 avril 2009 ; courriel identique de 2006 adressé à N. Verdier qui s'intéressait à cet objet dans le cadre de sa thèse sur le *Journal de Liouville*)



Nous nous sommes interrogés, à la lecture des divers articles de Dominique Tournès sur les intégraphes, sur l'originalité effective de l'article de Coriolis. Tournès décrit les différentes méthodes de recherche de primitives : la méthode par approximation polygonale d'Euler, la méthode de Poncelet par approximation des rayons de courbure (1830)¹⁷², enfin la méthode exacte de la tractrice de Leibniz. L'article de Coriolis se rattache à cette dernière méthode, la seule susceptible de donner lieu à un instrument : les autres sont néanmoins utiles (Poncelet ne mentionnerait pas une méthode d'approximation par les rayons de courbure si elle n'était pas utile à ses élèves), mais restent des méthodes empiriques de construction d'intégrales ou de calcul d'aires sur papier. Comme l'indique Tournès, il était nécessaire d'ajouter l'élément *physique* du mouvement tractionnel pour construire effectivement un instrument.



Principe d'un intégraphe universel, proposé par Leibniz (1693, trad. f.cse. 1989 ; cité par Tournès). L'article de Coriolis se rattache clairement à cette méthode.

Tournès trace l'histoire de cette méthode par la tractrice : Leibniz (1693) a l'idée d'origine, Huygens (1693) et Jacques Bernoulli (1694) imaginent divers systèmes avec des poulies guidant le fil. Poleni, professeur à l'université de Padoue construit un appareil à barres fixes (et non à fil dont la tension pouvait toujours varier) permettant d'obtenir la courbe logarithmique par intégration de l'hyperbole – et donc le calcul des logarithmes. Sur le plan théorique, Clairaut en 1745 et Vincenzo Riccati en 1752 (dans un mémoire en latin publié à Bologne) reviennent sur cette méthode. Tournès est sévère quand, après cette étape, il indique à propos de Coriolis :

La construction mécanique des équations différentielles passe ensuite de mode pendant plus d'un siècle. En dehors de quelques tentatives peu convaincantes de Gustave-Gaspard Coriolis en 1836,

172. Poncelet, J.-V., 1827–1830. *Cours de mécanique industrielle*. rédigé par Mr le capitaine du Génie Gosselin. Lithographie de Clouet, Paris, 2e partie, 1828–1829, p. 46-49 (cité par Tournès).

il faut attendre les années 1870 pour voir réapparaître les idées fécondes des géomètres du dix-huitième siècle. Tout se passe comme s'il s'agissait d'une redécouverte.

Un certain nombre d'auteurs, cités par Tournès dans sa bibliographie commentée, mentionnent néanmoins Coriolis comme inventeur du «premier en date de tous les intégraphes connus» (Maurice d'Ocagne, 1918), comme ayant eu «l'idée première des intégraphes» (Henri de Morin, 1913). Louis-Frédéric Jacob (en 1911) accorde la même primauté à Coriolis tout en indiquant que «son système était peu précis et n'a reçu aucune application».



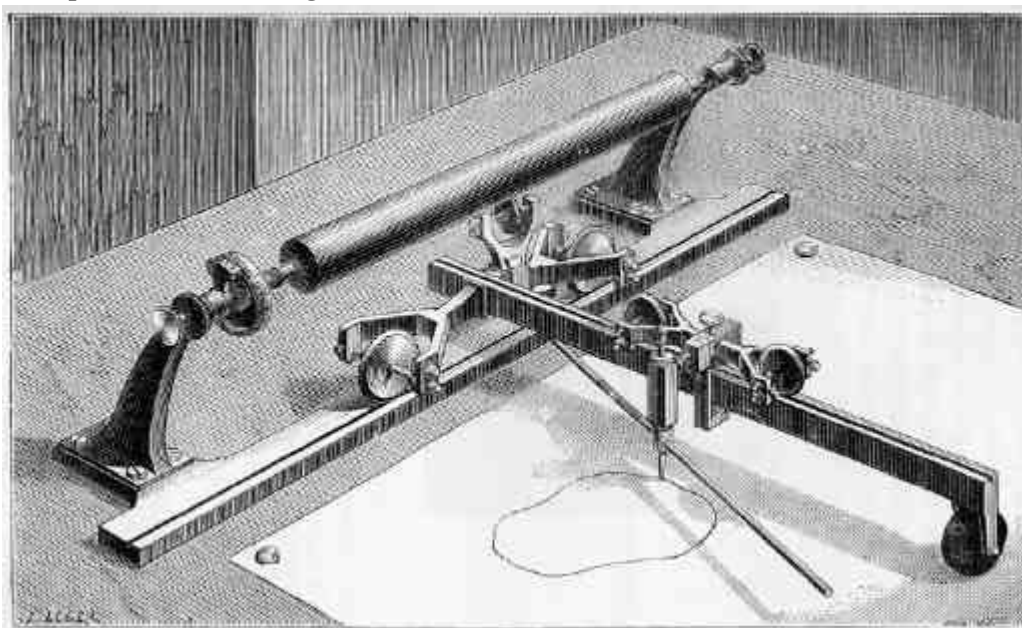
Comment Coriolis est-il amené à s'intéresser à ce sujet ? Car, même s'il est vrai que son article n'a pas eu de suite, on peut aussi considérer que Coriolis «redécouvre» la méthode de Leibniz. Est-ce une idée originale venant de lui ? Nous pensons qu'il y a peu de chances qu'il ait lu Leibniz ; en revanche, il a peut-être lu Clairaut, en français. Toujours est-il que Coriolis remet au goût du jour une méthode qui avait été oubliée.

Son article comporte trois parties assez différentes. L'introduction rappelle très brièvement la méthode de la tractrice (l'idée du fil est conservée, les poulies de Huygens sont remplacées par un cylindre autour duquel s'enroule le fil). La deuxième partie correspond à l'objectif de l'article : construire une machine calculant les intérêts composés par intégration de la courbe exponentielle $e^{\frac{x}{a}}$. La conclusion en est très concrète, puisque il s'agit d'une machine où on peut lire «ce que sont devenues les sommes placées, ou ce qu'elles doivent être pour l'escompte», – c'est-à-dire capital et intérêts, créditeurs lorsqu'il s'agit d'un placement, débiteurs lorsqu'il s'agit d'une dette. Coriolis indique avoir déposé «le modèle» à Polytechnique : on peut penser qu'il s'agit d'un modèle sur papier et non d'une machine, et qu'aucune machine n'a été construite sur la base de ce modèle. La troisième partie applique la méthode des cylindres à l'intégration de la chaînette, puis l'étend assez laborieusement au cas d'une courbe quelconque.

Le principe paraît novateur, mais complexe dans sa réalisation. Coriolis nous confirme dans cette impression quand il indique, en conclusion de son article, une restriction du procédé, nécessaire pour éviter le frottement du fil sur le cylindre – ce qui rendrait le procédé caduque. Cette restriction (cas où $\tan \theta$ est supérieur à un coefficient de frottement donné, θ étant un angle variable lié à la courbure de la courbe à intégrer) semble assez inapplicable en pratique – il s'agit de s'assurer que le fil, qui est tendu d'une part par un peson (comme dans les méthodes à la Huygens), n'est pas «trop» sollicité latéralement par le cylindre, i.e. «ne glisse pas sur la surface du cylindre» pour reprendre les termes de Coriolis. Le fait que l'angle soit dépendant de la courbe elle-même peut discréditer la méthode, puisque celle-ci n'était pas universelle – c'est-à-dire indépendante du contexte.

Nous pouvons donc estimer avec Tournès la tentative « peu convaincante », en tout cas pour la généralisation et la méthode, sans doute difficile de réalisation. Mais on peut donner acte à Coriolis, nous semble-t-il, de deux éléments. Le premier, c'est d'avoir remis au goût du jour cette méthode de la tractrice – qu'il ait lu Clairaut ou non, ceci n'était pas inutile près d'un siècle plus tard (de 1752 à 1836). Le second, c'est d'avoir effectivement construit non une machine, mais à tout le moins le modèle d'une machine d'application pratique (le calcul des intérêts composés) – là aussi un siècle après la machine de Poleni pour le calcul des logarithmes. Notons toutefois avec Tournès que la machine de Poleni « faisait appel à de la mécanique de précision » en utilisant des barres rigides se déplaçant dans des glissières, plus faciles à manier et plus fiables que les fils, « difficiles à garder tendus » : en ce sens, le modèle de Coriolis constitue plutôt un retour en arrière, s'inscrivant dans la lignée des méthodes à fil à la Huygens.

On notera enfin que la remarquable revue des méthodes que nous offre Tournès nous conduit ensuite en France, en 1886, avec l'intégraphe de Bruno Abdank-Abakanowicz, ingénieur polonais devenu directeur d'usine à la Compagnie française Thomson-Houston : or, cet auteur cite Coriolis dans son ouvrage. On peut penser qu'Abdank-Abakanowicz n'avait pas lu les textes de Leibniz en latin ou la correspondance de Poleni : mais il avait pu prendre connaissance de l'idée de Leibniz grâce au texte de Coriolis, à qui il rend hommage.



Intégraphe d'Abdank-Abakanowicz ([1886]). La courbe dont on cherche la primitive est tracée à droite. La grande molette à gauche nous donne l'aire de la surface tracée, par utilisation de la barre rigide reliée au pointeur.

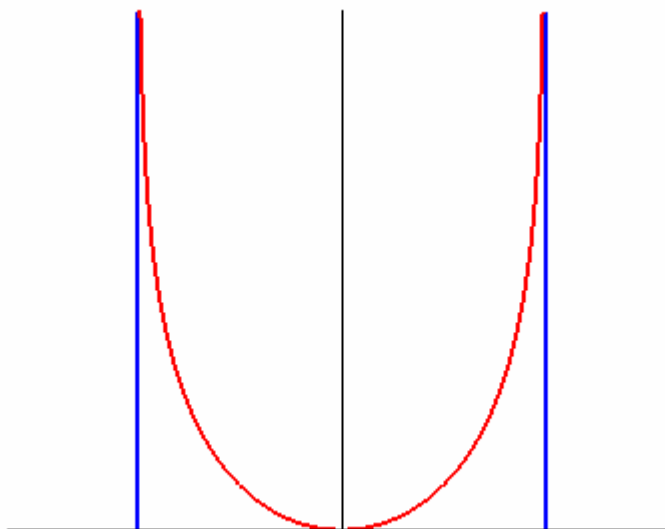
La chaînette d'égal résistance

On connaît l'histoire de la chaînette « classique » – courbe prise par un fil sous l'effet de son propre poids, mise en évidence en 1691 par Leibniz comme une des

premières « transcendantes » (courbe non algébrique). Esquissons l'histoire de la « chaînette d'égal résistance », dans laquelle s'inscrit le second article de Coriolis dans le *Journal de mathématiques pures et appliquées*.

Cette courbe diffère de la chaînette traditionnelle : il lui est demandé d'avoir une tension constante en chaque point (« égale résistance »). La chaînette d'égal résistance est la forme prise par un fil pesant flexible inextensible suspendu entre deux points, quand la masse linéique est proportionnelle à la tension, c'est à dire quand l'épaisseur varie de manière que la résistance à la rupture reste constante en tout point. La chaînette classique a, elle, une tension maximale en ses points d'appui, pour devenir nulle en son point bas.

Ce problème pourrait avoir un intérêt physique (la courbe inversée, d'égal résistance en chaque point, pourrait servir dans la construction de voûtes de ponts ou d'ogives), mais la solution mathématique ne correspond à aucune réalité physique, puisque la courbe « part à l'infini », avec deux droites asymptotes en lieu et place des points de suspension de la chaînette traditionnelle.



Chaînette d'égal résistance, d'équation $y = -a \operatorname{Log} [\cos (x/a)]$, équation donnée par Coriolis dans son article, ainsi que par Bobillier et Finck dix ans auparavant. À la différence de la chaînette traditionnelle, elle est comprise entre deux courbes asymptotes d'équation $y = \pm p a/2$. (dessin site Mathcurve, Robert Ferréol, Jacques Mandonnet, 2004)

Le traitement du sujet par Coriolis ne semble présenter aucun résultat original. On peut même s'étonner de cette publication dans la mesure où le sujet avait fait l'objet d'un traitement équivalent dans deux revues dix années auparavant, en France et en Angleterre. En effet, le *Journal de Gergonne* posait en 1825-1826 une question ainsi formulée, en « problème de statique » :

Déterminer l'équation de la chaînette de pesanteur variable, dans laquelle la masse de chaque élément est proportionnelle à la tension qu'il éprouve, et déterminer en outre la masse de chacun de ses éléments ?

Les auteurs Bobillier (professeur à l'École des arts et métiers de Châlons-sur-Marne) et Finck (répétiteur de mathématiques à l'École d'artillerie de Strasbourg), tous deux « anciens élèves de l'École polytechnique¹⁷³ », comme le précise la revue, allaient en donner l'année suivante, de manière indépendante, une solution mathématique complète.



Par ailleurs, elle est étudiée de manière plus concrète par l'ingénieur et scientifique anglais Davies Gilbert (1767-1839) en mars 1826 dans les *Philosophical Transactions*¹⁷⁴, à propos du pont du détroit de Menai en Pays de Galles. Ce traitement est celui d'un ingénieur, qui titre son article « Sur la théorie mathématique de la théorie des ponts suspendus, avec des tables pour faciliter leur construction ». Davies a pensé que le projet du pont du Menai Straight au Pays de Galles ne satisfaisait pas aux conditions de solidité et de permanence requises d'un ouvrage d'art à caractère national. Remarquant que la chaînette traditionnelle – suivant laquelle il est projeté qu'il soit bâti – a une tension minimale en son milieu, il introduit la chaînette d'égale résistance et modifie les plans en conséquence, en indiquant que la chaînette d'égale résistance n'est pas « une courbe de curiosité spéculative, mais d'utilité pratique ».

The interval between the points of support and the roadway of the Menai Bridge has in consequence been augmented to fifty feet ; and it now possess that full measure of strength.

Le traitement du sujet par les deux revues françaises, le *Journal de Gergonne* en 1826 et le *Journal de Liouville* en 1836 est très différent, d'ordre purement mathématique. Ceci n'est pas étonnant pour Bobillier et Finck qui sont des mathématiciens, et des mathématiciens uniquement. C'est plus étonnant de la part de Coriolis qui, en tant qu'ingénieur des Ponts et chaussées, et pas uniquement mathématicien, eût pu avoir un traitement du sujet analogue à celui qu'en fait Davies. En tout état de cause, même sur le plan mathématique, l'article de Coriolis n'apporte rien par rapport à l'article de Bobillier & Finck : nous pouvons conclure qu'il s'agit principalement pour Liouville de lancer son journal, et pour Coriolis d'y participer¹⁷⁵.

173. Bobillier, Étienne (X 1817 ; 1798-1832), géomètre, mathématicien, professeur à l'École des arts et métiers de Châlons ; Finck, Pierre Joseph Étienne (X 1815 ; 1797-1870).

174. Davies [1826].

175. Notons néanmoins que certains mathématiciens, au XX^e siècle, parleront de la « chaînette de Coriolis » pour évoquer la chaînette d'égale résistance. Voir par exemple : E. Turrière, « Sur certaines surfaces généralisant la chaînette de Coriolis », *Nouvelles annales de mathématiques*, 4^e série, 11 (1911), p.385-394.

LA SUCCESSION DE NAVIER À SA MORT

On a vu à quel point la trajectoire de Coriolis, de sept ans son cadet, avait été parallèle à celle de Navier : corps des Ponts, enseignement aux Ponts, à Polytechnique (quoique tardif pour Navier) – Coriolis était répétiteur de Navier dans le cours d'analyse et de mécanique à Polytechnique (depuis 1831) et professeur adjoint à Navier dans le cours de mécanique appliquée des Ponts (depuis 1831 aussi). On sait aussi que leurs approches de la science étaient assez voisines – tous deux étaient des théoriciens de la mécanique appliquée. On peut même considérer que la présence de Navier a empêché la progression plus rapide de la carrière de Coriolis : ce fut le cas notamment en 1831, où c'est lui qui reprend le cours de Cauchy à Polytechnique, et non Coriolis qui en était répétiteur.

La disparition prématurée de Navier, en août 1836, à cinquante et un ans, va ouvrir certaines opportunités pour Coriolis : il laissait deux chaires, aux Ponts¹⁷⁶ et à Polytechnique, et un siège à l'Académie des sciences.

Coriolis académicien des sciences

Le nom de Coriolis avait déjà été soumis à deux reprises aux suffrages des académiciens pour entrer en leur assemblée, en 1831 (où Hachette est élu) et en 1834 (où Poncelet est élu); en 1831 aussi, son nom avait été soumis (pour la première fois) aux suffrages des académiciens non pour un poste d'académicien, mais pour un siège vacant à la chaire d'analyse et de mécanique à l'École polytechnique, en séance du 28 février 1831. Elle avait, on l'a vu, choisi pour cette chaire Navier qui était déjà académicien.

Toujours en 1831, c'est le 17 octobre que s'effectue une sélection pour une place d'académicien : c'est la première fois que le nom de Coriolis apparaît pour cette distinction. Le «Comité secret» place pour la section de mécanique dans l'ordre M. Hachette, MM. Poncelet et Gambey ex-aequo, M. Marestier, M. Cagniard-Latour, M. Coriolis en sixième et dernière place. Une semaine plus tard, c'est Hachette qui est élu¹⁷⁷ par 37 voix sur 42 (les Procès-verbaux ne mentionnent pas la destination des autres voix).

Deux ans et demi plus tard, le 10 mars 1834, l'Académie dresse une liste pour un nouveau poste vacant en section de mécanique : MM. Coriolis et Poncelet ex-aequo, puis MM. Francoeur et Gambey ex-aequo. Une semaine plus tard, sur 54 votants, Poncelet est élu par 36 voix, 9 vont à Coriolis et 9 à Francoeur. Poncelet, juste rentré à Paris, issu de la même promotion de Polytechnique que Coriolis, entre donc avant lui à l'Académie.

176. Concernant la chaire des Ponts, c'est trois mois avant la mort de Navier, en mai 1836, que Coriolis la récupère, et que Guillebon le remplace – Navier étant nommé Inspecteur Divisionnaire adjoint (lettre du 10 mai 1836 du directeur général des ponts, dossier Coriolis [AAS]). Peut-être Navier était-il malade, et le Corps des ponts aurait dans ce cas anticipé sa succession.

177. On sait que Hachette a rencontré des difficultés à rentrer à l'Académie des sciences, compte tenu des liens étroits qu'il avait eus avec Napoléon. Une première tentative se solde en 1826 par un refus du roi Charles X. C'est en 1831, après la révolution de Juillet, qu'Hachette sera élu.

Objectivement, Poncelet avait à son actif des travaux plus nombreux que Coriolis (notamment dans sa période de géomètre), par ailleurs il avait déjà obtenu une distinction de l'Académie en 1825, le prix Montyon, pour sa « roue à aubes courbes » présentée en 1823. Mais Poncelet était aussi un homme plus charismatique et un homme de réseaux, ce qui a pu faciliter son élection – alors que Coriolis ne l'était pas. Mentionnons aussi l'influence du secrétaire perpétuel Arago : il devait quelque chose à Poncelet, puisque celui-ci avait accepté à sa demande de quitter Paris et de prendre le cours de l'École d'artillerie de Metz à son corps défendant. Le remercier avec un poste à l'Académie à son retour à Paris était dans l'ordre des choses. Il n'est par ailleurs pas interdit de penser que Poncelet savourait ainsi une revanche sur Coriolis ; et, à partir de son élection à l'Académie, il oubliera vite les passes d'armes de 1829 avec Coriolis à propos de la priorité sur certains résultats, et les chemins des deux hommes ne se croiseront plus beaucoup à partir de cette date.

La troisième « nomination » sera la bonne : deux ans et demi plus tard, à la mort de Navier, l'Académie place le 5 décembre 1836¹⁷⁸ pour la section de mécanique M. Coriolis, MM. Duhamel et Lamé ex-aequo, M. Francoeur. A la date de l'élection, une semaine plus tard, un académicien demande qu'un certain Gambey¹⁷⁹ soit rajouté à la liste. Sur 55 votants, Coriolis reçoit 45 voix, contre 10 à Gambey.

La chaire de Navier à Polytechnique

Coriolis n'est pas candidat à cette chaire, que Duhamel – de cinq ans son cadet – obtiendra. Répétiteur de ce cours d'analyse et de mécanique depuis 1817, il avait manqué la chaire en 1831 lors du départ de Cauchy (il n'en avait assuré que l'intérim pendant une année scolaire) ; en 1836, au décès de Navier qui l'avait supplanté en 1831, Coriolis ne se porte pas candidat.

Le Conseil d'instruction du 30 septembre 1836 enregistre comme candidats à cette chaire MM. Liouville, Duhamel et Auguste Comte¹⁸⁰. Une commission dirigée par le directeur des études Dulong est nommée, qui propose le 7 octobre 1836 les candidats dans l'ordre précité, tout en indiquant

que si la commission n'a point porté M. Coriolis sur sa liste de présentation, c'est parce qu'il a lui-même déclaré itérativement¹⁸¹ que la faiblesse de sa santé ne lui permettait pas de remplir les fonctions de professeur.

178. Le compte-rendu du 12 décembre, date de l'élection, rectifie d'ailleurs une « erreur d'impression », puisque le compte-rendu du 5 décembre mentionnait en premiers ex-aequo MM. Coriolis, Duhamel et Lamé !

179. Henri Gambey (1787-1847), fabricant d'instruments de mesure de précision. Il sera élu à l'Académie (section de mécanique) en 1837.

180. Fait assez rare, l'Académie avait placé Duhamel en première position, et le Conseil d'instruction Liouville. Par lettre du 28 octobre 1836 (dossier Liouville), le ministre de la Guerre demande au général commandant l'École « de [le] mettre promptement à même de faire un choix ». C'est finalement Duhamel qui sera nommé à cette chaire.

181. Par "itérativement", il faut comprendre "de manière répétée".

Cette explication semble contredire l'intéressante missive de Dulong à Comte (lettre du 4 novembre 1836) :

Le successeur de Mr Navier n'est point encore nommé, et j'ai de fortes raisons de croire qu'il ne le sera pas très prochainement. Mr Coriolis, à qui j'ai proposé de commencer le cours, n'ose pas entreprendre une tâche dont il ne peut mesurer l'étendue. Je viens donc vous demander, Monsieur, si vous seriez disposé à commencer le calcul différentiel, en vous conformant au programme et sans que je puisse vous dire d'avance le nombre de leçons pour lequel nous réclamons votre concours.

Certes, Coriolis répondait là à la demande d'assurer l'intérim – il est d'ailleurs curieux qu'on lui demande, à la rentrée de novembre, d'assurer l'intérim, alors qu'il ne s'est pas porté candidat pour la chaire, un mois avant, devant le Conseil d'instruction. Sa réponse peut être vue comme liée à l'intérim du cours (impossibilité de préparer « au pied levé » les leçons d'analyse) et non à la chaire elle-même ; mais pour quelqu'un qui était répétiteur du cours depuis vingt ans, qui avait assuré en 1830 l'intérim du cours de Cauchy, autrement plus difficile que celui de Navier, l'excuse d'une « tâche dont il ne peut mesurer l'étendue » paraît une excuse dilatoire. L'excuse de la santé, citée par de nombreux commentateurs, nous paraît elle aussi dilatoire. Il faut, à notre sens, s'interroger plus en profondeur sur les raisons qui incitent Coriolis à ne pas faire acte de candidature à cette chaire.



En 1831, Coriolis s'était trouvé un certain nombre de raisons pour s'expliquer le fait qu'il n'avait pas été nommé : la principale était que Navier – bien qu'il n'eût jamais enseigné à Polytechnique et qu'il ne fût pas spécialiste de mathématiques – était académicien ; l'Académie avait ainsi privilégié un de ses membres.

Mais, en 1836, le fait que Coriolis ne reprenne pas cette chaire amène à se poser un certain nombre de questions. S'agit-il du syndrome de l'éternel second, répétiteur depuis dix-huit ans, qui a échoué déjà une fois à la succession, et qui ainsi échouerait de nouveau ? Un tel élément a pu jouer, mais pourtant, par rapport à 1831, l'œuvre scientifique de Coriolis avait considérablement augmenté, notamment grâce aux articles concernant les équations du mouvement relatif. Mais justement, Coriolis, qui s'était de plus en plus affirmé comme « théoricien de la mécanique appliquée », pouvait-il légitimement prétendre à obtenir une chaire de mathématiques ? la vision de l'enseignement à Polytechnique n'avait-elle pas évolué entre-temps, notamment pour les mathématiques ? Nous pensons que ce qui était encore possible en 1831 – à savoir qu'un mécanicien comme Navier, avec une expérience de l'enseignement des mathématiques fort réduite (ce n'est pas ce qu'il enseignait aux Ponts), qui n'avait aucune fonction d'enseignement ou d'examen à Polytechnique, obtînt la chaire – ne l'était plus en 1836.

La première raison, à notre sens, pourrait être d'ordre scientifique et pédagogique, à savoir une rationalisation des enseignements, sous forme d'une meilleure adaptation des enseignants à la matière enseignée. Sur un cours qui était fondamentalement un cours de mathématiques – et on sait même que Cauchy en 1821 se voyait reprocher son cours trop

théorique et trop long – pouvait-on encore nommer des enseignants dont la spécialité n'était pas les mathématiques ? Certes, le cas de Coriolis était un peu différent puisqu'il était répétiteur de ce cours depuis son entrée dans le corps professoral en 1817 ; mais justement, n'était-il pas devenu depuis un spécialiste de la mécanique appliquée – avec son ouvrage de 1829 et ses articles de 1831 & 1835 – et peut-être cette spécialisation le rendait moins légitime à reprendre le cours d'analyse de Polytechnique.

Une autre raison d'ordre scientifique pourrait être le fait que le réservoir de « géomètres » avait été reconstitué en 1835. En 1831, il ne semble pas qu'il y avait de mathématiciens susceptibles de remplacer Cauchy – les plus illustres comme Poisson ou Poinsot étaient déjà « placés », soit à l'Académie, soit comme examinateur permanent, et se souciaient peu d'ajouter une charge de cours à leurs multiples occupations. Cinq ans plus tard, le tableau est différent, avec des géomètres comme Duhamel (40 ans) ou Liouville (27 ans) qui étaient déjà dans la place – Duhamel était répétiteur depuis 1830 et Liouville était, avec Coriolis, répétiteur du cours d'analyse depuis 1832. Ce qui était possible en 1831 – le fait que Navier reprenne ce cours par « accident » – ne l'était plus en 1835. Mais, déjà, ceci traduisait un changement dans les personnalités issues de l'X : on trouvait des géomètres à nouveau, et l'exemple de Liouville – qui avait suivi le cours fort théorique de Cauchy – le montre.

Enfin, une troisième raison à notre sens ressort plutôt de la politique et des jeux de pouvoir et personnels. Les stratégies personnelles, d'abord : les « jeunes loups » comme Liouville, géomètres purs, étaient dans la place et poussaient pour obtenir les chaires dont ils étaient déjà répétiteurs. Il s'agissait là d'un sujet de générations : Liouville, répétiteur comme Coriolis du cours d'analyse, avait dix-sept ans de moins que lui et son ambition était grande. Il s'agissait aussi de jeux d'influence politique : là, se dessine la personnalité d'Arago. Son influence sur les carrières scientifiques n'était que balbutiante en 1831 – on sortait tout juste d'une période légitimiste où il était avant tout un savant. En 1831, il prenait à peine ses marques sur le plan politique ; en revanche, en 1836, c'est un homme d'influence, homme politique et secrétaire perpétuel de l'Académie depuis six ans, et surtout fortement décidé à jouer de cette influence – ce qui n'était peut-être pas encore le cas en 1830-1831¹⁸². Le « parti Arago », tel que le qualifiera Coriolis dans ses lettres de la période suivante, avait commencé de se former dans le corps enseignant de Polytechnique entre 1830 et 1835 – avec justement Liouville comme figure de proue. Finalement, lors de la succession de Navier, la donne est très différente.

Pour conclure, le fait que Coriolis ne reprenne pas cette chaire – et on ne sait si en 1836 il souhaitait l'avoir ou non – marque un tournant à l'X : c'est, d'une certaine manière, la fin de l'âge d'or des ingénieurs-savants, au sens le plus général de ce terme. Ils s'effacent

182. Notons qu'Emmanuel Grison ([1989]) confirme notre interprétation (p.19), en ce qui concerne l'implication beaucoup plus importante d'Arago au sein de l'École polytechnique à partir de la fin de 1835 : Arago n'assiste qu'à une seule des 18 séances du Conseil de perfectionnement (où il est nommé en 1832 pour représenter l'Académie) entre 1832 et fin 1835, et « il y devint, soudainement, fort assidu de 1836 à 1839 ».

peu à peu au profit des mathématiciens plus traditionnels, c'est-à-dire plus théoriques. Ils vont aussi s'effacer en tant qu'élèves issus de l'École – celle-ci à partir de ce moment-là ne formera plus d'ingénieurs-savants qui avaient fait le succès et l'originalité de l'École pendant vingt-cinq ans. Rappelons-le nous, c'étaient, pour reprendre l'expression complète de Grattan-Guinness, des « ingénieurs-savants mathématiciens », donc tout à fait légitimes, pendant une certaine période, à professer des cours d'analyse. Ces cours sont repris à partir de 1836 par des mathématiciens plus traditionnels, des géomètres. C'est alors la deuxième mort de l'École de Monge, définitive cette fois-ci : c'est la fin de l'influence de ceux qui ont été formés à l'École de Monge¹⁸³. La perte de cette spécificité conduit, pensons-nous, à un certain déclin de l'École polytechnique. Bien évidemment, ce ne saurait en être la seule cause, et les circonstances extérieures, comme l'avènement de l'ère industrielle et la montée en puissance des écoles d'application ou des écoles plus pratiques comme Centrale a aussi joué, de manière plus importante même : mais nous ne pouvons nous empêcher de remarquer que la fin des années 1830 marque un tournant dans l'enseignement, et le fait que Coriolis ne reprenne pas cette chaire en 1836 en est un signe fort.

183. On ne peut s'empêcher d'imputer à Liouville et à son mentor Arago ce déclin. Liouville, entré au corps des Ponts, ne termine pas ses années aux Ponts car il préférerait une carrière académique à une carrière d'ingénieur, il se rapproche de l'Université – c'est lui qui infléchira l'enseignement à l'École polytechnique dans un sens plus académique à peine dix ans plus tard. Quant à Arago, passée la cinquantaine, c'est le pouvoir et l'influence qui furent ses moteurs, au détriment de la science et d'une « certaine idée » de l'enseignement à Polytechnique.

IV – La décrépitude (1838 – 1843)

Il semble, si l'on en croit ses écrits personnels, que 1837 ait été une année-charnière dans la vie de Coriolis. Il indique ([ASM-AAS]) avoir toujours eu une mauvaise santé, mais qu'en 1837, «une maladie de poitrine accidentelle lui laissa un tel affaiblissement qu'il ne lui fût presque plus possible de s'occuper sur des sujets applicants». Ceci peut être confirmé par la baisse de son activité scientifique propre à partir de cette année-là, après son élection à l'Académie en décembre 1836. Il poursuit en indiquant que cet état de santé « le porta à solliciter le poste de directeur des études à l'École polytechnique ».

Coriolis est ainsi nommé directeur des études à l'École polytechnique le 1^{er} octobre 1838. Cette période s'étendant jusqu'à sa mort cinq ans plus tard sera celle du déclin personnel et professionnel de Coriolis, de la décrépitude pourrait-on même dire. Ces mots paraissent forts voire déplacés, mais il est frappant de voir comment cette période contraste avec la période précédente d'épanouissement de Coriolis (et notamment avec les années fastes, de 1830 à fin 1836).

Cette nomination marque la fin de ses enseignements, à Polytechnique comme à l'École des Ponts, et la fin de ses travaux scientifiques personnels : enseignement et recherche faisaient à coup sûr partie des «sujets applicants » mentionnés par Coriolis ci-dessus. Elle marque aussi la fin de sa carrière administrative au corps des Ponts et chaussées¹⁸⁴. Pendant cette période, Coriolis conservera deux charges, celle d'académicien et celle de directeur des études à Polytechnique.

La fin de ses enseignements signifie qu'il n'a plus de relation de maître à élève, qui peuvent être valorisantes, notamment avec les polytechniciens. Ces relations deviennent principalement hiérarchiques et disciplinaires – le directeur des études joue un rôle important dans le doublement voire l'exclusion des élèves pour insuffisance scolaire.

Le poste de directeur des études est un poste de responsabilités, un poste en vue : Coriolis en est conscient, mais il a du mal à supporter le poids de ces responsabilités. C'est la première et la seule fois dans sa carrière qu'il a un poste de pouvoir – quasi équivalent à directeur de l'École polytechnique.

Les relations hiérarchiques avec les élèves, avec les généraux de l'École avec lesquels il est en prise directe (beaucoup plus qu'en tant que répétiteur), et surtout les conflits ouverts ou larvés avec les collègues du corps professoral de Polytechnique (Liouville, Comte) lui apportent contrariétés et insatisfaction profonde. À cela s'ajoute l'insatisfaction, voire la frustration, de ne plus faire d'enseignement, ni de recherche pour son compte propre.

184. Comme l'indique *L'Annuaire de l'École polytechnique 1843-1846* (hommage posthume à Coriolis) : « Il obtint, pour exercer cet emploi qu'il jugeait incompatible avec tout autre, un congé illimité du corps des Ponts et Chaussées ».

Il va montrer une inadaptation certaine à ce poste exposé aux intrigues, jeux de pouvoir, de nomination et de succession. Il se heurte au corps professoral de l'École, principalement à Liouville, agressif à son égard en Conseil d'instruction, représentant à l'École du « clan Arago », fort puissant pendant cette période. En Conseil de perfectionnement, il se heurtera à Arago lui-même, notamment pour le projet de réforme des études et de l'admission auquel il travaille à partir de 1839, dès sa prise de fonctions. Les intrigues liées aux successions, les polémiques liées à la reconduction d'Auguste Comte dans ses fonctions à Polytechnique vont peser sur sa santé, comme le montre abondamment sa correspondance personnelle. Il va connaître successivement trois généraux commandant l'École, et ses relations avec le dernier d'entre eux, à partir d'octobre 1840 (Gauldrée-Boilleau), seront mauvaises. Il se plaint de ne plus avoir le temps d'avancer sur ses travaux scientifiques – comme la révision et la réédition du *Calcul des machines*. À partir de 1840, il n'a de cesse de souhaiter prendre sa retraite, sans jamais aller jusqu'au bout de la démarche. Finalement, ses problèmes de santé – qui ont toujours été très présents dans ses lettres – semblent devenir très importants à partir d'avril 1843, et il s'éteint, seul, en septembre 1843, sans doute victime de la tuberculose. Le contraste est tel avec la période précédente, celle des « années fastes », et le contexte tel, que nous n'hésitons pas à parler de « décrépitude » pour cette dernière période de sa vie.



Les sources sont particulièrement riches sur cette période. Nous avons d'abord les procès-verbaux des Conseils d'instruction et de perfectionnement de l'École polytechnique, dont Coriolis est directeur. Leur analyse apporte un éclairage à l'histoire du fonctionnement de l'École polytechnique, et à la fonction de directeur des études. Il est aussi singulièrement éclairé par une autre source très riche, la correspondance à la cousine Benoist, qui pratiquement n'existe que sur cette période. Complémentaire de la sécheresse du style des procès-verbaux du Conseil d'instruction, elle donne de précieux détails sur les relations entre Coriolis et ses pairs scientifiques.

Nombre de ces lettres sont de longues plaintes sur l'ambiance à l'École, ou sur son état de santé – ces sujets reviennent de manière lancinante et répétitive. Nous l'illustrons par les assertions sur Liouville, ou sur son souhait de prendre sa retraite, pour montrer la permanence de ses plaintes. Nous ne l'avons pas fait à propos des plaintes répétées sur son alimentation et sa santé, de crainte de lasser notre lecteur. Mais il faut savoir que ce sujet est très présent, avec force détails intestinaux, dans la correspondance privée de Coriolis.

Nous consacrons un certain développement à ce que nous appelons les « affaires Comte », à savoir les violents débats qui ont lieu – notamment au sein du Conseil d'instruction – sur l'attitude d'Auguste Comte à partir de 1840. D'abord parce que là aussi, les sources sont riches, par exemple les écrits de Comte ou de ses hagiographes.

Ensuite parce que même si ces épisodes ont déjà été assez étudiés, les voir à travers le prisme de Coriolis en renouvelle à notre avis l'intérêt.



L'œuvre scientifique de Coriolis est assez réduite, nous l'avons dit, sur cette période, et il s'en plaint. Il nous a semblé toutefois qu'il reportait sa capacité de travail – celle qu'on peut avoir dans les travaux scientifiques – et son énergie sur son projet de réforme des études, depuis l'admission à Polytechnique jusqu'à l'enseignement en École d'application en passant par l'enseignement à Polytechnique. À la différence des affaires de successions ou de nominations, où il n'est pas directement impliqué, ce projet lui tient à cœur et il se sent mis en cause personnellement lorsque ce projet fait l'objet d'un tir de barrage du clan Arago et des conservatismes de tout poil, alors qu'il est convaincu de son bien-fondé et de sa nécessité pour l'intérêt général. Certains de ses amis diront même après sa mort, dans des écrits à caractère polémique, que c'est ce qui l'a tué, et Arago, peut-être avec raison, le nierait.

Coriolis meurt dans la solitude et la discrétion le 18 septembre 1843, à l'âge de cinquante et un ans. Il est enterré au cimetière du Montparnasse sans grande pompe – seul Jacques Binet lui rend hommage au nom de l'Académie des sciences. En 1851, est réalisée l'expérience du pendule de Foucault au Panthéon, sans que le lien avec la « force centrifuge composée » soit fait. En 1859, Joseph Bertrand, secrétaire perpétuel, critique la complexité des mathématiques de Coriolis ; Delaunay, de son côté, met en valeur cette notion de force centrifuge composée et fait le lien avec le pendule de Foucault. Petit à petit, le terme de « force de Coriolis » s'imposera jusqu'à être universellement connu de nos jours.

Chapitre 12. La fonction de Directeur des études

La nomination de Coriolis le 1^{er} octobre 1838 met fin à son service au sein des Ponts et chaussées – il se consacrera à Polytechnique jusqu'à la fin de sa vie. Il cesse aussi son enseignement à l'École des ponts, comme sa fonction de répétiteur à Polytechnique. Des raisons de sa nomination on sait peu de choses. Pourquoi est-il choisi pour prendre la succession de Dulong à la mort de celui-ci en 1838 ? A-t-il fait acte de candidature lui-même ? On peut lire qu'il se porte sur les rangs car «il avait le sentiment de sa valeur personnelle¹⁸⁵ ».

À voir comment ce poste lui réussit, il est permis de douter qu'il se soit porté candidat, mais ce ne peut être totalement exclu. S'il n'était pas candidat, pourquoi est-on venu le chercher ? Pourquoi a-t-il accepté ? En tout état de cause, Coriolis occupera son poste de façon tout à fait différente de Dulong. Il y sera à temps plein, sans cumul avec d'autres fonctions : Dulong était resté, lui, professeur de physique à la Faculté des sciences.

Coriolis, en tant que directeur des études, participe au Conseil d'instruction. Il en est même, théoriquement, l'élément principal : le général commandant l'École et le colonel commandant en second, au-dessus du directeur des études dans la hiérarchie, n'ont pas de rôle scientifique ou pédagogique. Aussi, le directeur des études est la personne la plus importante du Conseil, et sans doute de l'École dans son fonctionnement interne, ainsi sans doute que vis-à-vis de la communauté scientifique dans son ensemble. Vis-à-vis du monde extérieur (hors communauté scientifique), comme du ministère, le général reste le personnage le plus important. Ajoutons à ceci le fait que le directeur des études a une certaine permanence dans le temps (Binet est resté treize ans, de 1817 à 1830, et Dulong huit ans), tandis que les officiers tournent : ainsi Coriolis, dans les cinq ans d'exercice de ses fonctions, connaîtra trois généraux commandant l'École (Tholosé, Vaillant, puis Gauldrée-Boilleau).

C'est pourquoi on a pu parler de «directeur de l'École» à propos du directeur des études¹⁸⁶ – compte tenu de l'important pouvoir que lui donnent sa légitimité scientifique, la cooptation par ses pairs et sa longévité dans le temps – en tout cas plus grande que celle des officiers. Il convient toutefois de tempérer cela en remarquant le rôle important qu'avait – et qu'a eu longtemps – le Conseil de perfectionnement ; d'ailleurs, on est frappé de voir le peu de choses pour lequel le Conseil d'instruction, *a fortiori* le directeur des études, étaient autonomes.

185. *Annuaire de l'École polytechnique* (1843-1846).

186. Terry Shinn ([1980], p. 42) qualifie le directeur des études de « personnage le plus influent de l'école », et que son savoir en mathématique et en physique ajoute à son autorité. Indépendamment de cela, nous émettons toutefois des réserves sur le parti pris d'analyse socio-politique de cet ouvrage. À titre d'exemple, aucun directeur des études n'y est cité.

Le « Directeur des études » à travers les âges

Pour bien comprendre ce type de fonctionnement, il est utile de le voir à la lumière des institutions d'aujourd'hui. Il a longtemps perduré dans les hautes instances d'enseignement françaises : par exemple, le Conservatoire national des arts et métiers fonctionne encore avec un « Conseil de perfectionnement » puissant, composé des professeurs, et un « Administrateur général » issu du domaine scientifique ou universitaire (comme l'était le « directeur des études » à Polytechnique), mais soumettant nombre de ses décisions au Conseil de perfectionnement.

Les universités françaises ont longtemps fonctionné de cette manière. La loi dite LRU (Loi de réforme des universités) en 2007-2008 a pour objectif de modifier ce type de fonctionnements, avec un plus grand pouvoir exécutif au président d'université, indépendamment de son Conseil.

À Polytechnique même, le Conseil de perfectionnement et le directeur des études avaient une importance encore forte dans les années 1960. Ce n'est qu'assez récemment qu'un fonctionnement amoindrant ces pouvoirs et renforçant celui du général commandant l'École a été adopté : le Conseil de perfectionnement s'est effacé au profit d'un Conseil d'administration de composition non uniquement académique. Par surcroît, la fonction de « directeur des études » (jusqu'en 1985 directeur général adjoint pour l'enseignement et la recherche) a été coupée en deux, établissant un véritable râteau de directeurs sous le général commandant l'École, lui donnant ainsi un pouvoir interne qu'il n'avait pas ou peu.

Ces considérations, y compris sur la période actuelle, sont ici présentes pour permettre d'éclairer, nous semble-t-il, la compréhension des rapports entre Directeur des études, général commandant l'École et Conseil de perfectionnement au sein de l'École polytechnique des années 1830.

Quant à Coriolis, pour revenir à lui, nous savons qu'il n'était pas un homme de pouvoir, et nous allons voir que même au sein du Conseil d'instruction où le directeur des études est censé être l'homme fort, ce ne sera pas le cas. Nous n'avons pas d'éléments pour savoir comment cette fonction était exercée par Binet ou par Dulong – mais avec Coriolis, et sans doute aussi avec son successeur Duhamel, le directeur des études sera contesté au sein même du Conseil d'instruction, affaiblissant sa position face au Conseil de perfectionnement : le corps professoral, emmené par Liouville, « le petit rageur » comme il apparaît dans les lettres de Coriolis, entrera en opposition assez constante à Coriolis. Les délibérations du Conseil d'instruction nous montrent que Coriolis est loin d'avoir le dessus, même pour des questions d'administration courante.

FONCTIONNEMENT COURANT DU CONSEIL D'INSTRUCTION

De 1840 à 1842, on dénombre une douzaine de réunions du Conseil d'instruction¹⁸⁷. Les sujets sont d'importance très variable : sujets d'administration de l'École (notes et examens des élèves, exclusions, ...), sujets stratégiques pour l'École (par exemple exigence ou non du diplôme de bachelier pour l'admission), et bien sûr les affaires de nomination de professeurs et de répétiteurs, qui prennent la plus large part des débats. Nous traitons successivement ici du « fonctionnement courant », puis des « sujets stratégiques » pendant la période 1838-1843 où Coriolis est directeur des études. L'aspect des propositions de nominations sera traité dans la partie suivante.



Le Conseil d'instruction examine régulièrement un certain nombre de sujets récurrents, dont certains sont préparés par le directeur des études :

- les résultats d'interrogation des élèves par les professeurs ou les répétiteurs. Un souci important du directeur des études est de veiller à ce que les barèmes ne soient pas trop différents entre les divers examinateurs.
- les modifications à apporter chaque année au programme d'enseignement.
- le choix, par élection annuelle, de ses représentants au Conseil de perfectionnement.
- l'organisation de l'examen d'admission.

On trouve par exemple sur ce dernier sujet une lettre de Coriolis à Auguste Comte [5 juillet 1839] :

Le ministre de la Guerre en nous adressant aujourd'hui l'état des villes d'examen et du nombre des candidats, demande qu'on lui envoie l'itinéraire avant le 8 de ce mois. Je viens donc vous prier de vous rendre à l'école demain samedi à midi pour arrêter cet itinéraire avec messieurs vos collègues.

En décembre 1838, Coriolis propose au Conseil de perfectionnement, au nom du Conseil d'instruction, une réforme des notes – ce qui prouve que dès son arrivée en octobre 1838, il prend certains sujets à bras-le-corps. Il avait donc eu l'accord du Conseil d'instruction pour ce faire – on verra que cet état de grâce au sein du Conseil d'instruction ne durera pas. L'idée de Coriolis est de prendre en compte la note de passage de 1^e en 2^e année dans le classement de sortie, avec un coefficient 4. Auparavant, cette note n'était pas prise en compte, ce qui fait que les élèves pouvaient être moins attentifs en 1^e année. Le Conseil de perfectionnement adopte cette proposition de Coriolis, mais en en réduisant la portée, en affectant la note de passage d'un coefficient 2 et non 4.

187. Le cahier des Conseils d'instruction de 1839 a malheureusement disparu des collections AEP.

Interrogations particulières

	Cours	Nombre de Notes.	Moyenne.
1 ^{re} Division	Mécanique	71	11.77
	Géométrie	265	11.66
	Physique	125	12.69
	Chimie	85	13.06
2 ^e Division	Mécanique	131	12.87
	Géométrie descriptive	291	12.00
	Physique	122	12.84
	Chimie	106	12.41
<i>Interrogation générale sur le cours de Mécanique.</i>			
		Classe Interrog.	Moyenne.
1 ^{re} Division	M. Duhamel professeur	38	11.81
	Comte répétiteur	41	10.63
	Wantzel répétiteur adjoint	48	11.10
			Moyenne générale. 10.89.
2 ^e Division	M. Liouville professeur	43	12.12
	Sturm répétiteur	43	12.83
	Guibert répétiteur adjoint	48	13.24
			Moyenne générale. 12.75.

Exemple de relevé de notes présenté par Coriolis au Conseil d'instruction. En haut, les interrogations particulières, 1^{re} puis 2^e division. En bas, interrogations générales sur le cours de mécanique : 1^{re} division Duhamel professeur, Comte répétiteur, Wantzel répétiteur adjoint ; 2^e division Liouville professeur, Sturm répétiteur, Guibert répétiteur adjoint.

En janvier 1840, montrant au Conseil d'instruction le résultat des interrogations de novembre et décembre 1839, Coriolis fait remarquer que les cours de géodésie et de machines sont ceux où il y a le plus de notes faibles ; il propose, pour stimuler le zèle des élèves, d'en augmenter le coefficient d'une unité. Le débat s'instaure, et Coriolis est partiellement suivi : le cours d'analyse et de mécanique de 2^e année (celui de Duhamel) verra son coefficient diminué d'une unité, qui sera répartie équitablement entre les cours de géodésie et machines ($\frac{1}{2}$ unité) et d'architecture ($\frac{1}{2}$ unité).

En juin 1840, Coriolis propose un changement des modalités de classement des élèves placés dans les derniers rangs de la liste de chaque examinateur. L'idée sous-jacente n'est pas précisée, mais là encore il y a souci d'harmonisation entre les différents examinateurs, les différences étant sans doute plus importantes dans les mauvaises notes que dans les moyennes. Le Conseil juge le sujet suffisamment important pour renvoyer le débat en commission ; le résultat de cette commission est assez complexe [Conseil du 17 juillet 1840]:

On attribuera au 1^{er} élève de chaque liste le n°150, au 2^e le n°149, et ainsi de suite en diminuant d'une unité à chaque rang jusqu'au 100^e élève qui aura le n°51. A partir de ce rang, on donnera

à chaque élève classé, un numéro de force pris entre 0 et 50, de telle sorte que ce numéro ne dépende plus pour les derniers d'une liste du rang des élèves, mais uniquement de leur degré de faiblesse : plusieurs élèves pour cette partie de la liste pourront avoir le même chiffre. Dans le cas, assez rare, où le 1^{er} élève d'une liste aurait montré une supériorité bien marquée sur le 2^e, l'examineur aura la faculté de lui attribuer un nombre au-dessus de 150, sans pouvoir dépasser 154.

En août 1840, à la présentation des notes des interrogations de physique et de chimie, Coriolis fait remarquer que le professeur de chimie M. Pelouze¹⁸⁸ n'ayant donné qu'une note au-dessous de 10, il note trop haut les élèves. Coriolis annonce au Conseil que

l'année prochaine, afin que les différences des notes moyennes fassent moins ressortir la manière de noter des divers examinateurs, il leur répartira les élèves de manière que chacun d'eux en ait le même nombre de la même force.

Les sanctions sont aussi proposées par le directeur des études. En août 1840, il indique que 3 élèves de première année et 7 élèves de seconde année redoublent dans leur division pour raisons de santé. Il pose la question relative à 5 autres élèves de première année non admissibles en seconde année, en les citant. Après discussion au sein du Conseil, un seul d'entre eux est maintenu à l'École – les autres en sont exclus.



Le directeur des études rend compte, aussi, de certains problèmes relatifs aux processus d'examen. En août 1840, il présente au conseil une réclamation des élèves sur les notes de chimie – il y aurait selon eux des erreurs, ils demandent la suppression de ces notes. Coriolis indique qu'il «ne croit pas devoir appuyer» cette réclamation, car les répétiteurs ont déjà accepté de modifier certaines notes suite à une discussion avec les élèves ; il ajoute que l'année prochaine les élèves devront être mieux surveillés (pour des raisons de fraude ?), mais qu'il n'y a pas de graves erreurs cette année-là. Le conseil adopte son avis.

En novembre 1840, Coriolis indique que le nombre plus élevé d'élèves en 1^e année a obligé le professeur de physique Lamé à faire plus d'interrogations (c'est lui qui a pris le surplus, et non ses répétiteurs, peut-on supposer) : le Conseil se joint au directeur des études pour en remercier Lamé.

En décembre 1840, Coriolis fait observer que les interrogations qui ont lieu au grand amphithéâtre avant ou après les leçons de première année sont entièrement perdues pour une grande partie des élèves, qui n'entendent pas les paroles de l'élève interrogé ; il propose, en conséquence, de dispenser les élèves d'y assister. Le Conseil prend là une position plus distante, laissée à la libre appréciation des professeurs :

188. Théophile-Jules Pelouze (1807-1867), chimiste, élève de Gay-Lussac, académicien depuis 1837, répétiteur puis professeur à l'École polytechnique.

Le Conseil arrête, conformément à l'avis de Mr le directeur des études, que ceux de MM. les professeurs de 2^e division [1^e année] qui interrogent à l'amphithéâtre lui feront connaître s'ils sont dans l'intention de n'interroger qu'après la leçon, et en particulier.

Sur trois séances, d'avril à juin 1841, Coriolis avance des propositions plus sévères à l'égard des élèves de 1^e année, qui ont de mauvaises notes. Il souhaite instituer un nouveau mode d'interrogations particulières, fondé sur deux principes :

- Rendre ces interrogations périodiques, en les faisant porter sur toutes les leçons données depuis l'interrogation précédente, et en faisant connaître à chaque élève le jour où il est appelé.
- Tenir compte, dans l'interrogation, des notes ou rédactions prises par les élèves, notes qu'ils prendraient dans des cahiers timbrés et nominatifs, à présenter aux interrogations (ce afin d'éviter les feuilles volantes qu'il se passeraient de l'un à l'autre).

Cette proposition entraînait dans l'esprit de Coriolis la suppression des interrogations générales ; il fait remarquer que le temps passé par les professeurs aux interrogations particulières augmentera, mais que, l'un dans l'autre, le temps global restera constant compte tenu de la suppression proposée des interrogations générales. Cette proposition de Coriolis se transformera en eau de boudin, puisque seules deux décisions sont prises par le Conseil d'instruction de mai 1841. Il renvoie en commission – constituée de Coriolis, Liouville & Sturm – l'examen de ces propositions et vote la disposition assez insipide suivante concernant le jury de passage de 1^e en 2^e année :

Le jury de passage et de sortie sera invité, au nom du Conseil, à traiter avec une sévérité particulière les élèves qui, d'après les notes de l'année, seront reconnus avoir négligé un ou plusieurs cours.

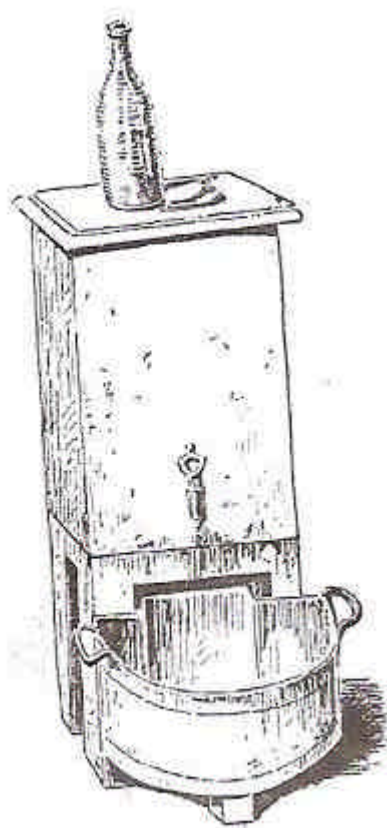
La commission ad'hoc constituée pour examiner les propositions de Coriolis ne rendra jamais ses résultats.

En octobre 1841, le directeur des études fait une proposition de plus grande sévérité : les élèves qui ne remettent pas leurs épures de géométrie à temps seront consignés quinze jours après la date de remise et non trente jours.

Enfin, il peut arriver au directeur des études de demander des gratifications pour des professeurs. S'il n'a pas barre sur les problèmes de budget, traités par le général¹⁸⁹, il peut néanmoins faire des propositions. En août 1841, Coriolis propose de demander au ministre une gratification pour Mr Girard répétiteur pour la surveillance des arts graphiques, devant le travail accru, ainsi que pour Mr Guibert répétiteur adjoint d'analyse. Coriolis est en partie désavoué par le Conseil, sans doute une nouvelle fois par Liouville qui ne voulait peut-être pas de gratification pour son répétiteur :

189. Voir le Conseil de février 1841 où le général rappelle que le budget ne prévoit pas de répétiteurs de chimie supplémentaires

Le conseil reconnaît qu'il y a lieu de demander une gratification pour Mr Girard, pour des motifs qu'il ne juge pas applicables à Mr Guibert.



La provision d'eau dans les caserts, baptisée « le Corio ». Cet objet est souvent mentionné dans la littérature comme « la fontaine » instituée par Coriolis, directeur des études, à une époque où l'eau courante n'existait pas. Nous en avons trouvé une trace fiable dans Claris [1895], avec cette image, et l'indication suivant laquelle le plateau en haut est « l'hyper-corio » et le vase en bas « l'hypo-corio ». On comprend la fonction de cette provision grâce à la bouteille au-dessus : les élèves y boivent de l'eau, l'hypo-corio est là pour éviter que le robinet goutte sur le sol, il peut aussi avoir d'autres usages (nettoyage du sol).

SUJETS STRATÉGIQUES POUR L'ÉCOLE, 1838-1843

D'autres sujets extra-ordinaires ont été suivis par Coriolis pendant ses cinq années de direction des études, nous en avons relevé ici certains :

- La mise en place de la physique à l'examen d'admission (discussions fin 1838 – début 1839)
- La question de l'éventuelle exigence du diplôme du baccalauréat (bachelier ès-lettres) pour les candidats à l'École.
- La demande ministérielle de faire intégrer 45 élèves de plus que prévu en 1^e année fin 1841, compte tenu du besoin accru d'officiers d'artillerie à l'École de Metz cette année-là.

– La réforme des programmes d'admission et d'enseignement.

Nous allons examiner successivement les trois premiers points. Le quatrième point, correspondant à une initiative de Coriolis, fera l'objet d'un chapitre dédié ci-après.

Faut-il introduire la physique à l'examen d'entrée ?

Fin 1838 se pose la question d'introduire la physique dans les connaissances exigées au programme d'admission. Ce sujet a été évoqué par Emmanuel Grison :

En effet, si curieux que cela nous semble aujourd'hui, le programme ne portait que sur les mathématiques (...) C'est ensuite, à l'École même, que les élèves, tout en continuant à étudier les mathématiques, apprenaient la physique et la chimie.

La proposition d'introduire la physique à l'examen d'admission était fortement soutenue par Coriolis : soit il avait eu cette idée dès son arrivée, soit elle avait été initiée par son prédécesseur Dulong, physicien. En novembre 1838, une commission du Conseil de perfectionnement se crée pour étudier le sujet ; elle est composée de Coriolis, Babinet, Poncelet, Bonnard, Demonferrand, Savary. Le 28 décembre 1838, le directeur des études fait son rapport au Conseil de perfectionnement, au nom de la Commission, et la proposition d'introduction de la physique est adoptée.

C'était sans compter sur l'opposition d'Arago qui, absent fin décembre, évoque à nouveau le sujet lors de la séance du 26 janvier, appuyé par les "géomètres" Duhamel et Poinsot. Arago déclare, ce jour-là, qu'il "combattrait" cette proposition, en donnant deux arguments :

- Les candidats ne peuvent pas tous avoir de "cabinet de physique" chez eux.
- Les examinateurs ne sauraient pas sur quoi faire porter leurs questions – la matière n'étant pas encore suffisamment consolidée aux yeux d'Arago, en tout cas pour l'examen d'entrée qui se voulait assez simple.

On peut être étonné de cette position d'Arago : un homme qui avait participé dès 1810, avec par exemple ses expériences sur la vitesse de la lumière, à la constitution d'une véritable « science physique », en restait pour les autres à une vision de la science du XVIII^e siècle, celle de la philosophie naturelle. Il avançait un argument politique (tous les candidats n'ont *pas les moyens* d'avoir un cabinet de physique) qui fixait l'attention et, tel un nuage de fumée, empêchait qu'on vînt à en découvrir le caractère erroné (on pouvait déjà enseigner la matière hors les "cabinets de physique") : libéral dans son discours politique mais très conservateur du point de vue académique, voici comment nous apparaît le Secrétaire perpétuel en la circonstance, et nous aurons l'occasion de le retrouver en cette posture conservatrice.

Coriolis, peut-être conservateur politiquement, mais beaucoup plus pragmatique dans son travail, réaffirme néanmoins sa position ce jour-là :

Mr Coriolis ajoute que l'on a voulu préparer les jeunes gens hors de l'École à tous les cours. La physique a pris plus d'extension que les sciences mathématiques ces derniers temps, l'École doit suivre ce mouvement.

C'est presque évident comparé au nuage de fumée d'Arago : mais le "corps mou" qu'est le Conseil de perfectionnement se rallie à la position du plus fort ou du mieux placé, le Secrétaire perpétuel, et rapporte son vote de décembre 1838. Finalement, ce n'est qu'en 1844, un an après la mort de Coriolis, que la physique fera partie des matières à l'admission, comme le rappelle Belhoste.

Faut-il être bachelier ès-lettres pour être polytechnicien ?

Cette question revient de manière périodique au Conseil d'instruction de début 1841 à début 1842. Nous n'entrerons pas dans le détail de cette question qui a déjà été étudiée par ailleurs, mais l'éclairerons *via* la position de Coriolis.

Au Conseil d'instruction du 24 février 1841, il est fait état d'une lettre du ministre de la Guerre, souhaitant l'avis de l'École à propos d'une demande de son collègue de l'Instruction publique, à savoir la nécessité de produire un diplôme de bachelier pour passer le concours d'admission à Polytechnique. À l'époque, il s'agissait d'un diplôme couvrant uniquement les lettres.

Le général commandant l'École, en Conseil d'instruction, est prêt à adopter l'opinion des ministres, avec l'argument suivant : « Peut-on craindre d'exiger d'un candidat à l'École polytechnique ce qu'on exige d'une surnuméraire des bureaux d'administration ? ». Dans la même séance, Coriolis adopte une position plus équilibrée :

Le directeur des études fait remarquer que de nombre de candidats viennent à l'École polytechnique par la volonté paternelle c'est un inconvénient auquel on ne pourra remédier selon lui qu'en introduisant dans le programme d'admission des matières plus difficiles qui soient moins à la portée de toutes les intelligences et qui ne soient pas comme les connaissances exigées pour le diplôme de bachelier, le produit de la mémoire. Toutefois, on doit reconnaître qu'il faut fortifier l'instruction littéraire, il serait nécessaire que l'examineur des compositions littéraires fût partie du jury d'admission.

Cette position est un plaidoyer *pro domo* : OUI pour la littérature, mais à condition que comme les autres matières, ce soit un examinateur nommé par l'École qui fasse passer l'épreuve correspondante, et NON au diplôme de bachelier : celui-ci, dans l'esprit de Coriolis, ne devait être ni exigé automatiquement, ni reconnu automatiquement – c'est-à-dire que, si l'on décidait que les candidats dussent avoir une culture littéraire à sanctionner, ce le serait par l'intermédiaire de l'examen d'entrée à Polytechnique.

En février 1841, le sujet est renvoyé vers une commission formée de Coriolis, Dubois & Liouville et est enterré. Il revient au Conseil d'instruction un an plus tard, par

l'extérieur, sous forme d'une nouvelle lettre du ministre de l'Instruction publique. Coriolis y fait allusion dans sa correspondance :

Nous avons eu plusieurs grands conseils de perfectionnement au sujet du désir qu'a le ministre que nos candidats soient bacheliers ès lettres. Nous y résistons, mais en opposition avec notre général ; tout cela donne lieu à des discussions vives. [lettre du 15 au 27 février 1842]

Le directeur des études fait remarquer que la proposition a déjà été repoussée trois fois : notons là une certaine assurance de Coriolis qui savait qu'il avait là le Conseil d'Instruction de son côté, ce qui était rarement le cas pour les sujets importants relatifs à l'enseignement et aux examens. Il poursuit en exprimant à nouveau sa position précédente, et ajoute une autre idée :

Pour entourer les épreuves littéraires, dont le monde reconnaît l'importance, des garanties nécessaires, il serait nécessaire que les examinateurs les fissent eux-mêmes ; mais il faudrait alors réduire à deux, comme le conseil en a déjà fait la demande, le nombre des examens auquel chaque candidat pourrait se présenter, afin de n'y admettre que des candidats sérieux et soulager le travail des examinateurs

On peut être étonné que surgisse ce sujet assez éloigné : certes, si les épreuves littéraires sont au concours d'admission, il faudra des examinateurs – mais ce seront des examinateurs dédiés, par exemple les professeurs de littérature de l'École (Coriolis le suggère lui-même), et cela ne correspondra pas à une charge de travail supplémentaire pour les examinateurs existants. Le lien est ténu avec l'idée de limitation à deux du nombre de candidatures à Polytechnique sur laquelle embraye Coriolis. Comme s'il avait dans l'idée de forcer la main du ministère en acceptant la littérature, mais en exigeant la limitation, une sorte de « donnant-donnant » avec la tutelle ministérielle. De nouveau, une commission est nommée, plus large que la commission précédente qui n'avait pas avancé sur le sujet : elle comprenait les mêmes membres (Coriolis, Dubois, Liouville) auxquels s'adjoignaient le général et Regnault.



Le sujet traînera pendant encore une année : une commission du Conseil de perfectionnement cette fois-ci, composée d'Arago, de Mathieu, du général, de Coriolis et de Liouville (les trois derniers étant déjà membres de la commission ad'hoc du Conseil d'Instruction) rendent, lors du Conseil de perfectionnement du 10 février 1842, un avis négatif sur la nécessité d'être bachelier pour se présenter à Polytechnique. Cet avis est discuté lors de la séance du Conseil d'Instruction du 21 février 1842.

Remarquons qu'en la circonstance, Coriolis se trouve être de l'avis d'Arago et de Liouville – alors que pour la physique à l'admission ce n'était pas le cas. Les scientifiques se serrent ainsi les coudes lorsqu'il s'agit de prendre position sur des matières non scientifiques. Coriolis reprend ce sujet dans sa lettre du 1^{er} avril 1842 :

Nous sommes en bataille avec les bureaux du ministère pour la question du baccalauréat pour l'admission. Malgré les avis des conseils d'instruction et de perfectionnement, les bureaux ont fait mettre dans le prospectus de cette année une note à peu près ainsi conçue : "Dans la prévision où le baccalauréat ès-lettres serait exigé en 1843, les (ill. parcours ? parens ?) des candidats doivent leur faire compléter les études littéraires " On ne sait ce que cela veut dire, car on ne dit rien de positif, et si l'on venait à exiger en effet le baccalauréat en 1843, on surprendrait la moitié des candidats.

Coriolis mentionne aussi (lettre à sa cousine du 26 mars 1843) une pétition des maîtres de pension parisiens contre ce souhait du ministère de l'Instruction publique.



Il est intéressant de mettre en relation cette position assez ferme de Coriolis sur l'examen de français (position qui, pour une fois, le met en accord avec ses collègues), avec celle qu'il exprime à peu près la même période au nouveau directeur de l'École des ponts Tarbé. Refusant de se soumettre à l'exercice obligé de correction des exercices de rhétorique des jeunes élèves des Ponts par des membres de l'Académie des sciences (si possible ingénieurs des Ponts), Coriolis écrit :

Je viens de recevoir les concours de style que vous désirez que je classe. Ainsi que j'avais eu l'honneur de vous le dire lors de notre dernière conversation à ce sujet, je ne me crois pas capable de porter un bon jugement sur des compositions littéraires. Ce n'est pas à un membre de l'académie des sciences qu'il faut apprécier des travaux littéraires mais à un membre de l'académie française ou à un professeur de rhétorique (...) Veuillez donc, Monsieur, m'excuser si je vous renvoie les compositions que vous m'avez adressées¹⁹⁰ ».

Les élèves surnuméraires de 1841

Cette question peut paraître moins importante que les deux précédentes – néanmoins nous l'avons considérée comme extra-ordinaire, car elle montre comment les modalités de recrutement à Polytechnique étaient encore peu stabilisées et pouvaient changer, une année donnée, par simple décision ministérielle.

De fait, le ministère de la Guerre souhaitait faire intégrer des élèves en surnuméraire par rapport aux résultats du jury d'admission, ce qui soulève une véritable indignation au Conseil d'instruction. Il désire que « la mesure annoncée n'ait pas lieu, ou du moins, qu'il n'en soit pas pris de semblable à l'avenir » et décide que « des remontrances seront adressées au ministre » à ce sujet ! Une commission se constitue pour rédiger une réponse, Coriolis en fait partie avec le général, le colonel, Dubois et Reynaud.

190. BENPC. Ms non côté. Lettres diverses adressés au directeur. Lettre de Coriolis à Tarbé, 27 avril 1840 ; cité par N. Montel, p.489. Montel nous précise « qu'un académicien plus docile accepte cette année-là de corriger des dissertations : Dupin »...

Coriolis note dans sa correspondance le tracas que cela lui provoque dans ses fonctions :

Nous avons eu aussi du tracas et nous en avons encore au sujet de l'appel que le ministre fait aux élèves qui n'ont qu'une année à l'École pour les faire passer à Metz ; on avait offert à 70 cet avantage ; mais les goûts militaires sont assez rares pour que nous n'ayons pu en trouver que 40 à 42. Ceux qui consentent à aller ainsi de suite à Metz sont assez mécontents de ne savoir comment ils y seront : on ne peut leur dire quand ils seront sous-lieutenants et lieutenants. Il est difficile de se faire une idée de la légèreté avec laquelle les bureaux ont fait prendre au ministre une mesure aussi grave sans savoir rien prévu de ses conséquences. [lettre du 14 novembre 1840]

[...] j'ai eu bien des tracas à l'École par suite des élèves admis en supplément. Il a fallu arranger des cours supplémentaires et les échelonner pour deux ou trois classes car ils ne sont pas arrivés tous ensemble et il y a trop de perte de temps à attendre les derniers pour faire travailler les premiers. [lettre du 1^{er} janvier 1842]

Chapitre 13. Nominations et successions de professeurs

Hors le fonctionnement courant (notes, examens, exclusions,...) et les sujets sortant de l'ordinaire, le Conseil d'instruction, et avec lui le directeur des études, a la responsabilité de proposer au ministre des noms pour les remplacements de professeurs ou d'examineurs à Polytechnique. C'est d'ailleurs ce qui prend la place la plus importante dans les délibérations du Conseil.

Parallèlement, les mêmes successions de professeurs à Polytechnique vont être évoquées à l'Académie des sciences, et Coriolis, membre de l'Académie depuis 1836, connaîtra les débats du « comité secret » pour ces successions.

Coriolis va beaucoup évoquer ces sujets dans sa correspondance avec sa cousine, et nous disposons là d'une source historiographique fort intéressante, donnant un éclairage particulier sur certaines de ces successions et sur les personnalités des protagonistes, en tout cas telles que vues par Coriolis.

À travers sa correspondance, on constate que ces sujets de successions lui apportent nombre de tracas. Il se trouve au centre des jeux d'influence de certains (tels que Comte, qui veut obtenir une place de professeur), ou contourné par certains membres influents du Conseil d'instruction (comme Liouville). De fait, Coriolis marquera souvent une certaine contradiction : las qu'on le sollicite trop – ce que semble faire Comte –, mais vexé qu'on ne le sollicite pas assez – Liouville joue « en coulisses » sans trop demander son avis au directeur de l'École.

Les « affaires Comte », les autres remplacements de professeurs ou d'académiciens – nous examinerons successivement ces deux sujets à travers la correspondance de Coriolis – vont finalement altérer les relations au sein du Conseil d'instruction entre Liouville et Coriolis, et lourdement peser sur le moral et la santé de ce dernier.

QUELQUES PROFESSEURS VUS PAR CORIOLIS

À ce poste, Coriolis est un observateur privilégié des différents professeurs, et donne son opinion dans sa correspondance privée. Notamment, dans sa lettre du 24 mars 1840 (la plus longue qu'il écrit à sa cousine, 8 pages), Coriolis brosse un portrait des principaux membres du personnel de l'École. Cette lettre est destinée à servir de « notice » à sa cousine afin qu'il n'ait pas à répéter les caractéristiques de chaque professeur à chaque fois qu'il en parle dans ses lettres. Nous avons déjà mentionné le portrait de Duhamel et de Savary par Coriolis, nous en donnons quelques autres ci-après.

À propos de Léonce Reynaud, ingénieur des ponts et chaussées, professeur d'architecture à l'École depuis 1837, le fameux constructeur de phares, Coriolis écrit :

Mr Reynaud professeur d'architecture est un ancien élève. Il fut renvoyé de l'École vers 1825 pour un petit acte d'indiscipline. Il se fit architecte. En 1830 on le réintégra dans les ponts et chaussées il a construit comme ingénieur le phare de l'île de Bréa près de St Malo. Mr Reynaud peut avoir 35 ans. Il a de l'analogie avec Mr Duhamel mais la (ill) est plus modeste. Cependant il se monte la tête facilement. Il est bon professeur, on le lui dit souvent et il a pris un peu l'allure d'enfant gâté de la maison. [lettre du 24 mars 1840]

À propos de Pelouze, répétiteur puis professeur de chimie depuis 1838, en remplacement de J.-B. Dumas :

Mr Pelouze est un excellent homme, doux, honnête, et assez posé quoique aussi jeune que Liouville. Il n'est pas élève de l'École il s'est fait lui-même et est arrivé par de bons travaux de chimie à être académicien (ill) et professeur de chimie ici. Mr Pelouze ne dira jamais rien de désagréable à personne. Il est néanmoins du côté gauche de notre conseil parce que Liouville a toute influence sur lui. [lettre du 24 mars 1840]

À propos de Charles Leroy (né en 1786), professeur de géométrie descriptive depuis 1816 :

Mr Leroy professeur de géométrie est un honnête homme, très dévot. Il est froid et se range facilement du parti de l'autorité. C'est un conservateur pour parler la langue parlementaire. Mr Leroy a environ 50 ans, il est maigre et poli, presque comme moi. C'est un professeur consciencieux, mais ce n'est pas un homme à idées, ni à invention. Il professe à l'école depuis 1816. [lettre du 24 mars 1840].

Belhoste a vu dans la nomination de Leroy en 1816 – un « quasi-inconnu » – le peu de cas que faisait Laplace de la matière chère à Monge, lorsqu'il s'était agi à la Restauration de remplacer Hachette limogé. Toujours selon Belhoste, Leroy reste à l'écart de ses collègues et donne peu d'éclat à son enseignement : « Il réussit ainsi l'exploit d'enseigner la géométrie descriptive à l'identique pendant près de 35 ans, sans jamais sortir de l'anonymat ». En effet, comme d'autres (Gay-Lussac notamment), il accapare sa chaire pendant plus de trente ans, de 1816 à 1849, date à laquelle il est poussé à la retraite. Il est intéressant de constater que la correspondance de Coriolis confirme ce portrait de Charles Leroy.



Une première succession que Coriolis doit gérer est la terminaison en douceur du cours de Gay-Lussac (qui ne l'exerçait plus) et son remplacement par son répétiteur Régnault :

Mr Gay-Lussac 2^o professeur de chimie ne vient jamais au conseil ainsi je n'en dirai rien, vous pouvez préjuger l'homme par sa position politique. Il ne s'inquiète guère des affaires de l'École mais

en cas de besoin il appuierait les chefs : c'est un homme qui a des idées justes en général. [lettre du 24 mars 1840]

Mais, plus tard dans l'année, Coriolis sera obligé de mettre de l'ordre dans l'enseignement de chimie et de provoquer l'arrêt des cours de Gay-Lussac. Dans la lettre du 12 novembre 1840 :

J'ai été obligé de pousser M. Gay-Lussac à s'expliquer ; il faisait faire depuis deux ans la moitié de son cours par son répétiteur et ne lui donnait rien. Ce pauvre garçon en était très fatigué, et cela ne pouvait se renouveler. Il vient d'envoyer sa démission au général. Il n'a rien répondu à mes deux lettres. Il est piqué contre moi. Tant pis, j'ai fait mon devoir. Vendredi prochain, nous lui nommons ici pour successeur M. Regnault son répétiteur. Ce jeune savant, qui a à peine 30 ans, est déjà de l'académie, il professera très bien.

De fait, le Conseil d'instruction du 13 novembre 1840 constate que

L'état de santé de M. Gay-Lussac le force à renoncer à ses fonctions de professeur de chimie. Il exprime le voeu d'être remplacé par Mr Regnault, académicien.

Le Conseil constate qu'il n'y a pas d'autres candidats, il forme sur-le-champ une commission composée de Coriolis, Lamé & Pelouze ; cette commission propose Regnault. Henri Regnault (1810-1878), polytechnicien (X1830), ingénieur du corps des mines, est un chimiste et physicien dont les travaux sur les gaz s'inscrivent dans la continuité de ceux de Gay-Lussac. Il venait d'être élu membre de l'Académie des sciences le 6 juillet 1840, quinze jours avant son trentième anniversaire. Coriolis en avait brossé un portrait flatteur dans sa galerie du 24 mars 1840 :

Nous avons un répétiteur de chimie jeune homme de 30 ans qui a bien de l'avenir c'est Mr Regnault il est habile physicien et habile chimiste, on peut en faire un bon professeur de chimie ou de physique. Déjà quand Mr Gay-Lussac est indisposé ce qui arrive assez souvent (à un pair de France), Mr Regnault le remplace très bien. Mr Pétigot répétiteur de chimie de Mr Pelouze est aussi un chimiste distingué mais moins avancé que Mr Regnault. [lettre du 24 mars 1840]

Dans sa lettre du 6 décembre 1840, Coriolis exprime son double soulagement de voir cette affaire réglée et de voir les manipulations de chimie mieux suivies :

Mr Gay-Lussac a fini par donner sa démission. Il est remplacé par Mr Regnault. Donc j'espère que les manipulations [de chimie] seront bien surveillées.

LES « AFFAIRES COMTE » À L'ÉCOLE POLYTECHNIQUE

Les renouvellements et candidatures non couronnées de succès d'Auguste Comte à divers postes à Polytechnique se feront de manière nettement moins sereine pour Coriolis. Belhoste a évoqué le terme d'« affaire Comte » pour la candidature de Comte à la succession de Duhamel comme professeur d'analyse. Étant donnée l'importance (exagérée ?) d'Auguste Comte dans l'historiographie des sciences, de la disponibilité des

sources, et surtout du fait que Coriolis était directeur des études lors de ces « affaires », il paraît utile de commencer par elles, et de les approfondir, comme d'approfondir les relations entre les deux hommes.

Retour sur les relations entre Comte et Coriolis

Auguste Comte et Coriolis, tous deux anciens polytechniciens – on peut difficilement imaginer personnalités plus dissemblables que ces deux-là –, étaient collègues membres du corps professoral de l'École depuis 1832, date à laquelle Navier avait accepté Comte comme répétiteur adjoint de son cours.

On ne reviendra pas ici sur le débat à propos des qualifications scientifiques de Comte, de son caractère ou de son style écrit très particuliers, sujets maintes fois évoqué par ailleurs : nous ne nous y intéresserons que lorsque Coriolis y prend part, ou est concerné par ce débat. De fait, les parcours de Coriolis et de Comte, bien qu'ils n'aient peu de compétences scientifiques communes, se croisent pendant longtemps, de 1832 à la mort de Coriolis.

On connaît l'extrême énergie que met Auguste Comte à obtenir un poste de professeur à l'École – ou ailleurs –, par souci d'assurer sa subsistance comme par souci de reconnaissance académique. Coriolis, enseignant à l'École depuis 1817, et directeur des études à partir de 1838, se trouvera à plusieurs occasions sur le chemin de Comte. Et celui-ci, dont la position se trouvera très fragilisée à l'École à partir de l'été 1842, sera un réel sujet de préoccupations pour Coriolis en sa dernière année de vie, comme le montre sa correspondance avec sa cousine.

En mars 1831, Comte avait déjà postulé à la succession de Cauchy à la chaire d'analyse et de mécanique (lettre du 21 février 1831 au président de l'Académie des sciences). Coriolis, répétiteur du cours de Cauchy de 1817 à 1830, et ayant assuré le cours par intérim en 1830-1831, pouvait déjà s'en offusquer. Coriolis lui-même n'est pas choisi, on l'a vu. C'est Navier, académicien, qui prend la chaire de Cauchy. Comte obtiendra l'année suivante un poste de répétiteur adjoint dans ce cours, grâce à Navier : c'est son premier poste d'enseignant à Polytechnique. Comte et Coriolis seront donc tous deux répétiteurs du cours de Navier de 1832 jusqu'en 1836, date de la mort de Navier. À cette date, Comte sera de nouveau candidat à la chaire.

La succession de Navier à Polytechnique, 1836

Dans une lettre du 31 août 1836 adressée à Dulong, directeur des études, Auguste Comte, à peine dix jours après le décès inattendu de Navier le 21 août, postule à la chaire d'enseignement d'analyse transcendante et de mécanique rationnelle à Polytechnique, tout en prenant soin de préciser qu'il ne postule pas à sa succession à l'Académie. Il souhaite rencontrer Dulong et mentionne dans sa correspondance :

Je me proposais de lui exposer franchement mon intention de me porter candidat à la chaire que la déplorable perte de mon malheureux ami M. Navier laisse actuellement vacante à l'École polytechnique. Je désirais surtout lui exposer les motifs qui pourraient l'empêcher d'attribuer une telle démarche à une prétention exagérée.

Là aussi, Comte se trouve sur la route de Coriolis qui pouvait plus légitimement prétendre à cette succession à Polytechnique (et qui d'ailleurs l'obtiendra à l'Académie). Comte précise aussi qu'il s'agit d'une candidature de témoignage, destinée à «l'acquisition de quelques voix, suffisantes pour établir clairement, aux yeux de tous, une candidature sérieuse dans toute condition ultérieure de même nature.» Comte cite nommément Coriolis dans sa lettre à Dulong (lettre du 31 août 1836, [Comte Corr4, p.162]) :

Je regarde d'ailleurs d'avance comme presque certain que M. Coriolis sera choisi, soit en vertu de son incontestable mérite, soit d'après les droits qu'a dû lui acquérir un aussi long exercice des fonctions de répétiteur.

La tournure montre l'estime toute relative dans laquelle Comte tient Coriolis, ou en tout cas est encore une marque de la désastreuse prétention du style comtien : il suppose que ce sont ses dix-neuf ans d'exercice de la fonction de répétiteur dans la même matière qui devraient permettre à Coriolis d'obtenir la chaire. Comte écrit aussi à Coriolis le 13 septembre 1836 comme suit, après être passé deux fois chez lui sans qu'il fût là :

(...) il m'a paru convenable, Monsieur, de vous déclarer à vous-même, comme je l'ai déjà fait à M. Dulong, en lui annonçant cette résolution, que je n'ai aucun espoir d'obtenir aujourd'hui une chaire à laquelle vous avez des droits incontestables.

Comte souhaitait «prévenir envers [Coriolis] la moindre apparence d'une rivalité présomptueuse». Mais le feuilleton continue, car dans une lettre du 18 septembre 1836 à l'académicien Poinso, où il confirme sa candidature à la chaire en remplacement de Navier, Comte réalise que Coriolis n'est en fait pas candidat :

Persuadé que M. Coriolis serait certainement nommé, j'avais d'abord regardé ma candidature actuelle [sic] comme un simple acte de présence, utile seulement à mon avenir. Maintenant, au contraire, M. Coriolis se retire décidément, et je n'ai d'autres concurrents que MM. Dubamel et Liouville, au succès duquel je ne saurais me résigner d'avance avec la même facilité.

Comte poursuit en dénigrant Liouville, «appuyé par M. Poisson et sa coterie», et en cherchant le soutien de Poinso dans ce contexte. De manière curieuse, c'est Comte et non Coriolis qui assure la chaire pendant deux mois, juste avant le choix par l'Académie d'un successeur à Navier, ce qui fait dire à Gouhier [1931], un des hagiographes de Comte :

Pendant deux mois, Comte a enseigné les mathématiques à des polytechniciens : il a donc connu le plus haut triomphe pédagogique qu'un professeur puisse espérer.

ou à son autre hagiographe Littré :

Il s'en acquitta avec succès. Les élèves goûtèrent son enseignement, et en gardèrent longtemps le souvenir. Même quand il dut céder la place au titulaire, une députation fut envoyée par les élèves auprès de M. Arago, pour lui témoigner le désir que M. Comte achevât le cours de cette année-là ; M. Duhamel ne voulut pas y consentir. Les élèves se rabattirent à demander que M. Comte continuât la matière actuellement entamée ; cela non plus ne fut pas accordé¹⁹¹. M. Duhamel voulut occuper la chaire tout de suite : c'était son droit ; on sait d'ailleurs qu'il est excellent professeur.

Duhamel, choisi par l'Académie, reprend donc la chaire d'analyse de Navier à la suite de l'intérim assuré par Comte.



En 1837, Comte est nommé examinateur du concours d'admission en remplacement de Reynaud¹⁹², peut-être comme compensation à la chaire Navier : poste que lui aurait proposé, selon Goubier [1931], le directeur des études Dulong, avec qui Comte entretenait de bonnes relations. Comte cumule alors deux fonctions, donc deux soldes, celles de répétiteur adjoint et celle d'examinateur d'admission.

En 1838, à la mort de Prony, Mathieu¹⁹³ prend sa succession comme examinateur permanent, ce qui libère la seconde chaire de mathématiques. D'après Belhoste, Comte renonce à se moment-là à se présenter à la succession de Mathieu : Liouville y est nommé en octobre 1838. Il est offert à Comte, qui n'était que répétiteur adjoint, la succession de Coriolis comme répétiteur – Coriolis venant de prendre la direction des études.

Voici donc, au moment où Coriolis prend la direction de Polytechnique, le décor planté pour les « affaires Comte » qui vont avoir un certain retentissement, et dont Coriolis sera un acteur bien malgré lui. Il ne sera pas inutile d'éclairer le lecteur par le tableau suivant :

	Avant 1830	1832	1836	1838	1840
<u>Examineurs permanents</u>	POISSON PRONY	POISSON PRONY	POISSON PRONY	POISSON MATHIEU	DUHAMEL MATHIEU
<u>Analyse 1</u>	CAUCHY	NAVIER	DUHAMEL	DUHAMEL	STURM
Répétiteur	Coriolis Paul Binet	Coriolis Liouville	Coriolis Liouville	Auguste Comte	Auguste Comte
Répétiteur		Comte	Comte		Wantzel

191. Joseph Bertrand racontera plus tard, dans un article « Auguste Comte et l'École polytechnique » (*Revue des deux mondes*, tome CXXXVIII, 1896, p.528-548), qu'il était en 1840, avec Ossian Bonnet, un des deux élèves polytechniciens chargés d'aller convaincre Poinsot de voter pour Comte (Poinsot votera pour Sturm). Bertrand – et c'est l'objet de son libelle – ne rappelle ce souvenir que pour indiquer que quelques années plus tard, il ne comprend que trop bien ceux qui ont préféré Sturm à Comte, choix « conforme à la justice et à l'intérêt de l'École ».

192. Adolphe Louis Reynaud (1805-1837, X1825).

193. Claude-Louis Mathieu (1783-1875, X1803), ingénieur des ponts et chaussées, beau-frère d'Arago (sans doute époux d'une sœur Arago), était répétiteur du cours de géodésie et de machines d'Arago depuis 1817, puis professeur titulaire de la deuxième chaire de mathématiques. Sa carrière à Polytechnique, de 1817 à 1863, jusqu'aux postes prestigieux de professeur de mathématiques et d'examinateur permanent de sortie, a été faite grâce à son beau-frère. Il est aussi député de sa Saône-et-Loire natale de 1834 à 1848.

Adjoint					Guibert
Analyse 2	MATHIEU	MATHIEU	MATHIEU	LIOUVILLE	LIOUVILLE
Répétiteur				Sturm Guibert	Transon
Répétiteur Adjoint					
Examineurs d'admission (non exhaustif)		Reynaud	Comte (à/c 1837)		

Ce tableau ne prétend pas à l'exhaustivité (notamment pour les examinateurs d'admission). On notera que, dans la hiérarchie polytechnicienne, l'examineur permanent (par opposition à l'examineur d'admission, théoriquement renouvelable tous les ans comme les répétiteurs) était en charge des examens de sortie des élèves : c'était le poste le plus prestigieux de l'École, au-dessus des professeurs dont il sanctionnait l'enseignement à travers les notes de sortie des élèves. À l'opposé, l'examineur d'admission, renouvelable chaque année, n'était que peu valorisé dans la hiérarchie de l'École, et ses fonctions ne l'amenaient pas à participer à la vie-même de l'École.

1840, première affaire Comte

Le mode d'examen de Comte comme répétiteur de mathématiques ne semble pas donner satisfaction, puisque Coriolis, directeur des études, doit lui écrire le 29 mai 1840 :

Nous sommes convenus avec Mr Duhamel que pour satisfaire à la demande du Conseil de perfectionnement nous vous prions de donner à chaque élève que vous interrogez une application du cours à faire par écrit pour arriver à une solution en nombre. L'élève fera son calcul pendant que vous interrogez, et si cela vous gêne de juger le calcul de suite, ce qui pourtant serait le mieux, vous pouvez l'emporter chez vous et l'examiner à loisir avant de donner votre note.

Déjà, en début d'année, Coriolis avait des états d'âme pour le renouvellement de Comte comme examinateur d'admission, car il ne le considère pas comme un bon examinateur :

Il y a des plaintes contre sa méthode ; je les conçois ; j'en adopte une grande partie ; mais ôter l'état à un homme, lui faire un affront, cela est bien grave. Or voilà d'ailleurs le parti Arago qui le soutient, et si j'échoue, voilà un homme qui restera avec moi et qui m'en voudra de manière à me rendre bien des moments pénibles. [lettre à Mme Benoist du 21-22 mars 1840]

Toutefois, en ce début 1840, l'orage ne s'est pas levé – le parti Arago soutient encore Comte, même si ce n'est pas un bon examinateur. Seul Coriolis se pose la question de l'intérêt de l'École. Il voit aussi son intérêt, à savoir que si Comte est réélu examinateur malgré l'opposition de Coriolis, la coexistence entre le directeur des études et l'examineur sera difficile...



Mais c'est en mars 1840, au moment de la mort de Poisson, que, pour reprendre l'expression de Belhoste, la crise éclate : Duhamel libère, peut-être un peu poussé, la

chaire d'analyse et de mécanique, prenant le poste plus prestigieux d'examineur permanent à la place de Poisson. Le Conseil d'instruction du 29 mai 1840 nomme une commission composée de Coriolis (directeur des études), Savary & Liouville pour examiner les candidatures au remplacement de Duhamel à la chaire d'analyse. Le 26 juin 1840, l'affaire n'est pas évoquée.

Coriolis avait pris soin d'informer Comte par écrit à trois reprises de ces retards – par courtoisie envers l'intéressé pour se protéger lui-même aussi peut-être¹⁹⁴. Dans sa lettre du 11 juillet à Comte, on peut lire :

J'ai l'honneur de vous prévenir, ainsi que vous m'en avez témoigné le désir, que vendredi prochain 17, le Conseil d'instruction commencera à s'occuper de la nomination du professeur en remplacement de Mr Dubamel. On lira textuellement votre demande et on discutera vos titres et ceux des concurrents.

Le 17 juillet 1840, le Conseil d'instruction prend en effet connaissance d'une lettre de Comte, qui est renvoyée à l'examen de la commission.... Ce n'est pas avant le 14 août que la succession est enfin tranchée par le Conseil d'instruction, trois mois après la nomination de la commission (dont fait partie Coriolis). Le jeudi 30 juillet, Comte s'était d'ailleurs ému de ces reports successifs de la décision, en écrivant dans son style à la limite de la paranoïa à son protecteur le littérateur Blainville, membre de l'Institut, faisant référence à la lettre du 29 juillet de Coriolis :

M. Coriolis vient de me mander à l'instant qu'il n'y pas eu conseil à l'École vendredi dernier, et qu'il n'y en aura pas même demain, vu l'absence de plusieurs membres. Quant à moi, je crois plutôt que c'est parce qu'on ne tient pas encore la majorité contre moi, et qu'on désire la travailler davantage.

Le 14 août 1840, la commission rend finalement son rapport au Conseil d'instruction en plaçant les candidats dans cet ordre :

- 1° M. STURM, répétiteur à l'École polytechnique, membre de l'Académie des sciences.
- 2° M. COMTE, examinateur d'admission et répétiteur à l'École polytechnique.

Le débat du 14 août 1840 au Conseil d'instruction est animé. Pour le rapporteur de la commission, qui enfonce Comte, il ne suffit pas qu'un professeur ait la facilité d'élocution et fasse des leçons agréables, mais il faut qu'il sache à fond la science qu'il enseigne, qu'il l'établisse sur des démonstrations rigoureuses et qu'il puisse répondre à toutes les difficultés que lui présentent les élèves, non seulement sur les matières du cours, mais sur toutes les parties des mathématiques. Pour le rapporteur, Sturm a donné les preuves de sa science comme mathématicien ; quant à Comte, sans doute at-il montré beaucoup de talent pour le professorat dans les leçons à l'école en 1836, mais là se bornent les titres en sa faveur – son ouvrage sur la philosophie positive ne contient que des généralités assez

194. Lettres du 30 mai, du 11 juillet et du 29 juillet 1840 de Coriolis à Comte [MAC].

vagues sur les mathématiques et laisse douter que son auteur a une connaissance assez approfondie des parties plus difficiles, et s'il est bien en état d'éclairer les élèves sur les « points obscurs de la science ». Pour le rapporteur, il faut donner aux élèves un professeur d'un esprit ferme et d'un jugement sain ; ces qualités doivent l'emporter sur le brillant de l'élocution et sur l'étendue plutôt que sur la profondeur des connaissances générales.

Pour un deuxième membre de la commission, l'École a besoin de soutenir sa réputation en s'entourant des savants les plus distingués et les plus connus par leurs travaux, et sous ce rapport M. Sturm l'emporte beaucoup sur M. Comte.

Enfin, le dernier membre de la commission intervient de manière plus modérée avec un argument fort intéressant – la commission n'étant composée que de trois membres, et Savary et Liouville étant opposés par principe à Comte, nous émettons l'hypothèse que ce troisième membre puisse être Coriolis :

Si les deux candidats en concurrence étaient mis à l'épreuve pendant un temps un peu long, on verrait que le premier effet des leçons de M. Comte tendrait à diminuer à mesure que les élèves devenant plus forts chercheraient plutôt le fond que la forme dans l'enseignement, tandis que les leçons de M. Sturm finiraient par être plus goûtées en raison de la netteté et de la simplicité même de leur exposition.

Un membre du Conseil d'instruction prend explicitement position en faveur de Comte, en retournant l'un des arguments du rapporteur contre lui : s'il y a nécessité d'avoir quelqu'un de connu dans le monde savant, alors notons que M. Comte est très apprécié en Allemagne comme auteur d'ouvrages philosophiques et politiques ; que par ailleurs M. Dulong, prédécesseur de Coriolis à la direction des études, avait déclaré n'avoir jamais entendu de leçons mieux faites et plus attrayantes que celles de M. Comte. Le Conseil conclut en répondant à ce membre, au sujet des œuvres philosophiques de M. Comte, « que quel que soit leur mérite, elles ne peuvent guère être prises en compte pour une chaire d'analyse et de mécanique ».

Après le délai de rigueur, le Conseil d'instruction du 14 août propose Sturm seul à la succession de Duhamel. De même, à l'Académie, Sturm est seul placé en ligne, et Comte malgré sa candidature n'est pas mentionné.



Il est intéressant de voir comment Sturm est perçu par Coriolis dans sa correspondance, d'abord en tant que répétiteur dans la galerie de portraits de mars 1840 :

Mr Sturm qui serait sur les rangs pour remplacer Mr Dubamel est un brave homme que j'aime assez et avec qui je suis lié, mais il est si distrait il a si peu de présence d'esprit qu'on tremble de lui demander rien d'important. Il est insouciant et pompeux ; il n'arrive pas à l'heure, ne sait jamais ce qu'il a à faire. [lettre du 24 mars 1840]

Puis, par la suite, une fois que Sturm est devenu professeur en remplacement de Duhamel :

Mr Sturm a commencé ses leçons ; je n'en ai pas encore manqué une : il faut lui donner bien des avis. Il les reçoit, mais cela coule sans laisser de traces. Il parle trop bas, il débite en écolier en se tournant vers le tableau ; il dépasse l'heure et excite le mécontentement des élèves. (...) Heureusement il a l'avantage de débiter lentement la leçon et avec assez de netteté sans se reprendre, de manière que les élèves peuvent prendre facilement des notes [lettre du 6 décembre 1840]

Un été 1842

Le décor va progressivement se planter, et la pression va monter jusqu'à la fameuse préface du tome VI du *Cours de philosophie positive*, publiée en août 1842.

Le 11 juin 1841, le vent siffle déjà à propos de Comte au Conseil d'instruction : plusieurs membres se plaignent de la manière d'examiner de Mr Comte, estimant qu'il pose « des choses trop difficiles ou étrangères aux théories enseignées dans les cours suivis ». Le Conseil arrête à l'unanimité que « Mr Comte sera invité, en son nom, à ne proposer aux candidats que des problèmes très simples, qui se rattachent immédiatement aux théories exigées ». Le directeur des études lui notifie cette décision de manière assez solennelle, indiquant que le Conseil d'instruction

a décidé qu'il vous serait donné connaissance de l'article suivant du procès-verbal arrêté à l'unanimité de cette même séance : « Le Conseil arrête à l'unanimité que Mr Comte sera invité en son nom à ne présenter que des problèmes très simples qui se rattachent immédiatement aux théories exigées (...) »

Ceci n'empêche pas Coriolis de reconnaître certains mérites de Comte, et ce malgré la susceptibilité de celui-ci (lettre du 11 mars 1842 à Comte) :

Je regrette que vous ayez cru voir dans le billet ont vous parlez une pensée qui n'y était pas. Mr Wantzel ayant été malade ces derniers temps, et quelques élèves n'ayant pas assez d'interrogations, je désirais que celles de ces deux jours aient lieu. Si je vous ai exprimé ce désir, c'est de crainte que sachant le cours fini, vous ne vinsiez à prendre des arrangements qui vous auraient fait disposer de vos soirées. Je sais très bien, et cela résulte des notes gardées ici, que vous avez été très exact et que vous avez bien voulu interroger le plus d'élèves possible.

Une nouvelle alerte a lieu au Conseil d'instruction du 6 mai 1842, au moment de la présentation des notes des examinateurs d'admission et de leur renouvellement. Un membre du Conseil d'instruction précise qu'il n'a rien contre Mr Comte, mais estime gênant qu'un répétiteur de l'École soit en même temps examinateur d'admission (rappelons que ces deux fonctions étaient cumulatives du point de vue du salaire, ce qui était important pour Comte). Ce professeur – malheureusement non identifié – explique

sa position en indiquant que la moitié des élèves qu'il a fait passer comme examinateur, auxquels il faut ajouter ceux qu'il a eus dans les institutions de préparation, nourrit un sentiment de gratitude envers l'examineur (Comte en l'occurrence), avec la conséquence suivante

ce sentiment lui donne une influence peut-être supérieure à celle du professeur. C'est là un inconvénient fort grave que le conseil évitera dans les nominations ultérieures.

Le professeur poursuit en déplorant que la baisse des traitements des examinateurs ne permet plus de leur imposer de n'occuper aucun emploi dans l'enseignement, et notamment dans les pensions de préparation à Polytechnique (telles que l'Institution Laville où Comte enseignait). Comte est néanmoins reconduit au scrutin secret comme examinateur d'admission.

Mais, chez Comte, la rancœur avait pris le dessus, suite à l'affaire de 1840 où Sturm lui avait été préféré. Dans la préface du tome VI de son *Cours de philosophie positive*, publiée en août 1842, deux ans après cet épisode, Comte s'en prend violemment au conseil de l'École. Il déplore de manière virulente la funeste influence qu'exerce selon lui Arago à l'École polytechnique. L'éditeur de Comte, Bachelier, avait ajouté un avertissement protégeant Arago, sans en informer Comte. Celui-ci porte plainte au Tribunal de commerce de Paris contre Arago, qui avait exercé contre lui, en représailles, «un acte inouï d'oppression littéraire, en se tenant à couvert de toute poursuite légale derrière mon libraire, malheureusement placé sous sa dépendance». Il s'agissait de «l'ignoble préambule par lequel mon servile éditeur [Bachelier] et son digne patron, M. Arago, ont souillé ma préface, d'après un acte de violence littéraire dont ils ne tarderont pas à subir tous deux la grave responsabilité¹⁹⁵ (...)». L'affaire avait été plaidée le 15 décembre 1842, et Comte s'était plaint en audience d'Arago, sans tenir compte des «coupables menaces» qui lui avaient été faites :

On se faisait fort, si j'osais parler, d'empêcher ma prochaine réélection annuelle.

L'affaire commerciale est jugée le 29 décembre 1842, à l'avantage de Comte¹⁹⁶.



Comte avait d'ailleurs envoyé à Coriolis son ouvrage – en attirant son attention sur certains passages ; Coriolis lui avait répondu par lettre du 19 août 1842, qui mérite d'être reproduite intégralement :

J'ai reçu le 6 tome de votre cours de Philosophie positive pour le déposer à la bibliothèque de l'école. J'annonce ce don au conseil de l'École ainsi que cela est d'usage. J'ai lu la préface et surtout

195. Cette dernière citation est issue de la lettre de Comte à J.S. Mill du mercredi 24 août 1842.

196. Ainsi que d'après sa lettre à J.S. Mill du 30 décembre 1842 : 1) suppression sur tous les exemplaires non vendus du carton ajouté, à effectuer sous huitaine, sous peine de 50 francs de dommages-intérêts par jour de retard ; 2) résiliation du contrat avec Bachelier pour les éditions ultérieures de l'ouvrage ; 3) condamnation de Bachelier à tous les dépens.

les passages dont vous me parlez. Vous pouvez être certain que cette lecture n'a pas diminué la considération que j'ai pour votre mérite comme philosophe. Vous y parlez de vos ennemis ; je verrais avec peine que vous me missiez du nombre. Vous pouvez m'accorder d'avoir mal compris la question, d'avoir porté un jugement faux entre deux personnes, quant à leurs qualités comme mathématiciens et professeurs : mais il y a trop de droiture dans votre esprit pour que vous supposiez qu'il n'en existe chez aucun autre individu ; je serais très peiné que vous me crussiez capable d'agir d'après de petites passions. Je suis bien aise de saisir cette occasion pour vous dire que me trouvant malade et n'étant pas à l'académie le jour où l'on s'est opposé à la lecture complète de votre lettre, je n'ai pu, comme je l'eusse certainement fait, réclamer la lecture entière. J'ai été bien contrarié de n'avoir pu au moins protester contre une décision qui m'a paru tout à fait injuste.

Cette lettre est intéressante à plusieurs points de vue. Elle montre d'abord l'extrême courtoisie de Coriolis à l'égard de Comte, et son style très châtié. Elle marque aussi son opinion sur Comte : un excellent philosophe, un mathématicien insuffisant. Par ailleurs, Coriolis se démarque assez distinctement de Liouville (on peut penser que les « petites passions » font référence à Liouville) et d'Arago à l'Académie. Enfin, nous pensons y voir que Coriolis n'apprécie pas l'idée de ne pas être aimé, c'est-à-dire de compter au rang des ennemis d'un tiers : cette idée lui est presque insupportable – nous retrouverons cela dans ses relations avec Liouville plus loin dans le texte.

En tout état de cause, la position de Coriolis à l'École est déjà fragile à ce moment-là – il a peu de pouvoir, et on sait qu'il souhaite prendre sa retraite. À Auguste Comte, qui s'enthousiasmait de la teneur positive de cette lettre de Coriolis, sa femme Caroline répond, faisant preuve d'une lucidité toute féminine (lettre du 13 septembre 1842) :

La bonne volonté de Monsieur Coriolis pour vous est un fait qui n'a plus qu'une importance toute privée, puisqu'il a l'intention de se retirer, et je vois toujours l'avenir un peu en noir.

Elle insistera quelques mois plus tard (lettre du 23 janvier 1843):

Malgré toute ma respectueuse déférence envers M. de Blainville, je ne puis partager sa confiance (à votre égard) en M. Coriolis (qui ne vous fera jamais de mal), mais ne se fera point votre champion, comme il [NB : Blainville] le croit et comme vous le croyez maintenant vous-même, ce qui m'étonne bien plus. J'aurais plus confiance en un certain quelque chose de chevaleresque qu'a Mr Arago et qui peut être développé chez lui par l'ascendant de M. de Blainville et à votre profit. Quant à M. Coriolis, il a écrit qu'il n'était pas votre ennemi, je le crois, mais voilà tout.

Caroline Comte se trompe sur Arago – pas sur son côté chevaleresque mais sur sa possibilité de pardonner à Comte – il aura la rancune tenace à son égard, mais elle est assez lucide sur Coriolis : il n'entre pas dans la personnalité de ce dernier d'enfourcher des chevaux de bataille – de « monter au créneau » – en faveur d'un de ses « favoris », à supposer que Comte le fût. Ce qui va assez bien avec le caractère inoffensif (« il ne vous fera jamais de mal ») que lui prête à juste titre Caroline Comte.

Le renouvellement d'Auguste Comte comme examinateur d'admission (1843)

Le débat va se cristalliser autour du renouvellement de Comte en avril 1843 au poste d'examineur d'admission (pour la campagne d'admission de la promotion 1843), poste auquel il avait été renouvelé depuis 1838. Ce débat trouve un large écho dans la correspondance de Coriolis, et va lui causer de nombreux soucis. Nous retranscrivons quasi-intégralement ici les passages de la correspondance de Coriolis consacrés à cette affaire, dans l'ordre chronologique en 1843, dernière année de la vie de Coriolis :

(lettre à Mme Benoist, commencée le 9 avril 1843, finie le 14 avril 1843)

Notre examinateur vient encore de publier un livre assez médiocre et toujours au style ridicule. Le procès qu'il a eu avec son libraire où Mr Arago a été en cause pourrait bien avoir une influence sur les opinions dans notre conseil. Je vois des membres qui parlent de ne pas le renommer. S'il y avait parmi nos mathématiciens unanimité sauf ma voix je me rangerais de leur côté. Mais je pense que cela n'arrivera pas.

Coriolis évoque ici le *Traité élémentaire de géométrie analytique* publié par Comte en 1843, censé être un ouvrage de science et non de philosophie. Notons que Coriolis n'hésite pas à qualifier le style de Comte de « ridicule » – ceci dit il s'agit d'une correspondance privée.

(lettre à Mme Benoist, commencée le 2 mai 1843, finie le 8 mai 1843)

*La visite de M. Comte, la première émotion passée m'a assez soulagé, car j'espère qu'il cèdera. C'est mardi prochain que je dois aller chez lui pour revoir ses problèmes d'examen et lui indiquer ceux que je désire qu'il supprime de ses questions. **Je vous tiendrai au courant de cette affaire capitale pour moi.** En conservant M. Comte, je n'aurais pas le tracassé du choix d'un remplaçant : ce tracassé serait très rude.*

Coriolis semble en être resté au problème de la difficulté des exercices d'examen proposés par Comte à l'admission, problème qu'avait soulevé le conseil deux ans auparavant : mais, pour le Conseil, ce n'était qu'un rideau de fumée dissimulant des reproches beaucoup plus graves à l'égard de Comte ; quant à Comte, on peut penser qu'il avait allègrement négligé l'avertissement à bon compte que lui avait donné le Conseil en 1841, à propos de ses exercices d'examen : certains d'entre eux continuaient sans doute à être trop difficiles, d'où la nécessité pour Coriolis d'en parler une fois encore avec lui.

Les discussions sérieuses allaient commencer en Conseil d'instruction du 28 avril 1843 :

Nous avons eu ce vendredi 28 avril un conseil d'instruction pour la réélection de M. Comte. Il a été fortement attaqué par Messieurs Liouville et Sturm nos deux professeurs de mathématiques : je l'ai un peu défendu. Il était venu me voir avant le conseil et m'avait demandé si comme on le lui avait dit je serais contre lui. Je lui ai répondu que je n'avais pas de parti pris, mais que s'il voulait me permettre de modifier un peu son mode d'examen je le soutiendrai ; cela s'est conclu ainsi. J'étais donc engagé et je le suis encore. [lettre du 2 mai finie le 8 mai]

Lors de ce Conseil d'instruction, le général commandant l'École demande négligemment « si la réélection de M. Comte en tant qu'examineur d'admission éprouve quelques difficultés ». Plusieurs membres mettent en avant sa préface de 1842, ainsi que son *Traité élémentaire de géométrie analytique*, qui « donne des connaissances mathématiques une idée assez désavantageuse pour concevoir des doutes sur [l'] aptitude [de Comte] à l'emploi d'examineur ». D'autres membres, sans sous-estimer le caractère négatif de la préface, mais ne connaissant pas le *Traité*, rappellent que c'est la manière d'examiner qui est à apprécier. De la correspondance de Coriolis, on déduit qu'il fait partie des membres soutenant Comte au sein du Conseil d'instruction. Si l'on suit sa correspondance – notons qu'elle nous donne un éclairage intéressant sur les prises de position de chacun, ces détails n'étant pas transcrits dans les procès-verbaux des conseils :

Le conseil n'a rien terminé, on a nommé une commission composée de MM. Sturm, Lamé, Chasles, Leroy et moi. M. Sturm s'est prononcé contre. M. Lamé et moi pour. MM. Leroy et Chasles décideront notre proposition. Je crois que Mr Comte sera conservé ; mais Mr Liouville nous attaquera fortement. Il veut que M. Comte soit remplacé, non en raison de son mode d'examen mais à cause des expressions presque injurieuses dont il s'est servi en parlant du conseil dans la préface de son dernier volume de la philosophie positive. Effectivement, il nous faut beaucoup de générosité pour nous laisser dire que nos actes sont des turpitudes. Comme on a déjà renommé M. Comte répétiteur à l'École depuis ce scandale, je pense qu'il n'y pas lieu d'y revenir. Mr Liouville dit la nomination d'un répétiteur est le fait du professeur, au moins le conseil lui laisse pouvoir. Ainsi Mr Sturm a pu être généreux pour lui, mais aujourd'hui c'est le conseil qui est en jeu et il ne doit pas souffrir des injures ; il faut que Mr Comte lui fasse des excuses.
[lettre commencée le 2 mai 1843, finie le 8 mai 1843]

Coriolis donne ensuite la position de Liouville : c'est Sturm, professeur de mécanique, qui avait en effet renommé Comte comme répétiteur dans sa chaire, et cette fois-ci c'est au conseil de décider pour son renouvellement en tant qu'examineur d'admission, et « le conseil ne doit pas souffrir des injures » (position de Liouville rapportée par Coriolis). Viennent ensuite, sur un ton neutre, les rapports scientifiques négatifs portant sur Comte :

En outre on objecte qu'il vient de publier un traité d'analyse appliqué aux sections coniques, cours à l'usage des candidats, où le style est si bizarre que l'examineur¹⁹⁷ devient la risée des élèves. Il y a même dans ce livre deux ou trois fautes contre la science. Voilà des motifs graves d'accusation aussi dans le cas où M. Comte ne serait pas réélu, il n'y aurait certes pas de reproches à faire au conseil.

Maintenant ma parole est engagée pour cette année ; j'ai cru convenable de le mettre en demeure quant à l'abus des problèmes. J'ai revu avec lui tous ceux qu'il a proposés l'année dernière. Je n'en ai trouvé que 3 de trop difficiles mais j'ai trouvé qu'il en mettait trop dans les questions.

Il m'a promis de commencer tous les examens par les questions de cours : s'il s'améliore ainsi il n'y aura je crois pas de mal à le conserver. Il est calme, ne dit rien de désobligeant comme M. Lefèvre

197. Comte lui-même.

et s'il n'est pas très formé sur les mathématiques, on peut en reprocher autant à M. Bourdin et d'autres : il y a très peu de professeurs qui ne se trompent pas quelquefois.
[lettre commencée le 2 mai 1843, finie le 8 mai 1843]

On voit ici une certaine contradiction chez Coriolis dans la même lettre : comment Comte peut-il écrire « des turpitudes » tout en étant « calme » et ne disant « rien de désobligeant » ? Dans le cours de la lettre, Coriolis revient sur ce qu'il qualifie lui-même d'« affaire Comte » :

Je suis bien [mal ?] heureux de l'affaire Comte. Mr Sturm sort de chez moi. Il m'a tant montré de bêtises dans le nouvel ouvrage de cet examinateur que je regrette presque de m'être engagé.

Je crois obligé de donner ma voix à M. Comte, et peut-être maintenant contre ma conscience.

Coriolis est en proie de manière visible à ses hésitations et à ses contradictions : dans la même lettre, écrite il est vrai sur plusieurs jours, on peut lire « maintenant ma parole est engagée pour cette année », puis « je regrette presque de m'être engagé ». L'appel à sa conscience entraîne un aveu pathétique à sa cousine, celui du manque de confiance, qui apparaît à chaque fois qu'il y a un problème :

Tout cela me montre bien que je ne vauX plus rien pour une direction [lettre déchirée] J'ai trop de laissé-aller.

L'« affaire Comte » continue en direct dans la même lettre :

Notre commission a eu lieu hier. (...) Nous sommes convenus à la majorité de renommer M. Comte, mais à condition que le conseil examinera de nouveau la question de la réélection au mois de novembre prochain. Ceux qui veulent le renvoyer consentent à lui laisser ainsi toucher un traitement jusqu'en mai 1844, et les autres verront alors¹⁹⁸ d'après les examens de cette année s'ils peuvent le conserver. Je ne sais si notre conseil adoptera ce terme moyen de la commission. Nous serons peut-être attaqués par les deux parties comme cela arrive aux propositions mixtes.

On trouve dans le dossier de la correspondance Benoist à l'Académie des sciences un mémoire manuscrit de Coriolis, non daté¹⁹⁹, et qui se présente comme un rapport sur Auguste Comte à la commission :

1°) L'ouvrage ayant pour titre « Traité élémentaire de géométrie analytique » n'est pas conçu dans le système le plus convenable à l'enseignement ; que d'ailleurs on y remarque quelques erreurs qui

198. Cette portion de phrase peut prêter à mauvaise interprétation, sachant que Coriolis sera déjà mort en 1844. Quand il indique « les autres verront », il ne s'exclut pas lui-même, il parle simplement des membres du conseil qui ne sont pas membres de la commission.

199. Le document est non daté, étonnamment il se trouve dans la correspondance Benoist (alors que c'est un document de travail de Coriolis qu'il n'avait pas de raison d'envoyer à sa cousine) ; le document est à en-tête de l'École royale polytechnique ; une mention manuscrite indique « De la main de Coriolis », ce qui est indubitable ; la lecture d'un passage du document, et son contexte, laisse penser qu'il date de mai 1843. Par ailleurs, il correspond exactement au procès-verbal du Conseil d'instruction du 12 mai 1843, ce qui corrobore le fait que le document est de Coriolis (il l'aura lu en séance et donné au secrétaire du Conseil d'instruction pour inscription au procès-verbal).

n'annoncent pas chez l'auteur une connaissance assez approfondie de la science [...] cette publication doit être mise au nombre des considérations qui lui sont désavantageuses.

2°) que dans le grand volume de son «Traité de philosophie positive», dans la préface, M. Comte, parlant du conseil de l'école, s'est exprimé en termes si inconvenants qu'on ne pourrait reprocher à ce conseil une trop grande sévérité s'il usait de son droit de ne pas le renouveler.

On peut donc penser que c'est Coriolis lui-même qui a rédigé cette synthèse pour le Conseil d'instruction du 12 mai. La proposition de la commission *ad hoc* auprès de ce Conseil est favorable à Comte, mais la motion est fort alambiquée – on sent chaque mot pesé :

La majorité des membres de la commission a pensé que les griefs qu'on vient d'exposer ne suffisent pas seuls pour déterminer le remplacement immédiat de Mr Comte, mais elle propose au conseil de décider que la question sera soumise à un nouvel examen à la rentrée prochaine. Cette proposition est faite par quelques membres, dans le but d'avoir le moyen de se déterminer d'après une nouvelle épreuve sur ce mode d'examen, et par d'autres membres, pour éviter de perturbations trop brusques dans les études des candidats et dans l'existence de M Comte.

Ainsi – on connaît à peu près la répartition des opinions grâce aux lettres de Coriolis – la « majorité » des cinq membres de la commission comprend donc trois ou quatre membres, excluant Sturm opposé au renouvellement. Ceux qui expriment l'idée d'un renouvellement d'un an (Coriolis, Lamé et Chasles/Leroy ?, ou Chasles et Leroy) le font pour des raisons fort hétéroclites. D'après la correspondance de Coriolis, celui-ci fait partie des membres (peut-être le seul ?) à vouloir se déterminer sur la base de l'éventuelle nouvelle manière d'examiner de Comte. C'est une certaine naïveté dont Coriolis fait montre : on est bien loin de juin 1841 où le Conseil d'instruction se plaignait de la manière d'examiner de Comte ; peut-être même à l'époque déjà, n'était-ce qu'un prétexte pour proposer son remplacement ? Entre-temps s'est produite l'affaire de la préface d'août 1842, le procès contre Bachelier, etc. Coriolis semble en être resté aux griefs relativement mineurs des problèmes d'admission trop difficiles, sans voir la tournure politique et de pouvoir prise par « l'affaire Comte ». Quant à Lamé, on pourrait penser que des solidarités saint-simoniennes ou positivistes le font pencher dans le camp de ceux qui souhaitent « éviter des perturbations trop brusques dans l'existence de Mr Comte ». On notera toutefois que, malgré cette alliance de circonstance entre trois ou quatre membres de la commission, la tonalité est globalement négative, puisque c'est bien le « remplacement immédiat » que veut éviter la commission : implicitement, elle n'exclut pas un remplacement l'année suivante.

Sur le rapport de la commission, le Conseil du 12 mai exprime le vœu que la commission lui présente une liste de candidats pour ce poste en même temps qu'elle présente Comte. La relation du feuilleton se poursuit sous la plume de Coriolis à sa cousine (lettre postée le 21 mai) :

La commission ayant proposé au conseil de maintenir M. Comte cette année mais de soumettre son maintien en question à la rentrée, le conseil n'a pas admis que la question fut traitée de nouveau à cette époque. M. Comte sera remplacé à présent ou conservé au moins pour un an. Mais en outre, les membres opposés ou non décidés veulent qu'on leur présente dans candidats pour choisir. Ainsi la commission devra vendredi prochain 19 mettre des noms à la suite de celui de M. Comte ; ce ne sera ensuite que huit jours après qu'on ira aux voix. Ce pauvre homme est tenu longtemps sur des épines. Mais il a voulu s'attirer tout ce tracass, car en vérité à force d'entendre citer au conseil ces phrases de lui de plus en plus ridicules, je ne puis trouver bien sévères ceux qui ne veulent pas le renommer : le résultat du vote est (ill.) douteux.

La séance du samedi a été pénible ; (...) le général ne préside pas ; tout le monde crie à la fois, à peine ai-je pu me faire entendre. Liouville a comme à son ordinaire été très tranchant, très écrasant. Il ne me montre pas les égards que j'aurais droit d'attendre.

Nous avons eu hier commission. Nous présenterons pour 2^o candidat après M. Comte (pour ceux qui n'en veulent pas) M. Catalan répétiteur ici. Il y aura conseil demain vendredi.

Le Conseil d'instruction du 19 mai 1843 donne la proposition complète de la commission : « [elle] maintient sa proposition de faire réélire M Comte et complète sa présentation en adjoignant à ce candidat les personnes : 1^e ligne M. Catalan, 2^e ligne MM. Transon, Wantzel, Delaunay. Elle a voulu porter M. Leverrier sur cette liste mais celui-ci n'a pas souhaité concourir cette année ». Le débat au cours de ce Conseil est une fois de plus très nourri. Les partisans de Comte (ou les membres de l'alliance de circonstance que nous avons décrite) soulignent qu'il est depuis six ans en possession de l'emploi et que

sa manière d'examiner n'a pas les conséquences fâcheuses que semblent craindre certaines personnes, les élèves interrogés par lui se maintiennent tout aussi bien que les autres dans les rangs d'admission

Les partisans de Catalan (donc les adversaires résolus de Comte) soulignent qu'il « s'est engagé à arrêter tout enseignement ailleurs dans les institutions ». On constate au passage que Catalan n'a guère de solidarité envers Comte, et satisfait immédiatement au vœu du Conseil (ou des professeurs comme Liouville ou Sturm) de rendre la fonction d'examineur incompatible avec celle d'enseignant dans les institutions de préparation. Enfin, un membre du Conseil, opposé à Comte, expose divers arguments : « les inconvénients graves du maintien d'une même personne dans un emploi déclaré temporaire » ; l'incompatibilité entre la fonction d'examineur et celle de professeur dans les pensions ; le « danger de la publication d'ouvrages qui sont en quelque sorte imposés aux candidats » ; fort de ces arguments, il préconise que l'élection reprenne son véritable caractère annuel.

Toujours est-il que, de manière surprenante, et sans doute à bulletins secrets, le Conseil vote à l'unanimité le maintien de Comte pendant une année. Coriolis relate ainsi la séance du vendredi 19 mai 1843, qui sera sa dernière séance :

Hier vendredi le conseil a voté à l'unanimité le maintien de M. Comte pour cette année, mais il n'y a eu cette unanimité qu'en égard à ce que les partisans de cet examinateur ont fait la concession à ses antagonistes que désormais on renouvelerait chaque année l'administrateur temporaire ainsi – M. Comte ne sera pas réélu en 1844. C'est un moyen terme qui ne le satisfait guère. [lettre du 21 mai 1843]

J'ai vu Mr Comte dimanche, il a assez bien pris l'avis que je lui ai donné de se préparer à tout événement pour l'année prochaine. Il a été moins blessé en voyant qu'il avait eu toutes les voix cette année et que si on le remplaçait l'année prochaine ce serait pour beaucoup de monde dans l'idée d'en revenir à l'idée de renouveler tous les examinateurs comme on fait pour l'École de St-Cyr.



Dans la littérature comtienne, on trouve parfois quelques imprécisions relatives au fait de savoir si Comte était surpris ou non de ne pas être reconduit en 1844 comme examinateur d'admission. Ainsi, dans l'excellent article de Boudot (*Revue philosophique*, 1985), on peut lire à propos du Conseil de 1843 :

La suite, il n'y a pas besoin d'avoir fréquenté les instances universitaires ou académiques pour la deviner. On réélit Comte une fois, mais parce qu'on lui réserve le coup de pied de l'âne. L'année suivante, on lui apprendra que la réélection n'était pas définitive comme il le souhaitait, en ne le réalisant pas.

Nous suivons l'humour de l'auteur dans sa première phrase, mais nous devons infirmer ce qui suit. La lettre de Coriolis à Comte l'informant de la décision du Conseil du 19 mai 1843 reste certes ambiguë – beaucoup moins précise que la lettre du 28 juin 1841 :

Le Conseil d'instruction vous a maintenu dans les fonctions d'examineur pour cette année, c'est-à-dire qu'il vous proposera à la nomination du ministre comme les années précédentes.

Mais Coriolis avait pris soin (comme en 1840) d'informer Comte à deux reprises de l'ajournement de la décision – par lettres des 30 avril et 14 mai 1843 : pour un renouvellement « automatique », selon Comte, cet ajournement était significatif. D'autre part, on apprend par la lettre du 21 mai à sa cousine que Coriolis a rencontré Comte après le Conseil d'instruction du 19 mai 1843. Était-ce son rôle en tant que directeur de l'École ? Était-ce une certaine estime pour Comte qui l'y poussait ? Était-ce sa morale personnelle ? Quelle qu'en soit la raison, prenons acte que Coriolis avait prévenu Comte en 1843, et donc que celui-ci ne pouvait être véritablement surpris en 1844 – qu'il ait à ce moment-là joué et mis en scène la surprise de son éviction est un autre sujet.

Les suites de l'affaire de 1843 : Coriolis invoqué post-mortem

Coriolis est aussi cité dans la correspondance de Comte sur l'affaire de 1843 – Comte, craignant de ne pas être renouvelé en 1844, va écrire directement au maréchal

Soult, ministre de la Guerre²⁰⁰. Il se recommande au ministre en faisant appel aux deux précédents directeurs des études, décédés :

N'ayant pas l'honneur, monsieur le ministre, d'être personnellement connu de vous, je dois vous prier de vouloir bien, avant tout, prendre à mon égard, des renseignements décisifs.

[citant les généraux sous lesquels il a travaillé, Tholosé, Vaillant, Boilleau, ainsi que le commandants en second, les colonels Espéronnier et Guillemain] *J'ose compter sur une favorable appréciation personnelle de la part de tous ces fonctionnaires, qui pourront aussi suppléer envers moi, à d'autres égards, au témoignage, désormais impossible, des deux directeurs des études correspondants (feus MM. Dulong et Coriolis), dont ils pourront rapporter les jugements à mon sujet.*

Comte se plaint de la position du conseil du 19 mai 1843, craignant son éviction – jusqu'à présent le renouvellement annuel des examinateurs, obligatoire depuis le décret de 1832, était pure formalité :

Mais, en me présentant, pour la septième fois, le 19 mai dernier, le conseil d'instruction de l'École polytechnique a décidé que le directeur des études (feu M. Coriolis) me notifierait, à titre d'avis, l'intention manifestée, à cette occasion, par quelques membres, d'imprimer désormais un autre caractère au droit annuel de présentation, quoique ce projet n'ait d'ailleurs donné lieu à aucun vote formel. M. Coriolis m'a donc averti, au nom du conseil, qu'une notable partie de ce corps semblait maintenant disposée à changer chaque année la personne appelée à ces fonctions, sans grief quelconque, et dans l'unique vue d'essayer systématiquement une innovation proposée comme utile au service.

Comte demande au ministre de revenir à la règle d'inamovibilité existant avant 1832 ; il va même jusqu'à rédiger les modifications au décret « sous forme réglementaire, dans le seul but d'abrèger » ! Il donne ensuite les vraies raisons de sa lettre, à savoir « la funeste influence qu'exerce, depuis longtemps, à l'École polytechnique, M. Arago ».

Il est intéressant de voir comment Comte, dans sa lettre au ministre, décrit la séance du 19 mai 1843 du Conseil d'instruction :

Au temps ordinaire de la réélection, M. Liouville, principal appui de l'animosité de M. Arago contre moi dans le conseil polytechnique, usa, en effet, de toute son influence pour déterminer cette corporation à m'ôter, à l'âge de quarante-cinq ans, après six années d'un honorable exercice, des fonctions que ma pauvreté personnelle me rend immédiatement indispensables. Cette réélection, qui, pendant toutes les années antérieures, n'avait donné lieu qu'à une sorte de formalité, accomplie en quelques minutes, a suscité ainsi, en 1843, sans qu'on pût rien reprocher à mon service, trois semaines de débats animés, qui ont exigé trois longues et orageuses séances de cette assemblée. Forcé enfin de céder à l'impartiale majorité du conseil, M. Liouville s'est alors avisé, dans la séance définitive du 19 mai dernier, de proposer, avant le vote qui me concernait, ce projet de rénovation annuelle des examinateurs, que j'ai ci-dessus discuté, et qui n'avait été nullement indiqué tant que

200. Lettres du jeudi 25 janvier, du jeudi 30 mai et du jeudi 19 décembre 1844 au maréchal-duc de Dalmatie, ministre de la Guerre, in *Lettres d'Auguste Comte à John Stuart Mill, 1841-1846*, Ernest Leroux éditeur, Paris 1877 ; annexes p. 439-459.

mes ennemis avaient conservé quelque espoir de m'écarter directement. Tout porte à croire, j'ose le dire, que si M. Liouville parvenait ainsi à m'éliminer en 1844, et à me substituer l'une de ses créatures, il trouverait alors d'excellentes raisons pour revenir à l'état actuel, et même pour demander, en faveur du nouveau fonctionnaire, une permanence que je sais qu'il préfère en principe.

Entre temps, Comte ne semblait sincèrement pas avoir pris au sérieux l'avertissement de 1843 que lui avait transmis Coriolis, et par ailleurs il s'estimait couvert par sa lettre au ministre de janvier 1844. De fait, il écrivait encore le 1^{er} mai 1844 à Mill, confiant dans l'appui du nouveau directeur des études Duhamel :

Je ne crois donc pas avoir réellement à craindre, pour ma petite situation présente, de la réélection annuelle à laquelle je vais être, comme de coutume, assujetti ce mois-ci et dont je suis bien décidé à ne pas même m'informer.

Je ne crois pas même que, malgré les prétendues réserves de l'an dernier, il y ait aujourd'hui contre moi aucune tentative sérieuse, mes principaux ennemis polytechniques ayant éprouvé depuis lors plusieurs graves échecs.

(...) il est fort possible, ou même probable, que la suite des mutations polytechniques ne fasse pas vaquer la chaire qui m'est due, auquel cas je n'aurai gagné aux changements actuels que le surcroît de consolidation résulté de l'ascension de mes amis aux dépens de mes ennemis.

On peut dire que Comte, malgré l'avertissement de Coriolis, « n'a pas vu le coup venir ». Il commence à voir clair sur ce qui s'est passé en 1843 (lettre à J. S. Mill du 22 juillet 1844) :

(...) le nouveau directeur des études est venu amicalement m'informer que la crise de l'an dernier se renouvelait avec plus de chances hostiles. La désastreuse unanimité que j'avais obtenue alors n'était résultée que d'une perfide concession de mes ennemis, qui s'étaient habilement ménagé un moyen de reprendre plus dangereusement l'attaque lors de l'élection suivante (...)

Sa lettre suivante au maréchal Soult, en date du 30 mai 1844, est écrite alors que le conseil de Polytechnique l'a déjà évincé de sa liste de sélection. Comte « se lâche » alors à propos de ses ennemis :

(...) l'odieuse persécution que M. Liouville m'a suscitée, au sein du conseil d'instruction de l'École polytechnique, pour satisfaire l'infatigable inimitié que M. Arago m'a vouée.

Par là se trouve réalisée la haineuse déclaration de M. Arago, qui, dès l'origine de ce conflit, avait annoncé l'intention de me poursuivre sans relâche jusqu'à ce que ma position fût détruite.

Et je m'engage à prouver que cet acte n'a fait que réaliser, sous l'impulsion de M. Liouville, les coupables menaces de M. Arago

(...) elle livrerait ainsi de nouveau ce grand établissement à la désastreuse omnipotence secrète de M. Arago.

Dans sa lettre du 30 mai, Comte accuse «la majorité du conseil d’instruction de l’École polytechnique d’avoir moralement prévarié», et demande au ministre «une enquête officielle» sur sa réélection de 1843 et sa non-réélection de 1844. Le ministre n’ordonne pas d’enquête mais reçoit Comte en audience le 1^{er} juin 1844 [source Mill p. 244], et refuse, par lettre du 15 juillet 1844, de pourvoir au remplacement de Comte. Pourtant, le Conseil de perfectionnement du 27 décembre 1844 va prendre la même position que le Conseil d’instruction de mai. Comte indique au ministre ses soutiens au conseil de perfectionnement :

Les efforts consciencieux des deux commandants de l’École, et du directeur des études, ont été néanmoins activement secondés par le digne général Vaillant, et par plusieurs autres membres fort honorables : ils ont été spécialement appuyés de l’imposant suffrage du plus éminent des géomètres actuels (M. Poinso), qui seul, dans cette assemblée, possède une véritable expérience personnelle des examens d’admission.

et de nouveau il fustige Arago, le « sultan de l’Observatoire²⁰¹ » :

Quoique ce célèbre personnage, et son principal agent M. Liouville, soient maintenant étrangers au conseil de perfectionnement, cette coterie y conserve indirectement une puissante influence et s’y trouve d’ailleurs représentée directement par M. Mathieu, qui fut, il y a deux ans, l’un des organes réels de ces menaces.

Comte présente, dans cette dernière lettre au ministre, la décision du conseil de perfectionnement de décembre comme un acte de désobéissance au pouvoir central, et suggère au ministre «de reprendre désormais, d’une manière directe et exclusive, la libre nomination annuelle de tous les fonctionnaires temporaires de l’École polytechnique, et surtout des examinateurs d’admission».

Nous ne suivrons pas plus avant les développements de cette affaire ; nous nous contenterons de remarquer qu’en février 1848 (sous la II^o République), Comte se rétractera publiquement, sous l’impulsion de Littré, de ses attaques contre Arago, alors membre du Gouvernement provisoire, au faîte de son pouvoir. Mais Comte n’avait pas bu le calice jusqu’à la lie : sans avoir jamais retrouvé son poste d’examineur perdu en 1844, il perdra aussi son poste de répétiteur en 1852, à l’âge de cinquante-quatre ans.

Comte et Coriolis, quelles relations ?

Pour terminer, on peut se demander de quelle nature étaient les relations entre Comte et Coriolis. Dans une lettre de Pierre Laffitte à G. Le Chesnais (arrière petit-fils de Thérèse de Coriolis, tante de Coriolis) en date du 28 juillet 1894, Laffitte classe Coriolis parmi les « amis, protecteurs, correspondants d’Auguste Comte » et indique :

201. Selon l’expression de Dumont d’Urville, nous indique Comte à plusieurs reprises. D’autres sources citent l’astronome polytechnicien Pontécoulant comme étant à l’origine de cette expression.

Je place Coriolis parmi ceux-ci. Mr Auguste Comte avait une estime spéciale de Coriolis, dont il m'a toujours parlé dans des termes de haute appréciation.

Il n'est pas certain que Coriolis ait grande estime en retour pour Comte, puisqu'on peut lire dans une de ses lettres (22 mars 1840 à sa cousine) : « Mr Comte esprit faux qui colore par de grands mots des pensées vides ou fausses », ou, pire, dans une autre de ses lettres (3 juin 1840), à propos de la manière d'examiner de Comte :

Il est si roide, si plein de vanité qu'il a fallu me tenir à quatre [?] pour ne pas m'emporter.

À sa manière, indépendante du clan Arago, et sans doute indépendante des excès de Comte, Coriolis n'appréciait guère Auguste Comte – c'était pour lui un littéraire plutôt qu'un scientifique, et par ailleurs un examinateur d'admission moyen.

AUTRES AFFAIRES DE SUCCESSION À POLYTECHNIQUE

Même si elles ne prirent pas l'ampleur de l'affaire Comte, de nombreux autres remplacements de professeurs provoquèrent des tensions auxquelles Coriolis fut semblait-il sensible. Dans un certain nombre d'entre elles, le « clan » Liouville-Arago fut à nouveau à la manœuvre.

La succession de Poisson comme examinateur de sortie à Polytechnique (1840)

Poisson (1781-1840, X1798) était examinateur de sortie depuis plus de vingt ans. Son décès ouvre sa succession en 1840 – il s'agissait d'un poste très prestigieux (plus que celui de professeur), occasionnant un travail limité – une espèce de consécration pour un ancien professeur. La succession de Poisson va elle aussi créer nombre de tracas à Coriolis (lettre des 21 & 22 mars 1840 à sa cousine):

M. Poisson est très mal il étouffe (...) il n'est guère dans les probabilités qu'il aille encore longtemps ; nouvelle perplexité pour moi. Mon désir est de faire arriver Mr Binet à sa place, déjà M. Poisson voulait le demander pour suppléant cette année.

On apprend donc que Poisson, sans doute malade, voulait déjà faire appel à Jacques Binet (1786-1856, X1804) comme examinateur suppléant – en tout cas dans l'esprit de Coriolis. Comme le souligne ce dernier, si Poisson avait confirmé cette demande de son vivant, elle « aurait eu du poids auprès de quelques membres [du] conseil ». Mais Poisson ne fait pas cette demande, et Jean-Marie Duhamel (1797-1872, X1814), professeur d'analyse et de mécanique depuis 1836 (il avait pris la succession de Navier), est candidat : s'agit-il d'une candidature spontanée ou d'une candidature provoquée par le clan Arago afin que sa chaire convoitée de professeur se libère – les jeunes poussant pour avoir les chaires ?

M. Duhamel professe ici depuis quatre ans c'est un excellent professeur, je ne vois personne pour bien le remplacer. Je serais obligé de prendre Mr Sturm, sans élégance, ennuyeux dans ses leçons, ou si je ne le veux pas Mr Comte esprit faux qui colore par de grands mots des pensées vides (...) Ainsi pour l'École je trouve bien préférable de ne pas faire de Mr Duhamel un examinateur de sortie et d'appeler M. Binet, homme habile, calme, et qui a toutes les qualités d'un examinateur. Mais Mr Binet est mal avec Mr Arago, et (...) dans notre Conseil nous avons le parti Arago très uni et très incisif. Ce sont les jeunes professeurs, le côté gauche de notre assemblée (...)

On voit ainsi un Coriolis imprégné de l'intérêt de l'École, au-delà des intérêts particuliers de chacun : pour lui, Duhamel doit, pour le bien de l'École, rester professeur et non être « promu » examinateur de sortie. Dans la suite de la lettre, Coriolis nous précise la composition du « parti Arago » :

J'aurai donc guerre à soutenir contre Mr Liouville (analyse et mécanique pour une division), Mr Pelouze (chimie), Mr Reynaud (architecture), Mr Lamé (physique), Mr Dubois (de la Loire Inférieure, grand personnage, très entier), Mr Savary, avec qui je suis bien, mais qui est le bras droit de Mr Arago, et il ne (...rra) pas du parti pour lequel Mr Binet était jadis un jésuite, on va donc peut-être me traiter aussi de jésuite, à moins que la mode de l'épithète ne soit passée. Le [ill] dans ce cas, c'est qu'il faut que je dise tout en face des gens ; autrement j'encourrais (...) plus à redouter, c'est celle d'homme faux.

On retrouve ici le reproche originel fait à Binet, démis de ses fonctions de directeur des études en 1830, pour cause d'appartenance au parti légitimiste. Ce n'est pas sans humour que Coriolis regarde cela, quand il dit « à moins que la mode de l'épithète ne soit passée ». Mais derrière cet humour, on ressent Coriolis choqué, toujours pour le bien de l'École, que Binet ne soit pas nommé examinateur de sortie à la place de Poisson. C'eût été pour Binet, en effet, un retour par la grande porte à Polytechnique après qu'il y eût passé vingt-cinq ans de 1805 à 1830, et une forme de « pardon » accordé dix ans après son éviction.

Coriolis va même jusqu'à rencontrer Arago sur le sujet (lettre du 3 juin 1840), afin de plaider son point de vue, preuve que son propre pouvoir était mince par rapport à celui d'Arago – et d'ailleurs Coriolis ne tenait sans doute pas à en avoir :

J'ai vu Mr Arago. Il poussera Mr Duhamel à l'Académie pour notre place d'examinateur et même il me [menace ?] d'agir de son mieux sur le général et le colonel²⁰². J'ai lieu de croire qu'il aura succès auprès de ces derniers ; alors si [?] sur lequel il aura aussi de l'influence comme l'ayant fait nommer cède à ses instances me voilà battu. Il est douteux que je veuille faire la guerre à Mr Duhamel avec aussi peu de chance[s]. Je crois que le Général qui m'a promis sa voix sera enchanté que j'abandonne Mr Binet.

202. Dans cette phrase, Coriolis effectue un raccourci digne d'intérêt. On sait que l'Académie propose une liste de candidats classés pour une place à l'École polytechnique. Arago fera valoir sa volonté non seulement à l'Académie, mais fera valoir cette même volonté auprès du général et du colonel, qui avec le directeur des études qu'est Coriolis constituent le « directoire » théoriquement décisionnaire.

De fait, la rancune du parti Arago contre Binet était tenace : en dehors de l'inimitié politique, Arago ne tenait sans doute pas à voir revenir à l'École un homme d'influence et de caractère, du même âge que lui, qui aurait sans doute été un obstacle à sa propre influence ; et peut-être, aussi, les jeunes loups du parti Arago souhaitaient une solution interne libérant un poste de professeur et ne voulaient pas d'une solution où une personnalité extérieure, même réputée, vînt prendre le poste d'examineur. De fait, Binet ne retrouvera jamais l'École polytechnique : son éviction de 1830 aura été définitive.

Curieusement, les procès-verbaux des Conseils d'instruction de Polytechnique ne portent aucune trace d'une quelconque rivalité entre Duhamel et Binet pour le poste d'examineur de sortie – à tel point que le nom de Binet n'est jamais mentionné. La commission chargée d'examiner les candidatures est constituée le 19 mai 1840, avec Coriolis, Savary et Liouville ; elle propose l'unique nom de Duhamel le 27 mai, qui est élu deux jours plus tard.



Duhamel libérant son poste de professeur, c'est, comme on l'a vu, Charles-François Sturm qui lui succédera à la deuxième chaire d'analyse et de mécanique²⁰³. Coriolis ne voulait pas de cette solution, puisque Sturm est selon lui « sans élégance et ennuyeux dans ses leçons ». On remarquera, aussi, la dernière phrase de Coriolis ci-avant qui appréhende de devoir avancer à visage découvert – c'est-à-dire de donner les raisons de ses préférences (Sturm mauvais professeur, maintien de Duhamel comme professeur) – au risque de passer pour un homme faux (un jésuite ?) s'il ne le fait pas.

Sturm ayant remplacé Duhamel, le Conseil d'instruction doit trouver un remplaçant à Sturm comme répétiteur sur la deuxième chaire, celle de Liouville. La proposition appartient, comme il est d'usage, au professeur : en séance du 23 octobre 1840, Liouville propose un mathématicien extérieur à l'École, Abel Transon (1805-1876, X1823) – et pas n'importe lequel, puisque Transon est ancien saint-simonien et ancien journaliste au *Globe*, ayant rallié la mouvance fouriériste avant de se détacher des mouvements utopistes. À côté de cela, le directeur des études Coriolis fait connaître que MM. Colard et Cachon, anciens élèves²⁰⁴, se mettent sur les rangs pour cet emploi, ainsi que M. Guibert répétiteur adjoint du même cours ; Coriolis précise que ce dernier est

recommandable par la manière dont il remplit ses fonctions depuis plusieurs années.

De nouveau, on voit un Coriolis défendant le mérite, celui du répétiteur Guibert qu'il a vu à l'œuvre, et n'entrant pas dans les intrigues politiques visant à choisir un fouriériste, ancien journaliste, politique, n'ayant jamais enseigné. Pour Coriolis, un répétiteur méritant et bon enseignant à l'École sera toujours un meilleur choix qu'un recrutement externe.

203. Sturm obtiendra un autre poste en 1840 suite au décès de Poisson: il lui succède comme professeur de mécanique à la Sorbonne.

204. Lucien Hyppolite Colard est X1831 ; nous n'avons pas trouvé trace d'un Cachon ancien X (la base des anciens élèves répertorie Cachon, 1818-1839, X1836 ; peut-être sa date de décès est-elle erronée).

Contre la proposition de Coriolis, c'est celle du professeur, Liouville, qui est entérinée par le Conseil, et Transon est nommé répétiteur du cours d'analyse de Liouville.

La succession de Savary à Polytechnique (1841)

Le décès de Savary (1797-1841, X1815) en juillet 1841, à l'âge de quarante-trois ans, libère le poste de professeur de machines, astronomie et géodésie. Son répétiteur Urbain Le Verrier (1811-1877, X1831) est candidat. Cette succession, que Coriolis anticipe, est, comme celles de Comte ou de Poisson, sujette à souci pour lui :

Je suis toujours dans le tracassé pour la succession de Mr Savary. Mr Liouville se fait le meneur d'un parti qui repousse Mr Leverrier, le répétiteur. Il veut décider ou Poncelet ou Piobert à demander la chaire. (...) Mais je crains d'être injuste envers Mr Leverrier qui a fait le cours toute cette année pour Mr Savary et passablement bien. (lettre du 22 au 26 juin 1841)

On voit au passage que le "parti Arago" s'oppose à Le Verrier dès 1841, et peut-être même avant : on comprend mieux la hargne que mettra Le Verrier, lorsque Napoléon III lui donnera la direction de l'Observatoire, à se venger d'Arago, même après la mort de celui-ci. On notera toutefois que Liouville tient Le Verrier en estime encore quelques années auparavant, en 1833 : ce dernier, hésitant entre Ponts, Mines et Tabacs à sa sortie de Polytechnique, écrit à Liouville pour lui demander conseil, Liouville lui répond aimablement que lui-même choisirait les Ponts à nouveau, sans hésiter²⁰⁵.

La succession de Savary est évoquée en Conseil d'instruction le 6 août 1841 : une commission est nommée, composée de Coriolis, Leroy, Liouville, Lamé et Reynaud. Peu après, Coriolis poursuit:

Liouville et ses dévoués (Pelouze, Regnault, Sturm) ne veulent à aucun prix accepter le répétiteur de Mr Savary (Mr Leverrier), cependant je le crois capable de bien faire. On lui opposera [à Le Verrier] ou M. Poncelet ou M. Piobert de l'Académie. Ce dernier me plaît assez, mais il n'est pas décidé à se porter candidat. (lettre du 9 août à Mme Benoist)

On constate sans surprise que Coriolis ne semble guère favorable à une nomination de Poncelet à Polytechnique ; celui-ci, à cinquante-deux ans, n'a pas remis les pieds à Polytechnique depuis sa scolarité – il n'y reviendra qu'en 1848, non comme professeur mais comme général commandant l'École.

Concernant Piobert, la précision "de l'Académie" montre à quel point le fait d'être déjà académicien apporte un avantage (Piobert, né en 1793, était académicien depuis un peu plus d'un an, il avait été élu en mars 1840 ; Le Verrier, né en 1811, ne le sera qu'en 1846) – le directeur des études avait intégré cela, c'était presque une sujétion, de quoi donner raison à Auguste Comte et ses diatribes contre les académiciens qui nomment

205. Lettre de Liouville à Le Verrier, 18 septembre 1833 (B.I.F., Ms. 3712, lettre n°101) ; in Erwin Neuenschwaender, Joseph Liouville, *Correspondance inédite et documents biographiques provenant de diverses archives parisiennes*, « Bollettino di Storia delle Scienze Matematiche », vol.4 (1984), fasc.2, p. 104.

systématiquement un des leurs aux postes d'enseignement. Coriolis poursuit en se disant prêt à voter pour Piobert :

Je suis toujours dans le tracas pour la succession de Mr Savary. Je serais bien disposé envers MM. Poncelet ou Piobert que Mr Liouville essaie de décider mais je crains d'être injuste envers Mr Le Verrier. C'est une chose bien pénible d'avoir dans les conseils deux professeurs qui ne se saluent même pas. C'est une source de divisions, de querelles, de taquineries sur toutes les questions. Piobert est d'un caractère doux et facile (lettre des 22-26 août à Mme Benoist)

Le cours comprend machines, géodésie et astronomie. Piobert ne maîtrise pas bien cette dernière partie (...) mais pour l'École j'aime autant qu'on donne moins d'importance à l'astronomie et plus aux machines. (lettre des 22-26 août à Mme Benoist)

La crainte que Coriolis exprime d'être « injuste envers Mr Le Verrier » est étonnamment précisée plus avant dans la lettre. Enclin à soutenir Piobert, il fait part de ses états d'âme :

Mais cela ne se fera pas sans tracas (...) Mr Le Verrier se plaindra.

Coriolis fait le parallèle avec sa propre situation dix ans plus tôt, quand Navier académicien lui avait été préféré à la succession du cours de Cauchy dont il était répétiteur. La situation est peu comparable, puisqu'en 1841 Le Verrier a trente ans et n'est répétiteur que depuis cinq ans – dix ans auparavant, à la succession de Cauchy, Coriolis avait trente-neuf ans et était répétiteur depuis quatorze ans... Néanmoins Coriolis pense, par identification peut-être, que Le Verrier pourrait se fâcher, voire se sentir, comme lui,²⁰⁶

maltraité comme quand on a nommé Mr Navier après que moi répétiteur j'avais pris le cours à la suite de M. Cauchy.

Coriolis imagine alors une solution bancale, à savoir que l'École polytechnique proposerait Le Verrier et l'Académie Piobert, auquel cas le ministre de la guerre, dans son arbitrage, tranchera en faveur du « militaire [Piobert] qui plaît ici aux chefs [NB : le général et le colonel de l'École] et qui sera poussé par son corps ». Solution à la fois bâtarde, presque un déni de réalité, et assez lâche puisque Coriolis connaît le résultat final. Solution simplement destinée à sauver la face vis-à-vis de Le Verrier, en espérant que, comme lui-même en 1831, « il ne trouve pas très extraordinaire qu'on préfère un membre de l'Académie ».

Toujours est-il que cette solution ne verra pas le jour, comme on pouvait s'y attendre, puisque Piobert ne souhaite pas être candidat :

Mr Liouville qui est très opposé à Mr Le Verrier (le répétiteur du cours) a décidé Mr Chasles (frère du maire de Chartres le député) à se mettre sur les rangs, depuis qu'on sait que Poncelet et Piobert ont renoncé. Ce Mr Chasles est un homme de mérite, correspondant de l'Institut, auteur de divers ouvrages de recherches nouvelles sur la géométrie, mais il s'est peu occupé des matières du

206. On a déjà commenté ce passage dans la partie III, puisqu'il donne un éclairage déterminant sur la succession de Cauchy à Polytechnique en 1831. Nous mentionnons cette simple phrase pour mémoire.

cours qu'il aura à professer. Néanmoins je me suis décidé pour lui voyant d'ailleurs qu'il serait présenté par l'académie et qu'il avait aussi pour lui les plus compétents de nos professeurs. Mais ce n'a pas été sans hésitations et sans peine que j'ai pris ma détermination. [lettre du 4 octobre 1841]

Pour finir, le Conseil d'instruction du 25 octobre 1841 prendra acte du classement donné par la commission pour ce poste : 1°/ Chasles, 2°/ Le Verrier, 3°/ Delaunay. Le 29 octobre, le Conseil votera pour la présentation de Chasles au ministre.



Il se confirme dans cette affaire que Coriolis subit plutôt les événements, sans en être l'acteur. C'est Liouville qui est à la manœuvre, même si Coriolis se plaint de « visites pénibles à recevoir pour la succession de Mr Le Verrier ». Coriolis semble apprendre successivement le fait que Piobert est pressenti, son renoncement à concourir, la sollicitation de Chasles. Coriolis est-il consulté lors de ces changements de cap, ou est-il considéré comme quantité négligeable par Liouville ? Il semble aussi que son opinion fluctue – il est prêt à soutenir Le Verrier, puis Piobert, puis Chasles « non sans hésitations ». Quinze mois plus tard, il écrira à sa cousine :

J'ai assisté aux premières leçons de Mr Chasles. J'en ai été très content. Voilà un tracas de moins. Maintenant je crois qu'on a bien fait de le préférer à M. Le Verrier [lettre du 9-20 novembre 1841]

La première impression ne paraît toutefois pas la bonne, en tout cas n'est pas confirmée, puisqu'à peine deux mois plus tard, Coriolis écrit :

Mr Chasles aussi m'a donné de l'ennui ; il avait d'abord commencé assez bien ; mais depuis, il a été très faiblement. Il a fallu prévenir l'orage qui se formait sur lui ; j'ai dû le décider à donner des feuilles lithographiées ; cela supplée à ce qui manque à ses leçons et les élèves patientent. [lettre du 1^{er} janvier 1842]

[27 août 1843 : les élèves sont venus se plaindre à lui de Mr Chasles] *Les élèves sont presque résolus à ne plus le supporter. Cependant j'ai pu les empêcher de faire encore aucune autre démarche avant que j'aie parlé à Mr Chasles. [lettre du 2 septembre 1843]²⁰⁷*

La succession du professeur de dessin, 1842

Pour mineur que soit l'enjeu (le dessin, quoique important, n'est pas une matière majeure de l'enseignement), le remplacement du professeur de dessin va envenimer la tension existant entre l'École et le ministère, tension qui pèse sur Coriolis. Dans une lettre du 10 mars 1842 à sa cousine, il écrit :

207. Il s'agit de la dernière observation faite par Coriolis sur un de ses collègues dans sa correspondance, dans la dernière lettre que nous avons avant sa mort.

Le Ministère veut que nous présentions 3 candidats, le Conseil n'en veut présenter qu'un seul : nous prétendons avoir l'ordonnance pour nous. On dit le Ministre nommé sur la proposition du Conseil [NB : souligné par Coriolis] sans rien ajouter sur le nombre de candidats à présenter.

Cette affaire est évoquée par Belhoste²⁰⁸ : le ministre Soult a exigé que ce poste soit pourvu par voie de concours, le Conseil d'instruction s'y est opposé en arguant que les professeurs de dessin sont assimilés à des répétiteurs, donc présentés par les professeurs ; le Conseil a désigné Montfort comme seul candidat au poste, malgré l'opposition du général commandant l'École ; le Ministre demande que lui soient présentés trois candidats. On notera que Coriolis pense que le Conseil d'instruction a le droit pour lui ; Coriolis semble ne pas vouloir rentrer dans le jeu de pouvoir – bras de fer – entre l'École et sa tutelle : il fait mine, consciemment ou inconsciemment, de l'ignorer.

L'affaire marque une volonté du gouvernement de mieux contrôler l'École polytechnique, réputée tenue par des savants opposés au régime comme Arago ; elle donnera lieu à des débats au sein du Conseil d'instruction (séances du 4 mars, du 8 avril, du 9 mai et du 18 décembre 1842), et à deux lettres du ministère de la Guerre au général commandant l'École (lettres du 23 février et du 29 mars 1842).

Dans sa lettre privée, en date du 10 mars, Coriolis évoque donc à la fois la position ministérielle du 23 février et la séance du Conseil du 4 mars. Du vivant de Coriolis (qui meurt en septembre 1843), l'affaire restera bloquée. Ce n'est qu'en mars 1844 que Montfort est finalement nommé professeur de dessin, après une nouvelle présentation.

LES SUCCESSIONS À L'ACADÉMIE

Les successions à l'Académie étaient moins cause de tracas pour Coriolis que les successions à Polytechnique : dans ce dernier cas, il était directement impliqué comme directeur des études. Il mentionne toutefois dans sa correspondance personnelle au moins trois successions à l'Académie pour lesquelles il est sollicité.

Mars 1840, la succession de Poisson

À la mort de Poisson, les candidats au poste (tels que les donne Coriolis dans sa lettre du 21 mars 1840) sont : Lamé, Duhamel, Binet, plutôt vus comme des « théoriciens », et Piobert, Pambour, Combes, plutôt vus comme des praticiens.

Ces candidats sont de deux espèces : les faiseurs de mathématiques, autrement dit les théoriciens, Mr Duhamel, Binet et Lamé ; les faiseurs d'expériences sur des objets utiles et se rapportant à la mécanique. Ce sont tous les autres. M. Cauchy et moi voulions mettre M. Lamé au nombre des derniers (les faiseurs d'expériences) car il a été ingénieur et qu'il a vu des travaux et des machines.

208. Belhoste [2003], pages 95-96.

Comme notre section et les membres influents de l'académie se prononçaient pour écarter les théoriciens et pour n'admettre qu'un expérimentateur, nous voulions en nous rendant à ce vœu faire arriver Mr Lamé (...)

Ce paragraphe est très intéressant car il nous confirme dans la vision que nous avons d'un Coriolis «mathématicien – théoricien de la mécanique appliquée». Dans son esprit, le *distinguo* paraît clair entre «les faiseurs de mathématiques, autrement dit les théoriciens», selon l'expression de Coriolis, et «les faiseurs d'expériences se rapportant à la mécanique» - entre les géomètres et les ingénieurs-savants, dirait Grattan-Guiness. Si Duhamel et Binet sont incontestablement dans la première catégorie, tandis que Piobert, Pambour et Combes sont incontestablement dans la seconde, le cas de Lamé est plus ambigu. Comme Coriolis, c'est, selon nous, à la fois un «mathématicien, ou un «théoricien», mais faisant «des expériences de mécanique», notamment sur la poussée des voûtes²⁰⁹ - notons toutefois que chez Lamé, ceci correspond à deux périodes successives de sa carrière (il faisait des «expériences de mécanique» en Russie de 1820 à 1830, et s'était plutôt orienté vers une carrière académique de mathématicien depuis son retour en France en 1830). La façon dont Coriolis le décrit ici montre néanmoins qu'il se sent proche de l'approche scientifique de Lamé.

Il est à cet égard intéressant de voir comment Gabriel Lamé est décrit par Coriolis dans la «galerie de portraits» des professeurs à Polytechnique qu'il brosse pour sa cousine :

Mr Lamé professeur de physique est un homme d'imagination vive et à idée [sic] excentriques. Il est un peu saint-simonien. C'est un ancien ingénieur des mines qui a été en Russie de 1816 à 1830. Il est fort mathématicien, c'est un camarade d'École polytechnique de Mr Dubamel. Il y a eu du froid entre eux à l'occasion de leurs candidatures à l'académie. Dubamel reproche à Lamé de lui avoir proposé un arrangement. Et de ne pas l'avoir suivi après qu'il avait été accepté [...] Lamé d'abord assez bien avec Mr Arago n'est plus maintenant l'un des siens depuis qu'il y a eu froid avec Dubamel qui depuis six mois environ s'est mis en bonnes grâces auprès de Mr Arago [...] Mr Lamé a du cœur, il est bon enfant [...]. Ses idées sont toujours un peu singulières. Il professe froidement, ce qui est assez inexplicable pour un homme qui ne parle jamais froidement dans la conversation. Je suis toujours obligé de lui dire, lorsque j'ai assisté à une des ses leçons : échauffez-vous, parlez plus haut et avec plus de nuances ! » [lettre du 24 mars 1840]



Coriolis est donc allié à Cauchy dans la préparation de cette succession. On peut comprendre de ce qu'il écrit que les faveurs de l'Académie vont plutôt aux praticiens – et on peut penser que Coriolis, considérant Lamé comme bien meilleur scientifique que Piobert, Pambour ou Combes, voudrait faire passer Lamé dans cette catégorie des

209. On remarquera aussi que la poussée des voûtes est un des domaines de la mécanique appliquée que Coriolis mentionne, avec l'hydraulique et l'effet des machines, comme faisant partie du corpus théorique devant être enseigné à l'École polytechnique (cf. ses propositions de réforme de 1840, *infra*)

« praticiens ». De fait Lamé était un bon scientifique et, par ailleurs a été ingénieur en Russie de 1820 à 1830. Mais, encore une fois, les efforts de Coriolis sont vains :

(...) mais il n'y a pas eu moyen. Aujourd'hui il est décidé que les candidats présentés seuls seront MM. Piobert, Morin, Pambour, Combes. Moi je voudrais qu'on mît M. Combes avant M. Pambour, et je crains d'échouer. Il est maintenant à craindre pour mon protégé que je ne sois pas en état de sortir après-demain lundi, alors la partie est perdue pour lui : ce sera dans tous les cas M. Piobert qui sera nommé. C'est un homme (ill), de Lens, de manières douces et convenables, et qu'on verra arriver avec plus de plaisir que Morin et Pambour qui sont, soit dit entre nous, des faiseurs d'embrouilles à qui beaucoup de moyens sont bons pour se pousser.

Même dans sa sous-optimisation (Lamé n'ayant pas été inscrit sur la liste), Coriolis craint d'échouer à placer Combes avant Pambour²¹⁰ : visiblement ce dernier ne lui sied guère, il préférerait le voir placé en dernier. On notera aussi le jugement sévère mais sans doute juste porté sur Arthur Morin (1795-1880) – il avait pourtant écrit un rapport favorable sur son ouvrage en 1838 à l'Académie, en prenant position en sa faveur dans la querelle l'opposant à Dupuit. Mais, en fin de compte, il semble que cette fois-ci le candidat choisi, Piobert, convienne néanmoins à Coriolis.

On remarquera aussi que le candidat favori de Coriolis, avant tout autre, est Gabriel Lamé. Coriolis reconnaît en lui une valeur scientifique digne de l'Académie : les options politiques de Lamé – assez éloignées des opinions de Coriolis – et le fait qu'il soit lié au « parti Arago », comme cela apparaîtra, n'entrent pas en considération dans le choix de Coriolis. Pour lui, c'est la valeur scientifique qui est déterminante, et elle seulement – et sans doute aussi la similarité des démarches scientifiques que nous avons soulignée entre Coriolis et Lamé, à la frontière de la théorie et de la pratique.

Une élection à l'Académie en mars 1843

Dans la dernière année de sa vie, en plus de l'affaire du renouvellement de Comte comme examinateur d'admission, Coriolis vit une situation de succession difficile à l'Académie, empreinte de considérations politiques. Lamé et Jacques Binet se disputent un poste dans la section de géométrie²¹¹. Alors qu'en 1840, à la succession de Poisson, Coriolis était prêt à soutenir Lamé contre Piobert – finalement élu – trois ans plus tard, il soutiendra Binet contre Lamé.

Dans la lettre du 6 mars 1843 à sa cousine, Coriolis raconte, en tant qu'académicien, les détails de la réunion plénière où la section de géométrie a fait son rapport :

210. François-Moulin Guyonnau de Pambour (1795- ???, X1813) était un polytechnicien, officier d'artillerie, auteur en 1839 d'un ouvrage *Théorie de la machine à vapeur* ; il eut maille à partir avec Poncelet, ce qui aura pu lui barrer la porte de l'Académie. Guillaume Piobert (1793-1871, X1813), qui obtiendra le poste d'académicien, était lui aussi polytechnicien (de la même promotion que Pambour) et officier d'artillerie ; il avait publié ses recherches de balistique dans les années 1830, et succède à Poisson à l'Académie en 1840.

211. Nous pensons qu'il s'agissait d'un poste vacant depuis quelque temps ; en tout cas nous n'avons pas identifié ce poste à celui d'un savant défunt à remplacer.

La section de mathématiques, composée de messieurs Poinsot, Biot, Libri, Lacroix et Sturm a présenté en 1^{er} ex-aequo Mr Binet et Mr Lamé ; en 2^o Mr Chasles ; en 3^o M. Blanchet. On n'a parlé que des deux premiers ; de l'ex-aequo que Mr Thénard a fort critiqué ; est résulté que Mr Poinsot n'a jamais voulu porter que Mr Chasles au premier rang ; les autres ses ont partagés ; Mr Lacroix et Mr Libri pour Mr Binet ; Messieurs Biot et Sturm pour Mr Lamé. C'est Mr Libri qui a fait le rapport ; il était assez impartial. Mr Biot a dit ensuite quelques mots en faveur de Mr Lamé ; Mr Sturm en a fait autant ; Mr Lacroix n'a fait que salon pour dire qu'il votait pour Mr Binet ; Mr Libri a ajouté quelque chose en faveur de Mr Binet ; puis Mr Liouville a fait un long plaidoyer en faveur de Mr Lamé : il a été très vif. Il a déclaré plusieurs fois qu'il regardait Mr Lamé comme très supérieur à Mr Binet. Après cet [sic] espèce de leçon détaillée sur divers points des travaux de M Lamé, M Cauchy a pris la parole pour Mr Binet, mais assez maladroitement. Ce pauvre Mr Cauchy ne peut rien dire qu'il ne cherche à parler de lui et à faire valoir ses travaux. Il en a été presque ridicule. Mr Duhamel et M Poncelet ont dit quelques mots en faveur de M Lamé ; enfin j'ai terminé en disant pour Mr Binet à peu près ce que j'avais mis dans ma dernière lettre (...)

On remarquera que Coriolis reste fidèle à Binet : soit par sentiment de rattachement au parti légitimiste, soit pour raisons purement professionnelles, soit pour les deux. Du point de vue professionnel, Coriolis pouvait avoir appris à apprécier Binet qui a été Inspecteur des études de 1817 à 1830, alors que lui-même était répétiteur ; par ailleurs, il pouvait apprécier les travaux mathématiques de Binet. La sympathie de Coriolis pour Binet semble réelle, au point que Binet se confie à lui relativement à ses chances d'élection, comme à un fidèle soutien sinon ami :

(..) j'ai vu hier M Binet, il compte 27 voix, il en faudrait 29 ; il y a 5 ou 6 membres flottants ils ne disent même pas pour qui ils votent. On ne saura donc rien d'avance, bien que les partisans de Lamé se prétendent sûrs de 30 voix.

Coriolis comme Binet se font sans doute des illusions, le parti Lamé est à juste raison sûr de l'élection. Comme on pouvait s'y attendre

[fin de la lettre] M. Lamé a eu 30 voix, M. Binet 27, il n'y a eu aucune voix pour les autres candidats ainsi c'est M Lamé qui est nommé.

La succession de Lacroix (juillet 1843)

Une seconde élection se profile à l'Académie cette année-là :

M Lacroix membre de l'Académie pour les mathématiques est en grand danger. Je le connaissais peu. J'aurai un plus grand plaisir à voir entrer Mr Binet que je n'aurai de chagrin de cette perte des sciences. Je ne vois guère de choix à faire pour le remplacer ; on tombera dans les grandes médiocrités, ce qui justifiera mon idée de ne pas admettre en principe qu'on remplace toujours les académiciens dans un délai donné.[lettre du 23 mai 1843]

Cette phrase n'est pas totalement claire : Coriolis pense sans doute qu'en dehors de Binet, qu'il soutient, personne ne mérite d'être élu ; ou, autre hypothèse, il soutient Binet parce qu'il faut élire un académicien, à cause de ce principe de remplacement obligatoire qu'il n'approuve pas – mais que si le remplacement n'était pas immédiatement exigé, la place pourrait alors attendre un mathématicien qui la mérite. On voit donc chez Coriolis une conscience assez aiguë de la valeur scientifique de ses collègues, au moins dans ce cas. On peut penser que Coriolis soutient Binet plus par fidélité, et parce qu'il faut choisir quelqu'un – que par estime de sa valeur scientifique. C'est curieux, puisqu'en début d'année il l'avait soutenu (contre Lamé) sans états d'âme semble-t-il.



Deux mois plus tard, alors en cure à Plombières-les-Bains dans le sud des Vosges, il évoque de nouveau le remplacement de Lacroix, à la fois au collège de France et à l'Académie :

Vous avez vu par les journaux la singulière tournure qu'a prise l'élection d'un professeur au Collège de France. J'ai été très content de ne pas être à Paris au sein de ce débat. Il y en a encore un autre où je me serais mêlé et que j'aime autant ne pas avoir : c'est l'élection à la place de Mr Lacroix. Je pense que Mr Binet passera ; mais il s'est fait du tort (au moins je le juge ainsi) en appuyant Mr Libri au Collège de France. C'est un mauvais choix. C'est un triste professeur, négligeant ses leçons et assez faible mathématicien. Le parti Arago bronillé avec Mr Libri avec assez de raisons, gardera rancune à Mr Binet d'avoir voté pour lui. [lettre du 6 au 11 juillet 1843]

(...) on ne peut pas lui comparer son concurrent Mr Chasles, bien que Liouville le (ill.) [lettre du 6 au 11 juillet 1843]

Dans la première partie, Coriolis évoque le remplacement de Lacroix, professeur au collège de France de 1815 à 1843 : il donne lieu à une élection pour la proposition du collège des professeurs au cours de laquelle Libri et Liouville s'affrontent violemment. Le premier est désigné comme candidat du Collège le 18 juin 1843, au troisième tour d'un scrutin mouvementé, par 13 voix contre 10 à Liouville²¹².

Coriolis tenait visiblement Libri en piètre estime. Dans sa galerie de portraits (lettre du 24 mars 1840), voici ce qu'il dit à propos de Libri, et des relations entre celui-ci et Liouville :

Liouville a en horreur Mr Libri qu'il accuse d'être double et d'agir contre les gens en leur faisant des (ill.) ; c'est un italien dit-il. De temps en temps ils s'attaquent à l'académie, Mr Libri qui a de la présence d'esprit et de (ill.) se défend pour le public, mais il est toujours battu par les trois ou quatre personnes qui entendent la matière. Ce n'est qu'un mathématicien superficiel, il s'aventure et Mr Liouville ne l'attaque jamais sans avoir raison. [lettre du 24 mars 1840]

212. Voir Bruno Belhoste [1984].

Binet, échaudé quant à lui par son échec six mois plus tôt, compte pour l'élection à l'Académie sur le soutien indéfectible de Coriolis : il avait souhaité que Coriolis revînt de sa cure à Plombières-les-Bains pour participer à la discussion du 3 juillet à l'Académie (source lettre du 3 juillet). La section de géométrie mettra Binet et Chasles ex-aequo en position 1, et Blanchet en position 3 ; le 10 juillet 1843, l'Académie élira Binet par 33 suffrages contre 16 à Chasles, un bulletin blanc.

Où il est proposé à Coriolis la présidence de l'Académie

Compte tenu des relations entre Coriolis et le parti Arago, il est étonnant que Coriolis soit sollicité par le parti Arago pour prendre la présidence de l'Académie des sciences. On sait – et c'est toujours vrai – que la présidence est un poste honorifique, qui ne se conserve qu'une année, et que le pouvoir véritable est chez le Secrétaire perpétuel (Arago en l'occurrence, depuis 1830). On connaît aussi le rituel immuable qui préside au choix : une année auparavant, l'Académie élit un Vice-Président, qui systématiquement succède au Président l'année suivante. C'est donc l'élection du Vice-Président qui fait l'objet d'un enjeu. Lors de l'élection du Vice-Président fin 1842 (pour être Vice-Président en 1843 et donc Président de l'Académie des sciences en 1844), Coriolis est sollicité par les « amis de Mr Arago » :

Sur mon refus d'accepter la candidature des amis de Mr Arago pour la présidence, ils ont choisi Mr Liouville. Vous avez vu dans le Journal qu'il avait échoué : il est probable qu'il m'en serait arrivé autant ; ainsi j'ai doublement bien fait de refuser. [lettre du 6 janvier 1843]

La première phrase ne paraît pas très claire, en tout cas pas bien construite, mais le contexte ne souffre aucune ambiguïté : sous la présidence de Dumas (président pour l'année 1843), la séance du lundi 2 janvier 1843 voit une bataille entre Liouville et Dupin pour la vice-présidence pour l'année 1843, donc la présidence pour l'année 1844. Sur 52 votants au premier tour Dupin obtient 22 voix et Liouville 19, au second tour Dupin 26 et Liouville 21 (aux deux premiers tours, les voix pouvaient se porter sur d'autres candidats); puis se fait le « scrutin de ballottage » avec les deux premiers candidats uniquement, et Dupin est élu par 30 voix contre 19.

Coriolis poursuit par ses plaintes habituelles, en cette première lettre de l'année qui l'emportera :

D'ailleurs, il faut plus de tête que je n'en ai pour bien présider ; nos séances, surtout dans ces conseils secrets, lorsqu'il s'agit de nominations, sont très organisées, et il faut qu'un président ait de la présence d'esprit et de la fermeté ; qualités que j'ai perdues.

Il n'est pas neutre que « le parti Arago » ait cru bon de proposer à Coriolis d'être candidat. Arago souhaitait peut-être écarter quelqu'un comme Dupin (les voix qui se portent sur Liouville montrent cette opposition), issu du milieu militaire et ayant des connexions politiques pouvant nuire aux siennes – il avait été fait baron par Louis XVIII et pair de

France par Louis-Philippe, était député depuis 1827, avait été brièvement ministre en 1834.

En jetant leur dévolu sur Coriolis, Arago et ses amis choisissaient quelqu'un qu'ils connaissaient au sein du milieu enseignant de Polytechnique (auquel n'appartenait pas Dupin), un scientifique dont ils connaissaient aussi le caractère effacé et l'absence d'intérêt pour les relations politiques. Bref quelqu'un qu'ils voyaient parfaitement comme président annuel de l'Académie des sciences...

Cette phrase de Coriolis nous révèle, aussi, le caractère manœuvrier du Secrétaire perpétuel Arago : nous ignorons si c'est toujours le cas de nos jours, mais il est étonnant de voir le Secrétaire perpétuel être ainsi à la manœuvre pour avoir un Président qui lui convient.

Chapitre 14. Projets de réforme de l'École polytechnique

Coriolis va, de son propre chef, réfléchir à une possibilité de réforme de l'enseignement à Polytechnique. Ses projets échoueront, et cet échec semble contribuer plus que tout autre chose à sa décrépitude. Ce sujet des velléités de réforme de 1840 a été largement étudié, aussi n'y reviendrons-nous que pour replacer Coriolis dans ce contexte, en tant qu'initiateur du projet.

UN ENSEIGNEMENT PLUS CONCRET

Le caractère figé de l'enseignement à l'X entre 1816 (l'« École de Laplace » remplaçant celle de Monge) et 1850 a été souligné par B. Belhoste :

Le plan d'études adopté en 1816 demeure à peu près inchangé jusqu'en 1850 (...) Son plan d'études et ses programmes restent ainsi quasi immuables pendant trente-cinq ans.

Le caractère assez peu cohérent, centré sur les mathématiques, a aussi été souligné par le même auteur :

Peut-on d'ailleurs parler d'un plan d'études à propos d'enseignements juxtaposés sans ordre ni principes ? (...) Il semble vain de rechercher un plan d'ensemble pour l'École de Laplace. (...) l'École polytechnique semble ignorer longtemps l'évolution des enseignements dans les écoles d'application.

Belhoste nous indique, à propos du caractère figé de l'enseignement et du renouvellement très lent du corps enseignant, que « Coriolis est le premier à s'en inquiéter ». Ce n'est pas sans un certain courage que Coriolis prend l'initiative de proposer en 1839 une réforme : aucun de ses prédécesseurs ne l'avait fait. Jacques Binet, inspecteur des études de 1816 à 1830, n'allait pas aller à l'encontre de « l'École de Laplace » qu'il avait contribué à mettre en place en 1816 ; Pierre-Louis Dulong, directeur des études de 1830 à 1838, était sans doute moins impliqué dans l'École (ce que Coriolis souligne à mi-mot dans sa correspondance) – il venait d'une matière scientifique, la physique, qui ne lui permettait pas forcément de voir la nécessité de réforme et ne lui en donnait pas la légitimité. Ceci dit, le problème pouvait difficilement être anticipé avant 1830 : c'est la montée en puissance des écoles d'application qui va souligner un certain déphasage de l'École polytechnique – l'argument étant récursif, car c'est aussi à cause de ce déphasage que se créent d'autres écoles comme l'École Centrale en 1829.



Coriolis fait preuve à notre sens de volonté et de courage en remettant en cause l'enseignement à l'École et le programme d'admission. De manière synthétique, ses propositions tiennent en trois points :

1. le programme d'admission doit être renforcé (notamment pour intégrer des éléments de calcul différentiel et intégral), et le programme d'enseignement à Polytechnique doit être allégé des notions correspondantes.
2. le temps ainsi dégagé à Polytechnique doit être utilisé pour enseigner des notions théoriques, à tort enseignées dans les écoles d'application, comme la résistance des matériaux, la poussée des terres et des voûtes, l'effet des machines, etc.
3. le temps ainsi dégagé dans les écoles d'application pourrait être utilisé pour mieux former l'ingénieur à des aspects spécifiques à chacune des écoles, comme les aspects pratiques, non nécessairement scientifiques ou techniques, de son futur métier, aspects juridiques ou réglementaires.

Ainsi, cette proposition manifeste une cohérence certaine en couvrant les trois domaines de la formation : la préparation à Polytechnique, l'enseignement à Polytechnique, l'enseignement en École d'application. Elle manifeste aussi une certaine vision, Coriolis se réclamant à demi-mot d'un retour à « l'École de Monge » qui l'avait formé. Il lance ainsi un débat d'importance qui se poursuivra jusqu'en 1852 avec Le Verrier, bien après la mort de Coriolis.

L'originalité et la subtilité de cette proposition résident dans la deuxième proposition – sans doute celle qui a suscité le plus d'opposition par incompréhension. C'est Coriolis théoricien de la mécanique appliquée qui parle là : pour lui, l'avancement de la science a été tel qu'un certain nombre de matières théoriques, communes à toutes les applications, devraient être enseignées à Polytechnique, alors qu'elles sont enseignées dans chacune des écoles d'applications – ce qui est par ailleurs, souligne Coriolis, un gâchis d'argent public chaque enseignement étant répété. Mais dans la première proposition, on reconnaît aussi le Coriolis mathématicien, convaincu que le calcul différentiel doit se répandre au niveau des classes préparatoires, pour assurer un meilleur recrutement à Polytechnique et une meilleure formation des jeunes.



Cette proposition de réforme allait se heurter à une farouche résistance du clan Arago. D'abord parce que dans son principe même, elle allait à rebours de la mathématisation en marche de l'enseignement polytechnique (Auguste Comte parlera à cet égard, par dérision, d'un enseignement « monoteknique »), que Liouville, par sa formation, ses travaux et ses centres d'intérêt, était en train de conduire, avec la bénédiction d'Arago, en tout cas son *nihil obstat* – Liouville lui assurait sa fidélité et son adhésion au clan, ce qui suffisait à satisfaire Arago. Ensuite, plus subtilement, parce que de fait, elle dépouillait les professeurs d'analyse (Sturm et Liouville) d'une partie de leur enseignement – le calcul différentiel et intégral était reporté à l'admission. En proposant

cela, d'ailleurs, Coriolis ne faisait qu'adapter les programmes officiels à la réalité : déjà les professeurs d'institutions préparatoires utilisaient le calcul différentiel et intégral pour la bonne raison que c'était souvent une manière plus simple d'enseigner certains éléments figurant au programme. Coriolis, d'esprit rationnel, peu porté aux finasseries politiques et aux jeux de pouvoir, entendait simplement mettre ainsi les choses en conformité avec la pratique.

Une troisième raison, pour le « clan Arago », n'est jamais énoncée clairement mais figure en filigrane : comment Coriolis pouvait-il envisager d'inclure des représentants des institutions de préparation au Conseil de perfectionnement ? Comme pour l'argument précédent (il faut au moins un Sturm ou un Liouville pour enseigner les rudiments du calcul différentiel !), il y a là une vision élitiste, et finalement fort peu démocratique : ainsi le Conseil de perfectionnement ne serait plus composé uniquement de professeurs à Polytechnique ou d'académiciens ? Quand on sait que, en outre, ce Conseil avait été mis en place par Arago après la Révolution de Juillet, comment Coriolis – qui n'avait sans doute pas été mis à ce poste pour cela – pouvait-il se permettre de prendre l'initiative d'y toucher, hors toute nécessité politique ?

À ce propos, nous nous sommes posé la question de savoir s'il fallait voir chez Coriolis une intention politique derrière sa proposition de réforme. Sa référence à l'École de Monge n'était-elle pas la manifestation d'un certain conservatisme politique, d'un retour en arrière, à l'opposé d'une vision libérale et progressiste de façade donnée par le clan Arago ? Ou simplement le souhait d'un retour à l'enseignement tel qu'il l'avait connu à Polytechnique – comme c'est souvent le cas chez les anciens élèves de grandes écoles ? Notre réponse est négative à chacune de ces questions. D'abord, c'est une constante chez Coriolis de ne pas mêler ses opinions politiques et son travail. Ensuite, sa référence à l'École de Monge est faite à demi-mot, elle vient simplement aider à la compréhension et donne aux propositions de Coriolis une certaine légitimité – il est toujours bon de se réclamer des mânes des pères fondateurs. Enfin, et surtout, Coriolis s'appuie sur les avancées de la science et de la technique depuis 1800, justement, pour avancer ces propositions. En ce sens, Coriolis est parfaitement « dans son temps », ne déplore pas un paradis perdu : si la science a avancé au point que le calcul différentiel de Leibniz et de Newton peuvent aider à résoudre des problèmes simples demandés à l'admission, pourquoi ne pas l'inscrire au programme d'admission ? Si les techniques ont avancé au point qu'il y a la possibilité, et même la nécessité, d'un enseignement théorique commun à plusieurs métiers d'ingénieur – enseignement de machines, de résistance des matériaux, etc. – pourquoi ne pas inscrire cet enseignement à Polytechnique ?

La proposition de Coriolis n'est ni politique, ni nostalgique. Elle s'inscrit dans sa perception de la réalité des choses (on utilise déjà le calcul différentiel dans les instituts préparatoires) – en ce sens elle n'est pas politique, au sens particulier qu'on peut donner à ce terme de distorsion de la réalité à des fins idéologiques. Elle s'inscrit aussi dans une analyse de l'avancée des sciences et des techniques – en ce sens elle n'a rien de

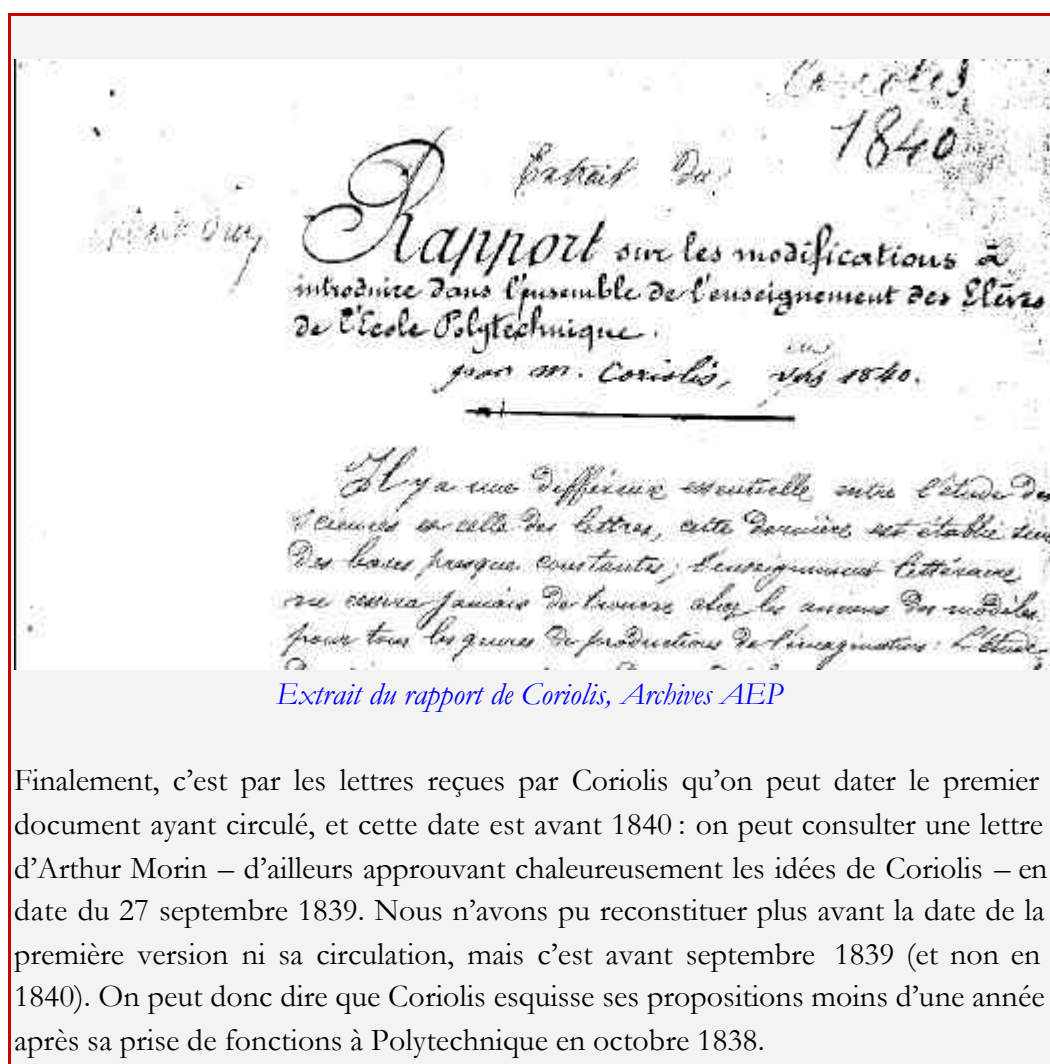
nostalgique. Elle est même au cœur de la vision et de la pratique de la science qu'avait Coriolis. C'est justement cette partie très particulière de la science qu'il a développée – la théorie de la mécanique appliquée – que Coriolis estime nécessaire de développer à Polytechnique.

D'autres questions contingentes viennent encore à l'esprit : Est-ce parce que Coriolis ne réussissait pas comme il le souhaitait à enseigner cette matière aux Ponts qu'il la proposait à Polytechnique ? N'est-ce pas parce qu'il ne l'avait jamais enseignée à Polytechnique que Coriolis propose cette matière – d'ailleurs personne ne l'enseignait puisque le cours de machines n'abordait pas ces sujets ? N'avait-il pas eu la possibilité, en 1836, de reprendre la chaire d'analyse de Navier et d'orienter sa chaire en partie vers ces sujets ? Ces questions sont susceptibles de ternir la pureté de l'intention de Coriolis dans ses propositions de réforme, en le rendant consciemment ou inconsciemment intéressé à titre personnel à l'aboutissement de ces réformes, ou bien en interprétant comme une volonté de réforme ce qui n'aurait été qu'un constat d'échec personnel – n'avoir pu imposer à un quelconque moment son enseignement d'effet des machines à Polytechnique. Aux deux premières questions ci-dessus, nous répondons non : même si de telles raisons plus personnelles ont pu exister en filigrane, ou de manière inconsciente, elles n'enlèvent rien à la cohérence ni à la redoutable efficacité – mesurée à la réalité des choses – des propositions de Coriolis. De fait, Coriolis apporte une réponse à la première question : si son enseignement aux Ponts ne lui donne pas toujours satisfaction, c'est justement parce que les élèves (ce sont les mêmes qu'à Polytechnique...) sont fatigués des considérations théoriques et n'y prêtent plus attention.

La troisième question (quid de la chaire de Navier en 1836 ?) mérite qu'on s'y attarde : il est certain que Coriolis a toujours vu l'analyse de manière différente – il ne s'est jamais projeté en un Cauchy, du cours duquel il était répétiteur. Peut-être connaissait-il trop bien la matière, avec Cauchy puis avec Navier, pour imaginer pouvoir l'infléchir. Mais il faisait clairement le distinguo entre ce qui était l'analyse et la théorie des machines qu'il proposait : en ce sens, le Coriolis mathématicien, répétiteur pendant 21 ans du cours d'analyse, était différent du Coriolis théoricien de la mécanique appliquée, sur laquelle il avait développé ses recherches personnelles de 1820 à 1836.

Quand et comment Coriolis fait-il ses propositions ?

Il est difficile de savoir quand Coriolis élabore son document, ni à partir de quand il le fait circuler. Sa note manuscrite à l'École polytechnique est un brouillon (il comporte de multiples ratures), non signé (mais son écriture est aisément reconnaissable) et surtout non daté par lui : figure la mention *1840* au crayon, sans autre précision. Il existe une minute (copie lisible et sans ratures du document), partielle (s'arrêtant avant la fin du manuscrit de Coriolis), non datée elle aussi (*cf. ci-dessous*).



Finalement, c'est par les lettres reçues par Coriolis qu'on peut dater le premier document ayant circulé, et cette date est avant 1840 : on peut consulter une lettre d'Arthur Morin – d'ailleurs approuvant chaleureusement les idées de Coriolis – en date du 27 septembre 1839. Nous n'avons pu reconstituer plus avant la date de la première version ni sa circulation, mais c'est avant septembre 1839 (et non en 1840). On peut donc dire que Coriolis esquisse ses propositions moins d'une année après sa prise de fonctions à Polytechnique en octobre 1838.

LES PROPOSITIONS DE CORIOLIS

Il nous a paru intéressant de suivre pas à pas le texte de Coriolis²¹³ parce qu'il s'agit d'un texte important dans la vision qu'il a et de l'enseignement et de la science. Il synthétise sa réflexion et son opinion non seulement en tant que directeur des études, mais aussi en tant qu'enseignant pendant vingt et un ans à Polytechnique et pendant six ans à l'École des ponts.

Il y a une différence essentielle entre l'étude des sciences et celle des lettres, cette dernière est établie sur des bases presque constantes; l'enseignement littéraire ne cessera jamais de trouver chez les anciens des modèles pour tous les genres de production de l'imagination. L'étude des sciences au contraire doit se déplacer par une marche progressive. Beaucoup de points auxquels on avait attaché de l'importance pendant quelque temps doivent être abandonnés pour faire place à des faits nouveaux plus intéressants et à de nouvelles théories plus satisfaisantes.

213. De larges extraits de ce texte ont déjà été donnés par I. Grattan-Guinness en annexe de *Convolutions*, 20.11, p. 1346 à 1351 (avec quelques erreurs de transcription et de français).

Suit un passage où Coriolis se démarque de la science contemplative du XVIII^e siècle, en faisant une claire distinction entre « savants » isolés et élèves des écoles. C'est même un plaidoyer assez précis pour une science finalisée, différente d'une science pure, dans un débat toujours présent et dans des termes fort actuels, puisque Coriolis parle en 1839 de « bien-être » de la société ! De quoi, aussi, faire apparaître comme totalement dépassée la vision qu'avait Arago de la physique, resté lui aux cabinets de curiosités du XVIII^e siècle :

La société, aujourd'hui, n'a plus pour ainsi dire le temps d'étudier la nature pour l'admirer, ni le loisir de chercher la vérité pour en faire l'objet de contemplations ; elle laisse ce soin à quelques savants qui s'y adonnent par vocation et qui se forment eux-mêmes sans le secours des écoles. Elle demande aux sciences qu'elle répand par l'éducation publique des applications aux diverses industries ; elle veut que leur enseignement soit dirigé vers l'accroissement de son bien-être, en servant au perfectionnement des arts utiles. Non seulement la physique et la chimie ont créé de nouvelles industries et en ont perfectionné un grand nombre, mais les mathématiques ont aussi rendu beaucoup de services en éclairant des questions de mécanique appliquée.

Dans cette dernière phrase, Coriolis parle de sa propre expérience : on voit là de nouveau qu'il ne se considère pas comme un physicien, mais qu'il se rattache clairement aux mathématiques, ayant pour sa part « éclairé des questions de mécanique appliquée ».

Dans une École qui doit entretenir ce mouvement des esprits vers les perfectionnements des arts utiles à la société et dans laquelle la durée des études ne peut être augmentée, il faut de toute nécessité qu'après un demi-siècle de découvertes les programmes soient modifiés dans le sens où les sciences ont marché.

Coriolis n'hésite pas à se placer dans une perspective historique, cinquante ans après la création de l'École ou presque. Sa détermination est claire, comme le montre l'utilisation peu administrative de la locution *il faut de toute nécessité* – un peu plus loin il indique : « Nous espérons appuyer notre opinion de raisons qui ne laissent guère de doutes²¹⁴ ».



Coriolis va envisager la formation du polytechnicien dans sa globalité – depuis l'institution préparatoire jusqu'à l'École d'application, en passant bien évidemment par Polytechnique. C'est une vision intégrée de cette formation qu'il nous propose – ses contradicteurs n'en feront pas autant. Il se place notamment en fin connaisseur des enseignements et des élèves à Polytechnique et dans les écoles d'application :

À l'École polytechnique, on passe trop légèrement sur des théories essentielles et sur leurs principales applications, dans les écoles spéciales on est obligé de revenir sur des points scientifiques qui étant communs à tous les services alimentés par l'École devraient y être enseignés.

214. Cette phrase est mal tournée et traduit la difficulté qu'a Coriolis à oser affirmer clairement sa conviction – c'est presque un lapsus d'écriture. Il veut bien évidemment dire : « Nous appuyons notre opinion de raisons qui ne laisseront, nous l'espérons, guère de doutes (...) »

D'autre part, l'enseignement dans les écoles d'application n'est pas assez pratique (donc trop théorique lui aussi, par effet domino) :

(...) on dégagera ces écoles d'un supplément de mathématiques qui est repoussé par des élèves fatigués de ces considérations et dont le temps est devenu précieux pour l'enseignement de la pratique de leur état. On ne doit conserver dans les écoles d'application que les parties du calcul qui se rapportent à des questions toutes spéciales²¹⁵. Ainsi, on laisserait aux écoles du génie et de l'artillerie la balistique, les questions du défilement et du tracé des ouvrages militaires ; aux élèves des ponts et chaussées l'hydraulique des cours d'eau ; aux mines l'étude plus complète des machines d'épuisement, celle de l'aérage des mines (Étc.)

Ceci permettrait ainsi de faire remonter depuis les écoles d'applications vers l'École polytechnique certains enseignements intermédiaires, situés entre les mathématiques pures et les techniques appliquées (énoncées ci-dessus). Ce sont justement ces enseignements intermédiaires qu'a à cœur et que professe Coriolis, le théoricien de la mécanique appliquée :

En même temps, on ferait rentrer à l'École polytechnique la résistance des matériaux, tout ce qui a rapport aux frottements, à la stabilité des voûtes, on s'étendrait un peu plus sur le calcul de l'effet des machines à vapeur et de tous les moteurs.

Ces matières semblent indiscutablement communes aux différents types d'écoles rappelés par Coriolis (génie, artillerie, ponts et chaussées, mines,...). Notons aussi que Coriolis les voit comme dans la lignée des mathématiques, puisque plus haut il indique que l'enjeu est, en en soulageant les écoles d'applications, de les « dégager d'un supplément de mathématiques » peu goûté par les élèves :

Fatigués de mathématiques, ils négligent des théories qui ne leur paraissent pas nécessaires à leurs fonctions.

Est-ce Coriolis professeur aux ponts et à Centrale qui parle ici, qui n'aurait pas eu toute l'attention souhaitée à ses développements mathématiques de la part de ses élèves ? En tout état de cause, il « enfonce le clou » à propos des écoles d'application :

Ils s'y sont occupés encore de différentes théories mathématiques sur la résistance des matériaux, la stabilité des édifices, sur l'écoulement des fluides et, faute de temps, ils n'ont pas appris suffisamment toute la partie administrative du métier d'ingénieur, aussi, sont-ils souvent embarrassés dans un grand nombre de circonstances (...)

Si des ingénieurs ont fait quelquefois des fausses évaluations, cela tient en partie à ce qu'ils n'ont pas eu à l'École des ponts et chaussées assez de temps pour apprendre à bien dresser le devis estimatif d'un ouvrage.

215. On retrouve l'emploi, comme chez Comte, de l'épithète « spéciales » - on dirait aujourd'hui, peut-être, « spécialisées ». Comte, de son côté, vitupère contre les recherches « spéciales » des géomètres, qu'il oppose à la nécessité de diffusion d'une culture scientifique générale.

(...) Faute de temps, ils n'ont pas appris suffisamment toute la partie administrative du métier d'ingénieur, aussi, sont-ils souvent embarrassés dans un grand nombre de circonstances, où l'ignorance des formes les arrête pour traiter une question.

Coriolis se place aussi dans une perspective résolument historique en comparant la situation actuelle à celle qui prévalait lors de la création de l'École :

Quand on a institué l'École polytechnique, on n'avait pas fait, à beaucoup près, autant d'applications des mathématiques aux arts industriels : ainsi, on ne connaissait pas encore bien le calcul de l'effet des machines, la résistance des matériaux était peu étudiée.

Il devient donc nécessaire, selon Coriolis, de soulager les écoles d'application et de leur rendre le temps dont elles ont besoin, notamment pour l'étude d'autres techniques « spéciales » qui elles non plus n'existaient pas lors de la création de l'École, comme les chemins de fer ou l'exploitation des mines.

LES SOUTIENS APPORTÉS À CORIOLIS

On recense de nombreux soutiens écrits apportés à Coriolis, sous deux formes :

- Une dizaine de lettres, sans doute envoyées à Coriolis ès-qualités de directeur des études, figurant dans le dossier AEP.
- Un ouvrage publié en septembre 1840 par Guényveau, qui apporte son soutien en tant que représentant des écoles d'application (Mines en l'occurrence)

Les lettres reçues par Coriolis

Du point de vue chronologique, comme nous l'avons dit, la première réaction écrite date de septembre 1839, ce qui permet de dater le document de Coriolis – au moins une première version²¹⁶ – d'avant cette date. Elle provient d'un scientifique de poids, Arthur Morin, s'exprimant en tant que directeur d'une École d'application, celle de Metz :

Nous avons toujours éprouvé les inconvénients que vous signalez dans l'enseignement de l'École polytechnique, et bien des fois nous avons signalé d'être obligés d'enseigner à nos élèves des théories qui, si elles avaient été données à l'École polytechnique, nous auraient laissé la latitude de consacrer plus de temps aux questions d'applications, plus spécialement relatives aux fonctions qu'ils doivent remplir.

(...)

Il en serait du même du cours de construction dont le professeur est obligé de donner la théorie de la résistance des matériaux, celles de la poussée des voûtes et des terres, ce qui emplit un temps considérable et ne lui permet pas de s'étendre suffisamment sur l'application de ces mêmes théories.

216. Mentionnons que nous doutons fort que Coriolis ait fait une autre version de son document après l'avoir fait connaître à l'extérieur. Ce n'est guère d'usage, et ne correspond pas au caractère de Coriolis.

Morin donne aussi son avis sur un sujet qui le concerne moins, la répartition entre enseignement à Polytechnique et programme d'admission – mais c'est le polytechnicien qui parle avant tout : en effet, il s'interroge à plusieurs reprises sur la possibilité de trouver dans les institutions préparatoires des enseignants capables de professer le calcul différentiel et intégral. Autrement dit, faut-il réellement un Liouville pour s'initier aux rudiments du calcul intégral ? Pour Morin, comme pour Coriolis, la réponse est évidemment non :

Je pense comme vous qu'aujourd'hui que l'université a adopté dans l'enseignement de la géométrie les considérations des infiniment petits et que l'École normale fournit des professeurs distingués, il serait facile d'introduire dans les programmes d'admission les éléments de calcul différentiel et intégral, sans surcharger les élèves.

Morin approuve aussi l'idée de Coriolis d'introduire des enseignants des classes préparatoires dans le Conseil de perfectionnement de Polytechnique. C'est une approbation chaleureuse – sans doute la plus chaleureuse de celles qui sont restées – à laquelle se livre Morin. Même si, sur le plan scientifique, Morin était plus voisin de l'approche des machines par Poncelet que par Coriolis, il ne lui ménage pas son soutien sur un point d'enseignement qu'il estime important. En ce sens, même si Coriolis pouvait avoir des différends avec le «clan Poncelet», ils se limitaient au plan scientifique, jamais Poncelet et ses amis n'auraient pris une posture politique ou corporatiste, à la différence du «clan Arago».

Gustave Piobert, représentant lui aussi l'École de Metz, apporte lui aussi son soutien à Coriolis par lettre de janvier 1840²¹⁷, mais de manière moins inspirée et chaleureuse :

Il serait avantageux sous tous les rapports d'étendre les connaissances exigées pour l'admission, en demandant une partie du calcul différentiel et la dynamique.

Il est, en revanche, réticent sur le recul de la limite d'âge.

Une lettre assez détaillée, en date du 11 juin 1840, d'un certain Michelot, chef d'institution honoraire et ancien officier du génie, mérite qu'on s'y attarde. Il s'agit vraisemblablement d'un ancien élève de Polytechnique²¹⁸, qui a professé dans des institutions préparatoires :

J'ai profondément réfléchi sur ces modifications, et je déclare que mes réflexions, jointes à une expérience de 17 ans dans l'enseignement des mathématiques et dans la direction d'une École préparatoire, m'ont fait donner un assentiment complet aux propositions de Mr Coriolis.

Déjà les professeurs des collèges royaux ne se contentent pas d'enseigner l'exigé.

217. À cette date, Piobert n'est pas encore académicien, il ne le sera que deux mois plus tard. Morin, quant à lui, ne le sera qu'en 1843, prenant le siège de Coriolis en section de mécanique.

218. Il s'agit sans doute de Jean Charles Auguste Michelot (1792-1854, X1810), officier du Génie.

Comme Mr Coriolis je suis persuadé que dans les classes actuelles de mathématiques spéciales, on fait entrer une foule de questions de pure curiosité, qui ne profitent ni à la science ni à ses applications.

J'ai la conviction que le programme ainsi modifié écarterait du concours de l'École polytechnique une foule d'élèves médiocres, qui sont refusés deux ou trois fois, ou qui se font renvoyer de l'École à cause de leur incapacité.

Michelot apporte deux éléments complémentaires : 1°/ la réforme serait aussi utile pour les jeunes professeurs d'institution qui, «une fois leur grade obtenu, ne trouvent plus l'occasion de se servir des connaissances de mathématiques transcendantes qu'ils sont si péniblement acquises » 2°/ il serait utile de compléter la commission proposée «en y appelant les professeurs de mathématiques spéciales des collèges de Saint-Louis et de Louis-Le-Grand, qui ont une supériorité marquée dans l'enseignement des mathématiques ».

Une lettre assez tardive (janvier 1843) émane de Finck, de Strasbourg. On connaît ce polytechnicien, professeur de mathématiques en classe préparatoire, par ses articles dans le *Journal de mathématiques pures et appliquées*²¹⁹. La lettre est plus intéressée – Finck en profite pour se proposer comme examinateur d'admission à Polytechnique –, mais sa date tardive et son allusion aux oppositions rencontrées par Coriolis, montrent que le débat s'est étendu au moins sur quatre ans, de mi-1839 (date présumée du document de Coriolis) à mi-1843, peu avant la mort de Coriolis.

Je ne vois pas quels sont les raisonnements que vos antagonistes au Conseil peuvent vous opposer.

Au cas où le nouveau programme d'admission oblige certains examinateurs à se retirer (pense-t-il à Auguste Comte ?), Finck fait acte de candidature, en précisant qu'il a «introduit les infiniment petits rigoureux dans l'enseignement de la géométrie ». Comme Piobert, il s'oppose au recul de la limite d'âge, de manière plus argumentée :

Vous proposez dans votre note de reculer la limite d'âge, cette mesure ne me paraît nécessaire que si l'on persiste à exiger le diplôme de bachelier ès lettres, autrement, la limite actuelle suffit.

Sinon il en serait

comme de la mesure qui permet aux soldats de se présenter jusqu'à 25 ans, mesure que j'ai vu principalement tourner au bénéfice des paresseux.

Le livre de Guényveau en soutien de Coriolis

André Guényveau (X1802), inspecteur général adjoint du Corps royal des mines, va apporter son soutien à Coriolis dans une petite brochure qu'il publie en septembre 1840. Guényveau écrivait peu (hors cet écrit, on lui connaît un traité des machines, que Coriolis d'ailleurs cite dans son *Calcul*) : il est donc assez significatif qu'en tant que professeur de

219. Voir partie III, chapitre 11 du présent document, « La chaînette d'égle résistance » (p. 235-236).

minéralurgie à l'École des mines depuis 1822, il vient ainsi appuyer Coriolis, représentant, peut-être sollicité par ce dernier, le soutien des écoles d'application au projet.

Guényveau précise d'emblée que ses réflexions sont faites à partir d'une «NOTE communiquée officieusement par M. Coriolis (...), que son zèle a porté à chercher les moyens de perfectionner l'instruction» à l'École polytechnique, en la mettant mieux en rapport «avec l'instruction donnée dans les diverses écoles d'application, et pour les divers services publics auxquels l'École polytechnique fournit annuellement des sujets». C'est donc bien en représentant d'une École d'application et d'un Corps d'État que Guényveau soutient Coriolis. Nous allons analyser quelques points de son texte en ce sens qu'il apporte un éclairage complémentaire et plus explicite au texte de Coriolis rédigé comme un rapport administratif. Peut-être même Coriolis fait-il passer ainsi, par des discussions avec Guényveau, des idées qu'il ne pouvait pas formuler dans sa proposition administrative.

Guényveau commence par constater la nécessité générale d'une baisse de la durée des études : malgré l'augmentation des matières allant avec le progrès des sciences, l'impatience des jeunes générations et les besoins croissants des services publics et de l'industrie ne permettaient pas que l'on augmentât la durée des études à Polytechnique.

Concernant le programme d'admission, comme Coriolis il souhaite le densifier, notamment parce qu'avec un programme plus large «les examinateurs ont une plus grande possibilité de sonder les intelligences, en sortant de questions rebattues depuis bientôt un demi-siècle», et aussi parce qu'en se présentant deux à trois fois pour certains les candidats ressassent les mêmes notions de mathématiques élémentaires. C'est pourquoi le calcul différentiel et intégral – exposé par la méthode des infiniment petits – doit être requis au programme d'admission. Il préconise aussi la disparition des «matières libres» à l'admission, car elles compromettent l'égalité qui doit exister entre les candidats.

On notera au passage une idée rarement exposée à l'époque, selon laquelle les avis donnés dans leur carrière et en société par les ingénieurs et officiers polytechniciens «diminuent le nombre des victimes de ce charlatanisme effronté qui est la honte de notre siècle».

Concernant l'enseignement à l'École, il doit comprendre les ajouts à la théorie qui sont communs aux écoles d'application, car ces matières sont «actuellement enseignées dans chaque École d'application, de sorte que l'État fait 4 ou 5 fois la dépense». La définition de ces ajouts est importante, elle caractérise à notre sens la forte vision de Coriolis en la matière. Guényveau explique qu'il n'y a pas de contradiction à vouloir densifier à Polytechnique les applications des théories essentielles :

Il importe ici (...) d'entendre par applications des théories mathématiques celles que l'on fait des principes, des considérations et des formules mathématiques à des problèmes qui ont encore une grande généralité.

Ces applications constituent de véritables théories, et forment la base de différentes sciences et de différents arts.

De la même manière que la mécanique rationnelle, s'appliquant aux problèmes célestes, constitue la mécanique céleste, s'appliquant aux machines et aux moteurs elle vient à former la théorie des machines²²⁰. Ainsi, il faut ajouter au cours de mécanique rationnelle la résistance des solides, la poussée des terres, la stabilité des voûtes ; au cours de machines le calcul de l'effet des machines à vapeur, celui des roues hydrauliques, le calcul des frottements et des chocs. C'est pourquoi l'École devrait s'appeler « École de Théorie », par opposition à la notion d'« École d'application », nous dit Guényveau – mais on peut penser que Coriolis reprendrait à son compte cette appellation même s'il ne pouvait la mentionner dans sa note administrative.

Au passage, Guényveau regrette l'École qu'il a connue en 1802, celle de « Monge et des fondateurs », de « l'exécution d'une grande pensée », où selon lui existaient ces enseignements de mines, ponts et chaussées, fortifications, et qui permettaient à chaque élève de se faire une idée de la voie qu'il souhaitait choisir, et à l'État d'avoir ainsi des ingénieurs motivés dans leur domaine²²¹.

Un autre avantage, pour Coriolis cité par Guényveau, d'un enseignement de science théorique appliquée est

Que les élèves qui n'entreraient pas dans les services publics et ne suivraient pas d'École d'application, pourraient se rendre à leur sortie plus utiles à l'industrie, et justifieraient mieux la confiance que le public accorde au titre d'élève de l'École polytechnique.

Guényveau présente une des objections que Coriolis se faisait à lui-même (pour aussitôt l'écartier), la crainte

que les élèves n'étant plus initiés aux théories les plus approfondies des sciences mathématiques, la France ne perde ce centre d'études fortes qu'elle ne retrouverait pas ailleurs.

Mais cette objection serait fondée si certains points étaient supprimés de l'enseignement de l'École, ce qui n'est pas le cas dans la proposition de Coriolis.

Guényveau indique à ce propos la teneur de ce qui est sans doute une conversation avec Coriolis, à savoir que ces études mathématiques poussées « intéresseront tout au plus un élève sur 500 », et qu'il convient « de ne pas exténuier de travail les autres élèves, sans profit pour [leur] carrière ».

220. L'exemple n'est sans doute pas choisi au hasard, mettant au même niveau la mécanique céleste chère à Laplace, le réformateur de 1816 de l'École, et la théorie des machines.

221. La vision de Guényveau est intéressante (bien que la tendance des polytechniciens à vouloir revenir à l'enseignement qu'ils ont connu « de leur temps » est assez permanente à travers les âges) : à l'École des débuts, chaque élève pouvait évaluer son goût pour les diverses matières, et faire son choix de service en fin de scolarité. Mais les services d'État ne pouvant pas compter sur un flux régulier d'ingénieurs, le système a été abandonné en 1803 (promotion suivant celle de Guényveau) : chaque élève devait dire à l'entrée quel service l'intéressait, ainsi qu'un deuxième choix (Coriolis avait choisi les Ponts à son admission). Puis le système changea encore, et les élèves ne surent qu'à la sortie, en fonction de leur classement, dans quel service ils étaient affectés.

Finalement, la seule réserve que Guényveau indique dans son soutien à Coriolis porte sur la physique : il regrette que la proposition de Coriolis ne fasse toujours pas mention d'un examen d'admission portant aussi sur la physique, l'électricité notamment qui pour lui est fondamentale en minéralurgie, l'électromagnétisme et ses applications potentielles à de nouveaux moteurs.

Une réaction négative, celle d'Auguste Comte

Parmi les réactions écrites reçues par Coriolis, ou du moins celles qui nous sont parvenues, toutes sont positives sauf une, celle de Comte, datée du dimanche 17 mai 1840. Comte approuve du bout des lèvres une des mesures non déterminantes de Coriolis (« Je n'y crois devoir approuver que [l'addition au programme d'admission] relative aux 12 leçons d'analyse appliquée »), pour mieux rejeter l'ensemble de la proposition :

Mais la proposition principale, sur le renvoi aux études d'admission de la majeure partie du calcul infinitésimal, me paraît fort dangereuse, comme tendant à altérer profondément l'unité et la pureté de l'enseignement mathématique de l'École, dont la plus grande portion passerait dès lors entre des mains très inférieures, le plus souvent, à cette éminente attribution, et d'ailleurs trop multipliées pour être suffisamment cohérentes.

Cet argument – le style ampoulé en moins – pourrait être trouvé sous la plume de Liouville : c'est à nous, professeurs et répétiteurs d'analyse à Polytechnique, d'assurer de manière intégrale et cohérente l'enseignement de l'analyse différentielle aux élèves. Comte ressent comme Liouville le sentiment d'une perte de pouvoir dans les propositions de Coriolis – quand il s'agit de défendre des intérêts corporatistes, même les positions des ennemis irréductibles se rejoignent.

Par ailleurs, les propositions de Coriolis viennent à perturber la vision très rigide qu'avait Comte de la classification et de l'unité des sciences :

Le partage actuel a du moins l'avantage d'être spontanément conforme (...) à cette division nécessaire entre l'analyse ordinaire ou finie et l'analyse transcendante ou infinitésimale, qui me paraît devoir constituer, longtemps encore, un des principes des divisions de la science, dont elle rappelle directement l'une des grandes phases historiques.

Une fois de plus, on constate chez Comte la fâcheuse tendance à voir de manière rigide tout sujet à travers le prisme de sa philosophie et de sa classification des sciences.



Une question accessoire vient cependant à l'esprit : Comte, cette fois-ci en tant qu'examineur d'admission et non répétiteur d'analyse, maîtrisait-il suffisamment le calcul différentiel pour poser des problèmes y afférent à l'examen d'entrée ? Ou faisait-il partie de ces examinateurs qui, selon Finck, seraient forcés de démissionner si le calcul différentiel figurait à l'examen d'admission ?

Il conclut dans une rhétorique typiquement comtienne, en tout cas byzantine : si l'on doit augmenter la quantité d'enseignement à Polytechnique, «il faudrait à [s]on gré y porter franchement à trois ans la durée des études ». Justement, la proposition de Coriolis n'a pas pour conséquence d'augmenter la durée des études. Et, à propos de cette augmentation à trois ans de la durée des études jamais évoquée par Coriolis, Comte conclut de manière tout à fait conservatrice :

Au cas où cette modification serait jugée impraticable, on devrait se résigner essentiellement à maintenir le statu quo actuel, sauf quelques améliorations secondaires.

On ne manquera pas de noter qu'il est très curieux d'assister – pour une fois, puisqu'ils s'opposaient violemment par ailleurs – à une alliance objective entre le «clan Arago » et Auguste Comte, conjonction des conservatismes de tous bords s'opposant aux propositions de Coriolis. Mentionnons aussi un élément tactique de calendrier : la succession de Duhamel est ouverte, et il semblerait que Comte préfère s'allier les faveurs du clan Arago (qu'il sait sans doute opposé à cette réforme) que celles de Coriolis lui-même.

LES SUITES DONNÉES À CES PROPOSITIONS, DE 1840 À 1851.

Examinons la suite donnée aux propositions que Coriolis élabore dès 1839 à son arrivée. La première mention qu'on lit de ces projets dans sa correspondance privée se trouve dans la lettre du 10 juillet 1841 :

J'ai fait lithographier mon manuscrit où j'expose mes vues sur les changements à faire dans l'enseignement avant l'École et à l'École. Je suis soutenu par la majorité des membres de notre conseil de perfectionnement mais tant que j'aurai contre moi Mr Arago et Mr Liouville, les deux (je dirais presque mes deux) meneurs, je n'oserai rien faire.

Lors d'une séance du Conseil de perfectionnement du 28 octobre 1842, le sujet de l'augmentation des programmes d'admission est évoqué. Le Conseil entend

plusieurs explications relatives à la possibilité de transporter aux études préliminaires une partie des études qui se font à l'intérieur de l'École, et notamment sur les éléments de calcul différentiel et intégral, sur les surfaces du second degré et sur une partie de la dynamique substituée à la statique.

Le Conseil semble mettre en garde tous ceux qui auraient une quelconque velléité de changement : la possible exigibilité du baccalauréat à l'admission imposerait, selon le Conseil, la plus grande prudence à ceux qui prétendraient vouloir modifier les programmes d'admission. Si l'on réfléchit à cet argument du point de vue du clan Arago, on peut se dire que l'exigence d'un diplôme de bachelier et le renforcement du programme de mathématiques à l'admission – comme l'inscription de la physique à l'admission – étaient susceptibles d'aller dans le même sens, c'est-à-dire priver de l'École polytechnique les plus démunis, "ceux qui n'avaient pas de cabinet de physique chez eux",

ou ceux qui ne pouvaient pas s'offrir des leçons d'institutions de préparation à un examen d'admission renforcé. La figure fondatrice (ou mythique ?) de l'École était encore vivace, qui voulait que des jeunes gens issus de milieux modestes, faisant montre d'une certaine habileté dans les mathématiques élémentaires du concours d'admission, puissent être repérés par l'examineur d'entrée – par leurs connaissances mais aussi par leur manière de raisonner – comme étant très prometteurs et dignes d'entrer à l'École. Dans cette représentation, le rôle de l'examineur lui-même était plus important que le contenu des connaissances exigées.

Une commission du Conseil de perfectionnement est instituée pour cette révision du programme d'admission. Cette commission est élue par le Conseil et comprend 4 membres (Duhamel, Montferrand, Lamé, Poncelet) auxquels le bureau sera naturellement adjoint (comprenant le général, le commandant en second et le directeur des études). Coriolis va néanmoins « relayer la balle » auprès du Conseil d'instruction ; lors de sa séance du 9 novembre 1842, Coriolis explique que certains membres du Conseil de perfectionnement ont évoqué la modification éventuelle des programmes d'admission, et il indique :

Pour se rendre à ce vœu qui est aussi le sien, Mr le Directeur des études a pensé qu'il fallait d'abord demander des propositions au Conseil d'instruction.

Observation naïve des règles par Coriolis ou soumission trop forte de sa part au Conseil d'instruction, toujours est-il que le Conseil d'instruction de novembre 1842 ne va pas dans son sens :

Le Conseil d'instruction, après une discussion approfondie de cette proposition du Directeur des études, ne croit pas devoir l'adopter ; cette décision sera transmise au conseil de perfectionnement.

L'addition proposée au programme d'admission n'était pourtant pas si lourde, elle consistait principalement en la théorie des surfaces de 2^e ordre et en l'extension à la méthode des tangentes, « qui prépare davantage les candidats à l'étude de l'analyse », selon Coriolis.

Curieusement, le sujet est évoqué à nouveau au Conseil d'instruction suivant, le 16 décembre 1842, en des termes peu compréhensibles compte tenu de la chronologie des événements : peut-être y a-t-il eu une erreur dans la transcription des débats au Conseil d'instruction ? Ou Coriolis revient-il à la charge en présentant le sujet comme différent, de manière non vraisemblable ? Toujours est-il que le Conseil d'instruction ne s'y laisse pas prendre et réaffirme le *statu quo* :

Le Directeur des études, dans le but d'établir une compensation entre le temps des études qui précèdent l'admission et celui des cours de l'École, propose quelques augmentations ou modifications au programme. Le conseil, après une discussion assez prolongée, prend la résolution d'attendre qu'il soit interpellé de la part du Conseil de perfectionnement sur une question aussi importante.

Un renvoi de balle a lieu entre les deux Conseils, au détriment de l'avancement du sujet : le 13 janvier 1843, le dernier Conseil de perfectionnement auquel assistera Coriolis constate que le Conseil d'instruction s'est décidé par la négative à l'augmentation du programme d'admission, et décide qu'il se joint à lui « pour ajourner toute modification ». Coriolis est plus précis quand il évoque cette décision du Conseil de perfectionnement :

J'ai bien été battu comme je m'y attendais Liouville et Mr Thénard ont beaucoup parlé contre toute augmentation au programme d'admission et le conseil a décidé qu'il n'y serait fait aucun changement. Il n'y a eu qu'une minorité de 5 ou 6 voix pour ma proposition [lettre du 25 janvier 1843]

Après cette bataille de janvier 1843, il se résigne :

J'ai bien plus de tranquillité d'esprit depuis que l'affaire du programme est décidée. Je n'ai plus à penser à aucun changement ultérieur et en vérité je suis presque content de ma défaite.

Il semble que ce sujet, qui aura occupé au moins trois ans et demi pour Coriolis (de l'été 1839 au début 1843) soit définitivement classé pour lui à la suite de ce Conseil de janvier. Coriolis n'aura pas l'occasion d'y revenir puisqu'il meurt huit mois après ce Conseil de perfectionnement, en septembre 1843.

Néanmoins, Coriolis va être cité sur ce sujet après sa mort, certains attribuant sa disparition à l'échec de sa réforme.

La bataille Arago – Libri par presse interposée (1844)

Coriolis – ou plutôt sa mort prématurée – va être utilisé dans un débat violent entre Libri et Arago à propos du fonctionnement de l'École polytechnique depuis 1820.

En première page du journal conservateur *Le Constitutionnel* du 21 août 1844, quelques mois après la mort de Coriolis, on peut lire un article – généralement attribué à Libri – qui attaque violemment Arago, dont l'influence néfaste se ferait sentir à Polytechnique depuis les années 1820. Le prétexte à cet article est le licenciement collectif de l'École suite à un acte d'insubordination – les élèves s'étaient opposés au maintien, même provisoire, de Duhamel comme examinateur de sortie alors qu'il venait d'être nommé directeur des études (en remplacement de Coriolis), ce qui conduisait aux yeux des élèves à un mélange des genres. Cet article émet clairement l'idée d'une influence politique libérale dans les nominations à Polytechnique. Les mânes de Coriolis sont invoqués dans cet article, à l'appui de la thèse de l'auteur :

Ces faits, que le gouvernement connaissait, et qu'il a eu le tort grave de négliger pendant long-temps, des symptômes d'insubordination renouvelés à plusieurs reprises, quelques manifestations d'une nature toute particulière, et dont les journaux ont parlé, portèrent enfin le ministère à vouloir soustraire l'École Polytechnique au joug qui paraissait l'opprimer. La mort de M. Coriolis, directeur des études, qui ne cessait de dire à ses amis qu'il avait détruit sa santé en essayant de lutter contre des exigences sans bornes, parut offrir une occasion favorable pour examiner l'état de l'École Polytechnique, et l'on assure qu'il fut sérieusement question de former une commission à cet effet. Mais M. le ministre de

Il semble en tout état de cause que la mort de Coriolis ait frappé les esprits, au point que certains comme Libri s'en emparent pour développer leur thèse. Arago, directement visé par cet article, réplique longuement (sur près de soixante pages dans ses *Œuvres complètes*) à cet article anonyme ainsi qu'à deux articles analogues paru dans *La Revue de Paris* concomitamment, les 20 et 22 août²²². Le passage sur Coriolis ne lui avait pas échappé, et il y répond comme suit peu après dans *Le Constitutionnel* :

Si l'on s'en rapportait à l'article du Constitutionnel, M. Coriolis, ancien directeur des études, disait à ses amis « qu'il avait détruit sa santé en essayant de lutter contre des exigences sans bornes ». De quelle nature étaient donc ces exigences ? Placer ce mot vague immédiatement à la suite d'un paragraphe consacré à signaler les prétendues préoccupations radicales des professeurs et des élèves, c'était faire supposer que M. Coriolis mourut en combattant des passions politiques. Je n'hésite pas à le dire, la calomnie ouverte est moins odieuse encore que la calomnie par insinuation.

Arago va esquisser une autre explication – c'est un effet de manche destiné à étoffer sa défense *pro domo*, il ne fait jamais qu'utiliser Coriolis décédé au profit de son argumentation – il est toujours déplaisant de faire parler les morts, mais Arago comme son contradicteur Libri le font sans vergogne. Voici l'explication qu'Arago avance :

(...) j'affirme catégoriquement qu'aucun débat ayant trait à la politique ne s'est jamais élevé entre M. Coriolis et les professeurs de l'école. M. Coriolis croyait à la nécessité de modifier le programme d'admission. Il voulait exiger des candidats les calculs différentiel et intégral, la dynamique d'un point matériel, etc. Les théories qu'on aurait ainsi reportées sur les études des collèges forment aujourd'hui à l'École polytechnique l'objet de soixante-douze leçons. A tort ou à raison, ce système ne prévalut pas. M. Coriolis, déjà atteint d'une maladie incurable, s'afecta de cet échec beaucoup plus, peut-être, que le sujet ne le comportait ; mais il a certainement fallu ou la plus complète ignorance des faits, ou une noire méchanceté, pour essayer de transformer un pareil débat en querelle de parti.

222. Ces deux articles sont plus lapidaires. Celui du 20 août 1844 est une brève qui mentionne l'intervention «d'un membre de l'Académie des Sciences » qui aurait conseillé aux élèves, disposés à rentrer en caserts, d'attendre encore un peu. Celui du 22 août 1844 est un peu plus long, mentionnant l'accueil glacial qu'aurait fait l'Académie à l'évocation de ce sujet par Arago en séance : « Après M. Arago, M. Thénard a pris la parole pour faire remarquer que l'Académie ne pouvait nullement s'occuper d'une telle affaire ».

Coriolis avait raison trop tôt – ou trop tard ?

Les propositions de Coriolis venaient clairement à contre-courant de la tendance régnant à l'École depuis le début de la décennie, à savoir la mainmise d'Arago. À cet égard, Belhoste indique que le corps enseignant ne se renouvelle que très peu : c'est sans doute exact jusqu'en 1835, mais justement le renouvellement est important à partir de cette date, avec l'arrivée de Liouville, de Sturm, de Lamé. Et, pis, le renouvellement va clairement dans le sens d'un renforcement des mathématiques académiques, à l'inverse de ce que propose Coriolis.

Coriolis a raison trop tôt : ses idées seront reprises par la commission Le Verrier en 1850. L'ennemi juré d'Arago, devenu homme politique lui aussi, s'inspirera des idées de Coriolis.

Mais, surtout, Coriolis a raison trop tard. La réforme de 1850 ne permettra pas le retour à une « École de Monge ». Engagée trop tard, elle ne fera qu'accompagner le déclin scientifique de l'École. Par ailleurs, il était assez logique que Liouville cherchât à se rapprocher d'un enseignement universitaire. Prise entre d'une part le développement des techniques et la montée en puissance des écoles d'application qui en résultait, et d'autre part la montée en puissance de l'enseignement scientifique universitaire, auquel contribuaient certains de ses professeurs (Poisson, Sturm, puis Liouville), l'École polytechnique peinait à trouver ses marques. Ce projet avorté de Coriolis signait, là aussi, la fin de l'âge d'or de l'École, et la deuxième mort du projet de Monge, celui porté par un ancien élève, Coriolis, qui justement avait été formé à cette école de Monge.

Chapitre 15. La fin de Coriolis

Dès 1838, date de sa nomination, la vie semble avoir été pénible pour Coriolis. La correspondance avec sa cousine Benoist l'atteste ; nous modulerons toutefois cela par deux éléments. D'abord, nous ne disposons de cette correspondance qu'à partir de mars 1840 – nous ne savons pas si Coriolis se plaint de son poste en 1839 par exemple, mais on peut le penser. D'autre part, nous avons déjà souligné la propension de Coriolis à se plaindre ; aussi la correspondance n'est peut-être pas totalement fiable – on peut à cet égard distinguer trois niveaux d'analyse : 1°/ la réalité des faits (par exemple l'efficacité de Coriolis dans ce poste de directeur des études), 2°/ ce que Coriolis percevait, 3°/ et enfin la façon dont il relate cela à sa cousine. Seul le troisième nous est accessible, aussi avons-nous décidé de l'utiliser²²³ – même si la litanie des plaintes ou des hésitations (Coriolis veut prendre sa retraite car il est las de ce poste, tout en tergiversant pour déposer sa demande) est susceptible de lasser le lecteur.

À cet égard, nous avons dégagé au moins trois sujets d'insatisfaction chronique chez Coriolis pendant cette période :

1°/ le fait de ne plus pouvoir « faire de science ». Même si cet élément revient de manière moins lancinante que les autres, il nous a semblé que c'était une cause très profonde d'insatisfaction – Coriolis veut continuer à faire de la science, et n'est pas fait pour ce poste de responsabilités.

2°/ les relations avec Liouville, et à travers elles les pressions exercées sur le fonctionnement de Polytechnique par le « clan Arago ». Nous en avons eu un exemple avec les nominations de professeurs et l'échec des propositions de réforme de l'enseignement à Polytechnique.

3°/ les relations avec le général Gauldrée-Boilleau commandant l'École – on peut dater ce sujet d'insatisfaction, puisque cet officier prend son commandement en octobre 1840 – deux ans après la prise de fonctions de Coriolis. Ses relations avec les précédents généraux avaient été bonnes : il jouait au billard avec Tholosé, et Vaillant était un de ses camarades de promotion²²⁴ – mais il se plaint de la faiblesse et de l'indécision de ce troisième commandant.



Cette profonde insatisfaction va se traduire par un désir lancinant de Coriolis (au moins dans sa correspondance) de prendre sa retraite – par exemple pour se consacrer à

223. Nous avons trouvé dans la correspondance à Mme Benoist des éléments historiographiques fort intéressants sur les relations entre Coriolis et ses collègues – développées dans les chapitres précédents de cette partie –, aussi continuons-nous à l'utiliser, même si ce que nous en utiliserons touche Coriolis de plus près.

224. Sur les relations entre Vaillant (X1807) et Coriolis, on peut lire dans [NPR-AAS] que Coriolis « vit avec plaisir confier le commandement [de l'École] à un général qui y avait été son condisciple, et qu'allait s'installer entre eux une confiance sans réserve, « comme celle qui résulte d'une connaissance contractée dans les années de jeunesse ».

nouveau à la science –, balancé par des hésitations permanentes à demander effectivement sa retraite.

Enfin, sa santé, qui revient de manière permanente dans sa correspondance, même en 1817, semble décliner à partir du printemps 1843, après un léger mieux en début d'année. Il est très difficile de savoir quelle maladie emporte Coriolis – peut-être la tuberculose²²⁵.

NE PLUS FAIRE DE SCIENCE

Coriolis se plaint à plusieurs reprises que, depuis sa nomination comme directeur des études, il ne peut plus faire de science ni écrire d'articles comme il le voudrait. Il convient de faire la part des choses entre les plaintes permanentes de Coriolis dans sa correspondance – disons qu'entre ce qu'il écrit à sa cousine, ce qu'il ressent lui-même et enfin la réalité des choses, il peut y avoir quelques distorsions. Mais le fait qu'il ne puisse plus écrire ou faire de la science comme il l'entendrait revient souvent et semble correspondre à une réalité effective qui lui pèse.

De fait, conservant une activité scientifique, Coriolis travaille sur son futur *Traité de mécanique*, qu'il mentionne à plusieurs reprises pendant cette période, toujours pour se plaindre de n'y pouvoir travailler :

Depuis que je suis à l'École je n'ai pas écrit deux pages de mon ouvrage sur les machines. Voilà trois ans que j'ai cessé de travailler et je doute que je ne puisse jamais reprendre un travail soutenu. [lettre du 22 mars 1840]

On voit toutefois que dix-huit mois plus tard, le travail sur cet ouvrage a avancé :

Si je n'étais pas à l'école et dérangé sans cesse sans pouvoir travailler je publierai aussi la 1^e partie de ma mécanique qui est écrite et recopiée. C'est le tiers de tout l'ouvrage mais qui peut se vendre à part. Je n'ai pas pour 10 heures d'ouvrage à y donner pour pouvoir commencer l'impression et depuis six mois je suis encore à trouver ces 10 heures de travail. [lettre du 26 août 1841]

Depuis six mois je n'ai pas écrit une seule page qui ait trait à la science. J'ai deux pages à faire sur un sujet assez facile pour compléter un ancien travail que je voudrais faire imprimer comme 1^{re} partie d'un traité de mécanique dont sûrement je ne ferai jamais le texte. Eh bien je n'ai pas écrit ces deux pages. Je ne puis assujettir mon esprit à la moindre application sans ressentir (ill.) [4 octobre 1841]

Je vais vous donner une idée de ma paresse, au milieu de ces tracasseries d'école. J'ai commencé à donner à l'impression mon ouvrage de mécanique ; voilà trois semaines que j'ai sur mon bureau des épreuves des 4 premières feuilles, c'est l'affaire de 5 ou 6 heures de les corriger, cependant elles ne le

225. Ce d'autant que cette maladie multiforme était mal connue à l'époque, et à peine nommée. L'hypothèse du décès de Coriolis par cette maladie, plausible, est avancée par M. Jean de Coriolis : il aurait contacté une primo-infection dans sa jeunesse (lors de son étude avec Prony en 1812), qui aurait été réactivée en 1837 – Coriolis parle alors d'une « maladie de poitrine ».

sont pas : décidément je ne ferai plus rien tant que je resterai à l'école. [lettre du 1^{er} janvier 1842]

Je corrige un peu mon ouvrage de mécanique, mais je vais bien lentement ; ma pauvre tête est si faible ! [lettre du 10 mars 1842]

Lorsqu'il fait des plans pour sa retraite, Coriolis indique : « Je finirai tranquillement mon ouvrage de mécanique, cela allongera un peu ma vie ». Jacques Binet nous confirme, dans son discours d'hommage le 20 septembre 1843, que cet ouvrage « n'a cessé d'occuper M. Coriolis et, dans ces derniers temps, il en préparait une seconde édition ».

Cette éventuelle seconde édition est aussi, pour Coriolis, une opportunité de rentrée financière : il cite son beau-frère Pécelet qui vend la seconde édition de son *Traité de la chaleur* « 12 000 F pour 1500 exemplaires en deux-trois années ». Coriolis ne réussira pas à publier de son vivant son *Traité* – celui-ci sera publié l'année suivant sa mort, sous la supervision de Bélanger.

Nous voyons dans ces regrets permanents de ne plus pouvoir faire de science à sa guise l'attachement profond et viscéral de Coriolis à la pratique de la science, qui passe pour lui avant toute chose – nous avons déjà émis cette hypothèse dans la partie des "Années de jeunesse", où il n'a de cesse de trouver un poste à caractère scientifique – il rejoint à ce moment l'École polytechnique comme répétiteur, en 1817.

LES RELATIONS AVEC JOSEPH LIOUVILLE

On peut dire que Liouville devient progressivement la bête noire de Coriolis. De 1832 (date à laquelle Liouville devient répétiteur à Polytechnique) à 1836, les relations paraissent cordiales : on a vu que Coriolis est un des premiers auteurs du *JMPA* en 1836. En mars 1840, dans la galerie de portraits qu'il dresse pour sa cousine, le jugement quoique strict est encore bienveillant, voire admiratif sur les capacités mathématiques de Liouville – et mettant ses défauts sur le compte de la jeunesse :

Mr Liouville st un petit homme²²⁶ de 30 ans, vif, pétulant, se montant facilement la tête, aimant la contradiction pour le plaisir de la discussion. Il est rare qu'on propose quelque chose au conseil qu'il ne fasse de difficultés et n'ait une proposition différente à faire. Le général l'appelait en plaisantant avec moi le petit rageur. Cette petite tête chaude est dans le parti radical et prend assez l'impulsion de Mr Arago. Du reste il a une grande facilité pour les mathématiques. Il lui vient des idées originales, il les suit bien et il peut produire de bons travaux : après la mort de Mr Poisson ce sera le membre de l'académie qui connaîtra le mieux tous les ouvrages de mathématiques. Mr Cauchy, plus fort que lui, ne lit que très peu, tandis que Liouville se tient au courant. Il y a chez Liouville l'exaltation de la jeunesse pour tout ce qui sent l'indépendance. [lettre du 24 mars 1840]

226. La fiche d'admission de Liouville à Polytechnique fait état d'une taille de 1m52 – celle de Coriolis indique 1m66.

Toutefois, début 1842, les relations semblent s'être fortement dégradées – elles sont carrément mauvaises en 1843 :

À cette occasion, M. Liouville m'a violemment attaqué comme me mêlant de trop de détails et sortant de mes attributions (...) Ces attaques m'affligent (...) [lettre du 27 février 1842]

Nous avons un conseil de perfectionnement dans un dizaine de jours : c'est là que nous aurons à contenir encore une attaque de Mr Liouville²²⁷. [lettre du 6 janvier 1843]

J'ai revu, depuis le conseil, Mr Liouville ; il ne me fait pas la mine mais ni lui ni son ami à qui je m'étais bien ouvert n'ont exprimé de regrets ni rien dit pour me détourner de me retirer. Mr Sturm franc homme, un peu sous la dépendance de Liouville, semble croire qu'il y a chez lui envie de me remplacer ou de mettre un de ses amis à ma place.

Mr Liouville nous a encore fait de l'opposition à Mr Charlet²²⁸ et à moi. Je n'ai pas la force de soutenir la lutte contre la véhémence de Liouville et c'est là un des principaux motifs qui me font penser toujours à ma retraite. [lettre du 26 mars 1843]

Liouville ne me montre pas les égards que je suis en droit d'attendre. [lettre du 21 mai 1843]

On notera là la désignation directe par le nom de famille (et non l'habituel « Mr Liouville »), très rare chez Coriolis, assez significatif de l'état des relations entre les deux hommes à ce moment-là.



Coriolis n'aime pas avoir d'ennemis, n'aime pas ne pas être aimé – il ne comprend pas pourquoi Liouville s'acharne contre lui ; cela n'entre ni dans son éducation ni dans son caractère. Il ne rend pas œil pour œil et dent pour dent, mais ne se drape pas non plus dans une dignité outragée. Il cherchera constamment à comprendre cette hostilité de Liouville – sans vouloir réaliser qu'elle est fondée sur des considérations doctrinaires voire politiques qui dépassent la personne de Coriolis. Il cherchera même à effacer cette hostilité, à comprendre ce que Liouville lui reproche, voire même à se rapprocher de lui :

Je donnerais beaucoup pour savoir s'il désire oui ou non que je quitte l'École, mais cela est difficile à demander de quelque manière qu'on s'y prend. (...) Je vais employer une quinzaine à tâcher de savoir ce que désire Liouville : car il m'est trop possible d'assister à un conseil devant une personne qui ne voudrait plus m'avoir (...) [lettre du 25 janvier 1843]

M. Liouville s'est trouvé à une noce d'un neveu de M. Desnoyers. Il y a eu conversation entre eux à mon sujet. Si j'en crois ce dernier, M. Liouville lui aurait témoigné un désir de rapprochement ; il lui aurait dit que son opposition était plus dans la forme que dans le fond, qu'il n'avait aucune animosité contre moi, mais qu'il était dans l'habitude de contredire avec vivacité. Qu'il croyait

227. Coriolis fait ici allusion au Conseil de perfectionnement du 16 janvier 1843 où seront examinées les propositions du directeur des études pour la réforme du programme d'admission ; propositions qui seront combattues par Liouville qui emportera la décision du Conseil.

228. Charlet, professeur de dessin depuis 1839 – il mourra en 1845 (source Belhoste [2003]).

devoir combattre ma propension à céder à des considérations de [commisération ?] et mon penchant à une trop grande bonté. [lettre du 21 mai 1843²²⁹]

L'écart semble intrinsèquement irréductible entre Coriolis et Liouville : leur seul point commun est d'être polytechniciens du Corps des ponts. Tout les sépare, que ce soit leur origine sociale, leur caractère, leur vision et leur pratique de la science.

LES RELATIONS AVEC LE DIRECTEUR GÉNÉRAL GAULDRÉE-BOILLEAU.

Coriolis manifeste peu d'estime envers celui qui dirigera l'École à partir de septembre 1840, Gauldrée-Boilleau. À l'inverse, ses relations avec les précédents commandants étaient bonnes. On a vu qu'il jouait au billard avec Tholosé, et on peut lire à propos de Vaillant :

Le général au moins cherche à adoucir les tribulations de ma position il m'appuiera pour ce que je voudrai. C'est au moins une compensation. [lettre du 21 mars 1840]

Enfin maintenant je suis si bien avec notre général, et il a l'air si désireux de me garder que cela me retient un peu. [lettre de septembre 1840]

L'arrivée à ce moment de Gauldrée-Boilleau marque un changement net : Coriolis n'aura que peu d'estime pour son supérieur hiérarchique. Soit que ce manque d'estime n'est qu'un dérivatif de sa profonde lassitude, soit qu'il correspond à une réalité qui l'affecte, Coriolis se plaint à répétition de ses relations avec le directeur général :

Le général Boilleau a moins de tête que le général Vaillant [lettre du 14 novembre 1840]

Le général Jean-Baptiste-Charles Gauldrée Boilleau

Il est né le 9 novembre 1782 à Saint-Omer (Pas de Calais) et mort le 4 octobre 1852 à Paris. Ancien élève de l'École polytechnique (X1802) et de l'École d'artillerie de Metz, officier, il a été de toutes les campagnes napoléoniennes jusqu'aux Cent-Jours, pendant lesquels il défend le siège de Givet (Ardennes) et fait tirer le 10 septembre 1815 « les derniers coups de canon des guerres de la Révolution et de l'Empire ».

La Monarchie ne semble pas lui tenir rigueur de cet engagement, puisqu'il commande au 8^e régiment d'artillerie de 1816 à 1828, est affecté à la direction de l'Artillerie à Paris en 1830 ; il est nommé maréchal de camp en 1835, commandant l'artillerie à Lyon en 1837, directeur général de Polytechnique en 1840. Nommé lieutenant-général en 1844 (à ce grade il ne pouvait rester à l'École), il terminera sa carrière militaire comme Inspecteur général de l'Artillerie.

229. Dans cette même lettre du 21 mai, Coriolis exprime plus haut « Liouville ne me montre pas les égards que je suis en droit d'attendre ».

On peut lire à l'occasion « Je suis toujours très content de notre général ; jamais je n'aurai de désagrément ici par son fait ». [lettre du 6 décembre 1840], témoignant peut-être d'un état de grâce passager deux mois après l'arrivée du nouveau général. Mais les plaintes apparaissent l'année suivante :

Notre général me paraît toujours un peu sans cervelle, il juge tout avec légèreté et sans voir de difficulté à rien. J'aimais bien mieux le général Vaillant. [lettre du 10 juillet 1841]

Notre général a si peu de tête et laisse aller (si fort ?) la discipline que cela me dégoûte un peu [lettre du 9 août 1841]

Je ne sais pas si nous garderons notre général, on dit qu'il sera bientôt nommé lieutenant général ce grade lui interdit de rester. Dans l'incertitude de ce que sera un autre chef, cela m'est assez indifférent mais j'avoue que si on pouvait nommer ici un homme de tête je désirerais un changement. Il est difficile d'en avoir moins que notre pauvre général. Je suis encore un aigle auprès de lui, et cependant je sens combien j'en manque souvent. Le général dit, se dédit, affirme et nie, refuse, accorde, tout cela dans une même journée ; c'est quelquefois incroyable. Du reste son humeur est douce, et la politesse ne manque jamais chez lui. [lettre du 1^{er} janvier 1842]

La faiblesse et le peu de suite dans les idées me frappent trop chez le général pour que je ne craigne pas de tomber dans les mêmes défauts. Ce général est encore une cause de dégoût pour moi. Il ne comprend rien, en fait à sa tête sans réflexion et nous jette dans l'embarras à tout moment [lettre du 27 février 1842]

Car il est rare que je sois de l'avis du général. C'est lui qui en définitive est la cause de tout le trouble que nous avons ici. Sans lui je n'aurais pas une aussi grande envie de mutation. [lettre du 16 avril 1842]

Notre général est toujours le même homme, sans à plomb, il a si peu de méditation, il va si vite, se portant sur la 1^o idée qui lui vient que je me laisse aller souvent à la boisson (à le bourrer ?).. Il n'est pas sans s'en apercevoir et je suis sûr que quoiqu'il ait toujours de douces paroles pour moi, il ne m'a pas en grande affection ; il voudrait me voir loin d'ici. Voilà le monde, nous nous traitons avec des paroles douces et nous voudrions nous voir l'un et l'autre hors de l'École. Mais je ne puis non plus penser qu'il convienne comme commandant de cette École. Je lui permets de penser de son côté que je ne conviens pas non plus à mon poste car c'est ce que je pense. [lettre du 18 août 1842]

Nous sommes toujours ici à faire les mauvaises langues contre notre général. Il est difficile de ne pas causer de son chef quand il a une sottise confiance dans les idées en l'air, qu'il ne consulte personne, et croit qu'il n'y a que lui qui voie bien [lettre du 4 au 13 novembre 1842]

(...) vendredi il a fait le malade, c'est le colonel qui a présidé. C'est toujours un bien pauvre homme que ce général. Il est aussi faible que moi, mais il a l'intelligence de moins, il ne se donne pas la peine de comprendre une question, ou il ne peut pas ; je ne sais lequel. [lettre du 18 décembre 1842]

Notre général n'a pas été nommé directeur général comme il l'espérait. C'est M. de Laplace qui est promu. Je ne sais si alors il ne va pas nous rester encore longtemps. Je ne l'aime pas ici à cause de

son peu de tête et de son peu de franchise ; on ne peut guère se fier à ce qu'il dit. Ensuite il ne préside aucun conseil il fléchit devant toute volonté forte, ne saurait rappeler personne aux convenances dans l'occasion ; de sorte que nos conseils où il y a des têtes vives sont quelquefois désagréables. [lettre du 9 au 14 avril 1843]



Par surcroît, ce général, dont le fils est à l'École, veut faire profiter celui-ci de mesures de faveur, ce qui indispose les autres élèves et choque le sens de la droiture de Coriolis :

C'est une marque de peu de jugement d'être venu commander l'École avec l'intention d'y mettre son fils et d'être venu pour cela [lettre du 26 août 1841]

Fin 1841, le général demande à Coriolis de faire retirer de la classe de son fils deux élèves par trop turbulents, Coriolis n'en retire qu'un :

Il est très contrarié de cela. Il avoue maintenant qu'il m'a fait avoir la nouvelle salle que pour retirer deux élèves dans la salle de son fils. J'avoue que cet intérêt particulier me blesse tellement que je ne me suis pas soucié d'avoir l'air de tremper là-dedans.

Il est à craindre que le général n'ait grande rancune car il ne vit et n'agit que suivant l'avantage des siens ; l'École, c'est son fils. Le colonel fait bien différemment ; il a aussi son fils ici et il ne m'a pas parlé, jamais il n'a songé à ce que l'on fit quelque chose dans son intérêt : voilà comment on doit agir.[lettre du 1^{er} janvier 1842]

Bien évidemment, Coriolis ne veut pas ternir sa réputation auprès des élèves en ayant l'air de favoriser le fils du général : c'est pourquoi il indique ne pas vouloir « tremper là-dedans ». Néanmoins, dix-huit mois plus tard, ce sont les élèves eux-mêmes qui interpellent Coriolis à propos du fils du général :

Les élèves se sont plaints à moi de ce que le général faisait donner à son fils des leçons particulières chez lui pendant les récréations et par les répétiteurs chargés de l'examiner : cette plainte m'a paru fondée. J'ai dit au général que ce qu'il faisait ne me paraissait pas convenable. Il m'a promis de cesser : cela ne nous rapproche pas. Il me fait politesse, mais il n'est pas content. [lettre du 2 au 8 mai 1843]

LA RETRAITE ESPÉRÉE

Le poids de sa fonction se voit aussi à travers les nombreuses évocations qu'il fait de sa possible demande de retraite. Jusqu'à la fin, ses hésitations seront permanentes sur ce sujet, qui revient de manière lancinante. À ceci s'associe son idée qu'il n'est pas suffisamment compétent pour le poste qu'il tient.

Cependant si aucune amélioration ne se manifeste dans cette santé, il faudra bien finir par prendre ma retraite. Pour en jouir d'après mon traitement de l'École il ne faut plus que 18 mois d'exercice. [lettre du 22 mars 1840]

Je suis toujours bien faible pour rester à la tête de cette École et mes idées de retraite ne se dissipent pas [billet du 23 octobre 1840]

Votre lettre me fait différer encore mon projet de retraite [lettre du 9 août 1841]

L'affaiblissement encore plus grand où je suis depuis quinze jours me fait bien désirer ma retraite [lettre du 9 août 1841]

Décidément je ne ferai plus rien tant que je resterai à l'École. Aussi j'entretiens toujours la pensée de m'en retirer l'été prochain. J'aurai mes 30 ans de service et au moins je finirai ma vie dans le calme [lettre du 1^{er} janvier 1842]

Ces retours de mauvaise santé entretiennent mon envie de me retirer bientôt (...) Au mois de juin prochain, j'aurai 30 ans de service et je pourrai finir ma vie en repos. [lettre du 10 au 27 février 1842]

De fait, Coriolis avait démarré son service du corps des Ponts en 1812 – cependant on peut s'étonner de sa singularité par rapport à ses collègues : nombreux ingénieurs du corps des Ponts ou des Mines poursuivaient leur carrière professionnelle, même après leurs trente ans de service.

Si ce voyage [voyage projeté à Nancy en mai 1842] me réussit et que comme j'y compte je puisse faire régler ma retraite à mon retour, ... Si je quitte l'école je vous enverrai quelques cadres de paysages pour décorer vos chambres, j'en ai assez pour cela [lettre du 1^{er} avril 1842]

J'ai toujours désir de me retirer. Cependant je veux encore voir Mr Arago auparavant [...]

Mr Arago m'a un peu inquiété au sujet de ma pension. Il m'a engagé à consulter son beau-frère Mathieu (notre examinateur dans l'École). Comme député il a été de la commission qui a examiné le projet de loi sur les pensions. On prétend que la Chambre pourrait rendre un loi qui retoucherait aux droits acquis ; cela me paraît difficile ; le projet ministériel s'en garde bien. Il y aurait là pourtant quelque chose qui pourrait faire qu'il serait prudent d'attendre la loi : mais quand sera-t-elle rendue ? On n'en sait rien. [lettre du 24 avril 1842]

Je continue de me trouver en disposition de prendre ma retraite [lettre du 23 mai 1842]

[rappelé de son voyage personnel à Nancy par le général pour cause d'indiscipline des élèves] *Aussi cela me décide à demander ma retraite à mon retour pour en jouir le plus tôt possible* [lettre du 29 mai 1842]

J'avais été pour voir Mr Arago je ne l'ai pas trouvé mais j'ai vu Mr Mathieu son beau-frère, il m'engage à rester et pense que Mr Arago m'engagera à rester aussi. Mais cela ne m'ôte pas le désir de quitter. Ces messieurs redoutent le tracas que leur donnerait un remplaçant à nommer. [lettre du 14 juin 1842]

[à propos du médecin des Fourcy, Mr Baron] *Il ne sait trop que me dire sur ma retraite. Il y a du pour et du contre. Il craint que je travaille trop mais aussi il sait tout le bien que je tirerais d'un long séjour hors de Paris et sans tracas. Ainsi de ce côté comme de tout autre, je ne trouve pas une impulsion suffisante ; c'est encore Mr Andral qui s'est le plus prononcé* [lettre du 9 juillet 1842]

(...) je voudrais quitter l'École en mai. Il me semble que je pourrais quitter l'École du 20 mai au 1^{er} juillet et alors mon remplaçant n'entrant qu'en juillet, je pourrai voyager en juin [lettre du 15 au 21 septembre 1842]

(...) au mois de mai. Car je suis toujours dans la résolution de quitter l'École à cette époque [lettre du 4 au 13 novembre 1842]

(...) car si l'on me faisait des difficultés je ne partirais pas. À moins de cela, j'ai toujours l'intention de me retirer au printemps. [lettre du 21 novembre 1842]

Ces tracasseries sont bien propres à me confirmer dans mon désir de retraite, non pour moi seulement mais pour l'École car, je le sens, je n'ai pas la force nécessaire pour bien diriger tous ces débats et pour mener à fin une affaire. Je vais donc demander ma retraite pour le mois de juillet. Partant le 1^{er} juillet je pense pouvoir demander un congé sur la fin de mai pendant qu'on procède ici dans le conseil d'instruction et à l'académie à la présentation de mon successeur. Je partirais pour Nancy vers le 20 mai et à mon retour je ne rentrerais plus à l'école [lettre du 18 décembre 1842]

Les hésitations reprennent début 1843 à la faveur d'une amélioration de son état de santé :

Si cette amélioration [de santé] continue, je verrai si je reprends des forces : cela arrivant, je balancerai peut-être davantage pour envoyer ma demande de retraite. Sera-ce un bien ? Sera-ce un mal ? J'aurais bien aimé qu'il survînt un incident qui me décidât tout à fait, cela m'eût contenté. [lettre du 6 janvier 1843]

Peut-être ma demande sera-t-elle envoyée quand je terminerai cette lettre car je suis dans une veine de dégoût de l'École et de moi pour les fonctions que j'ai à y remplir (...) J'irais vous voir, nous parlerions alors à notre aise de cette retraite pour laquelle je marchandais tant. [lettre du 26 mars 1843]

Je n'ai pourtant pas encore envoyé ma demande de retraite. Cette décision me coûte. (...) je crains de ne pouvoir m'occuper. Sans la résistance de M. Reyher que j'ai vu encore il y a quinze jours je crois bien que ma demande serait faite. [lettre du 9 avril 1843]

Sûrement que si j'avais vu vos chambres, cela me déciderait à prendre ma retraite, voyant comment j'y serai bien établi une quinzaine de temps en temps. (lettre du 21 mai 1843)

Le Conseil de samedi dernier ma chère cousine m'a décidé à remettre au général ma demande de retraite, je suis bien plus à l'aise depuis. Je fixe le mois de juillet dans une lettre au ministre, mais il se pourrait qu'on me fasse attendre un peu. En tout cas, il est convenu que le général va me laisser partir sans congés en règle (...) il demande un congé si ma retraite n'est pas accordée.

Mais ce qui m'a décidé pour ma demande de retraite, c'est que pour la nomination d'une commission pour examiner une proposition que nous faisons M. Dubois (professeur de littérature) et moi au sujet de compositions françaises à faire en plus (...) Ainsi il y a eu 6 voix contre moi sur les 10 membres moi excepté, et il est clair que ne pas me mettre membre d'une commission aussi insignifiante c'est ne pas me juger digne de rester directeur des études, ainsi je regarde ce vote comme suffisant pour provoquer ma retraite.

Je compte toujours partir pour Nancy après ce conseil. Je suis toujours bien content d'avoir demandé ma retraite : je n'ai pas encore eu le temps d'aller au Ministère voir si le général a envoyé ma lettre.

Je crains qu'il ne traîne car il a beau dire qu'il l'a envoyée, je ne compte pas toujours sur la vérité de ses assertions. (lettre du 21 mai 1843)

Le général n'avait effectivement pas envoyé ma demande ce matin. J'ai insisté, il m'a dit qu'il l'enverrait.

Et toujours dans la même lettre du 21 mai 1843, évoquant un rapprochement avec Liouville :

Ceci m'a fait plaisir et me rend moins pressé de quitter, nous verrons ce que le ministère pensera.

Le général n'avait pas remis ma demande à mon départ, il a tant insisté pour que je ne me décidasse qu'à mon retour. Le petit rapprochement avec Mr Liouville a un peu diminué ma hâte de quitter [lettre du 5 juin 1843]

J'insisterai de nouveau auprès du général pour qu'il envoie ma demande de retraite qu'il tient toujours à conserver [lettre du 6 juillet 1843]

Et pour finir, dans sa dernière lettre :

j'ai été très désorienté en apprenant du général que malgré la lettre que je lui avais faite de Plombières, il n'avait pas envoyé ma demande de retraite. Je voulais n'y plus penser et me voilà encore dans la nécessité de renouveler ma décision. Cela m'a donné envie d'attendre que je vous aie vue pour causer avec vous encore sur ce sujet. [lettre du 26 août 1843]

L'extrême indécision de Coriolis sur une éventuelle retraite est patente : son état d'esprit à ce sujet dépend parfois de sa santé, parfois de ses soucis à l'École. Il attend avidement l'avis de sa cousine sur le sujet, et demande conseil à divers tiers, fort divers, comme par exemple à ses soutiens du "parti catholique" :

Le parti catholique veut me retenir ici, l'abbé Moigno, l'abbé Jammes (ancien aumônier de l'École) que je vois quelquefois depuis qu'il n'est plus grand vicaire, me conseillent de rester ; mais je ne vois guère qu'eux qui insistent bien. [lettre du 6 janvier 1843]

Il soupçonnera d'ailleurs certains, dont les ecclésiastiques ci-dessus, de lui donner des conseils biaisés : il est toujours utile d'avoir un « ami » à un poste de responsabilité comme celui de directeur de Polytechnique. Il s'ouvre aussi à un médecin, Mr Andral, venu lui rendre une visite de courtoisie pour une candidature à l'Institut – l'avis est là inverse :

Il ne balance pas à me conseiller de prendre ma retraite... [lettre du 25 janvier 1843]



Ce fort souhait qu'avait Coriolis de prendre sa retraite venait ainsi à être connu à l'extérieur de l'École. Ainsi, Comte, de nouveau, dans une lettre à sa femme la tenant au courant de ses éternelles manœuvres polytechniciennes, écrit le 13 septembre 1842 puis le 11 octobre de la même année (cité dans Littré) :

On parlait beaucoup de la retraite de M. Coriolis, qui serait remplacé par Duhamel, d'où résulterait un mouvement de mutation où il paraît que mes ennemis sentent déjà l'impossibilité de m'éviter (...)

Peut-être M. Coriolis se décidera-t-il encore à rester quelque temps, comme il l'a déjà fait, quoique ses années de service soient maintenant au taux légal du maximum de retraite, afin d'éviter des mutations qui pourraient embarrasser ou même troubler l'École

Coriolis lui-même était conscient que ses tergiversations lui causaient du tort (lettre du 6 janvier 1843) :

Il y a quelque chose qui me répugne fort à avoir l'air d'amuser mon monde depuis un an que je veux me retirer et à n'en rien faire.

La retraite n'est néanmoins pas toujours vue comme une échappatoire aux soucis, et on peut trouver sous la plume de Coriolis des points positifs quant à son désir de retraite :

En travaillant un peu plus dans ma retraite, je me rendrai peut-être moins indigne d'être de l'académie. J'y ferai au moins quelques rapports, et cela me satisferait ; à présent je ne suis content de moi sous aucun rapport.

On retrouve le désir de Coriolis de faire avant tout de la science, comme un écho au désir manifesté en son jeune âge de quitter le service des Ponts.

LA MORT DE CORIOLIS

L'Académie des sciences se réunit le lundi après-midi. C'était le cas du temps de Coriolis, c'est encore le cas à présent. Le lundi 18 septembre 1843, on note sur les Comptes-rendus : « l'Académie, instruite de la maladie de M. Coriolis, prie M. Rayet²³⁰ de lui transmettre l'expression de ses vœux ». Ironie du sort, c'est précisément ce jour-là que Coriolis s'éteint. Le lundi suivant 25 septembre, on note dans les comptes-rendus :

L'Académie apprend avec douleur la perte qu'elle vient de faire dans la personne de M. Coriolis, membre de la section Mécanique, décédé le 18 septembre 1843.

Aucune mention de cette nature n'est faite dans les froids procès-verbaux du Conseil d'instruction ou du Conseil de perfectionnement de l'École polytechnique.



Son état de santé semblait s'être dégradé à partir de mai 1843 mais nous ne pensons pas que Coriolis s'attendait à une issue fatale. Malgré ses plaintes permanentes sur son état de santé, il n'évoque pas sa mort possible. Elle n'entre pas en ligne de considération pour lui, sauf passagèrement début 1842, suite au décès de son ami Guillebon :

Il serait possible que l'émotion que m'a causée cette attaque de Mr Liouville soit pour quelque chose dans ce mal. Je n'ai pas fermé l'œil pendant la nuit qui a suivi ce conseil. J'ai lieu de craindre qu'en restant ici, une séance comme cela ne détermine une maladie qui m'enlève. C'est à peu près ainsi que Mr Guillebon a fini ; il avait été contrarié par des mesures prises à l'École malgré lui [lettre du 15 au 27 février 1842]

230. Pierre Rayet (1793-1867) est un médecin, fondateur de la société de Biologie, élu à l'Académie des sciences en 1843. C'était peut-être le médecin de Coriolis, ou un de ses médecins.

L'ultime phrase de sa longue correspondance avec sa cousine ne laisse aucun doute sur le fait que Coriolis ne s'attendait pas à mourir – encore moins s'est-il laissé mourir. Comme souvent, l'homme est enlevé au milieu de ses projets, sans qu'il s'attende à disparaître.

J'ai interrompu ma lettre car je suis sérieusement malade, au lit. Je n'arrive même pas à écrire. J'ai une inflammation d'entrailles et n'en suis pas quitte tant que la diarrhée un peu sanguinolente n'est pas arrêtée je me regarde comme en danger. J'écris avec trop de peine, je cesse. Je vous ferai écrire par Frédéric dès que je me regarderai comme hors de danger. Je vous embrasse de tout mon cœur. [lettre du 1^{er} septembre 1843]

Examinons aussi des témoignages de tiers, notamment l'une des réactions les plus marquantes à la mort de Coriolis, celle venant de Caroline Comte qui est surprise de la mort de Coriolis (lettre à son mari, 7 octobre 1843) :

*La mort de M. Coriolis m'a extrêmement surprise. Il y avait si longtemps qu'il allait comme cela, qu'en vérité on y était fait. **Je pense que sa place est pour beaucoup dans sa fin ; dans son état, il faut n'avoir à consulter que sa convenance et ne faire que ce qu'on peut, j'en sais quelque chose.***

Quand on a vu la perspicacité qu'exerce Caroline Comte à plusieurs reprises sur les sujets que nous avons relatés, ce jugement porté par elle (mis en gras par nous ci-dessus) est d'un grand poids, et nous confirme dans notre opinion.

On a vu que, dans la querelle entre le parti Libri et le parti Arago en 1844 par presse interposée, les amis de Coriolis lui faisaient dire « qu'il avait détruit sa santé en essayant de lutter contre des exigences sans bornes » Certes, il n'y a pas de fumée sans feu : si certains amis de Coriolis ont rendu publique cette assertion, c'est que Coriolis lui-même avait dû invoquer sa lassitude des querelles politiques relatives aux nominations à Polytechnique. Mais de là à l'issue fatale, il reste un pas qui est difficile à franchir.



C'est dans une certaine solitude que s'éteint Coriolis : le mois de septembre est un mois d'activité creux à ce moment-là – les élèves ne sont pas rentrés à Polytechnique, les cours n'ont pas commencé. Ses obsèques semblent aussi assez discrètes, à l'image du personnage : seul le fidèle Jacques Binet prononce un discours – peut-être en tant que représentant de l'Académie des sciences. Mr Bugnot, représentant le personnel de l'école, fait lui aussi un discours.

Le caveau Coriolis-Péclet au cimetière du Montparnasse

Coriolis est inhumé au cimetière du Montparnasse, 12^o division Nord, 1^o Ouest. Le caveau familial comporte quatre plaques peu lisibles, dans l'ordre d'inhumation :

- Gaspard Gustave Coriolis, membre de l'Institut, directeur des études de l'École polytechnique, décédé le 19 septembre 1843 à l'âge de 51 ans.

- Philippe Léon Pécelet, décédé à Toulouse le 6 décembre 1856, à l'âge de 23 ans [il s'agit sans doute du neveu de Coriolis, fils de sa sœur Cécile Pécelet].
- Jean-Claude Eugène Pécelet, officier de la Légion d'honneur, inspecteur général de l'Instruction publique, professeur fondateur de l'École centrale des arts et manufactures, décédé le 6 décembre 1857.
- Mme Vve Pécelet, née Cécile Henriette de Coriolis, décédée le 26 décembre 1886 à l'âge de 83 ans. De Profundis. *[On remarquera la mention de la particule nobiliaire et la mention religieuse].*



Le caveau Coriolis-Pécelet au cimetière du Montparnasse, avec les quatre plaques décrites ci-dessus.

À l'Académie, un discours d'hommage à Coriolis sera donné par le secrétaire perpétuel, Léonce Élie de Beaumont, en séance du 2 février 1857. Cinq ans plus tard, N.A. Renard, professeur de mathématiques à l'université de Nancy, prononçait lui aussi un discours d'hommage à Coriolis à l'occasion de sa réception à l'Académie Stanislas de Nancy ; exploitant le manuscrit laissé par Coriolis à sa famille ([ASM-AAS]), il faisait ainsi une reconstitution de carrière documentée de Coriolis.

V – Coriolis, l'homme

Nous avons vu effleurer la personnalité de Coriolis dans la première et surtout dans la dernière partie, grâce à l'existence de sa correspondance personnelle sur sa période de jeunesse et sur la dernière période. On a pu voir, notamment, que c'était une personnalité directe, peu rompue aux intrigues politiques et de carrière, ayant une forte conscience de l'intérêt de l'École, et finalement principalement mue par l'amour de la science.

D'autres éléments nous permettent de mieux cerner cette personnalité, et notamment un certain nombre d'écrits personnels, conservés aux Archives de l'Académie. Certains datent de la période 1817-1829 : la correspondance constituée par les lettres « éducatives » à sa sœur, et des écrits à caractère tout à fait personnel comme une description de sa femme idéale, ou une description de son propre caractère (1826). Mais certains datent de la dernière période de sa vie, comme la notice « pour servir après sa mort » ([ASM-AAS]), ou les « Notes sur les améliorations à introduire dans la musique religieuse²³¹ ».

Car c'est un des paradoxes de Coriolis : malgré une personnalité globalement réservée vis-à-vis de l'extérieur, il a un goût très prononcé, presque immodéré, pour l'introspection, auquel il faut ajouter une passion pour l'écriture, qu'elle soit scientifique ou non. Ces écrits personnels, comme sa correspondance personnelle, nous le montrent – et c'est heureux qu'ils nous soient parvenus.

Dans cette veine d'écriture, on peut inclure aussi son « utopie » sur le duel : ce n'est pas un écrit à caractère personnel, mais ce n'est bien évidemment pas non plus un écrit scientifique, et il nous renseigne aussi sur la personnalité de Coriolis, d'une piété certaine, aux sentiments éloignés de toute violence.



Si l'on cherche à décrire la personnalité de Coriolis, trois caractérisations s'imposent naturellement : réserve, droiture et forte vie intérieure. Mais, comme pour toute personnalité, ces aspects sont contrastés.

La réserve – une réserve aristocratique pourrait-on dire –, le caractère modeste, introverti et peu charismatique, sont bien évidemment les premières choses qui viennent à l'esprit lorsqu'on pense à Coriolis. Mais cette première idée doit être tempérée : pendant la dernière période, même si globalement Coriolis paraît écrasé par sa fonction, il se défend néanmoins face à l'adversité. Cette réserve naturelle n'était pas non plus contradictoire avec des amitiés personnelles, à tous les niveaux de la société, et avec un caractère parfois enjoué, amical – preuve en sont, par exemple, les soirées musicales qu'il donne pour les élèves polytechniciens alors qu'il est directeur des études. Une phrase extraite de ses écrits personnels nous paraît bien résumer cette ambivalence :

231. Cet original manuscrit porte en en-tête de la main de Coriolis « par G.G. Coriolis, membre de l'Institut de France » - il peut donc être daté après 1836, date d'élection de Coriolis à l'Académie des sciences.

Si ce n'est le fond de mon cœur qui est toujours aimant et sans malice, le reste de moi-même est très variable, tantôt je suis un peu taciturne tantôt j'ai au contraire de l'expansion et j'aime à en trouver.

La droiture est le deuxième élément marquant de la personnalité de Coriolis. Jacques Binet, dans son discours d'hommage sur la tombe de Coriolis en 1843, le décrit empli de « droiture, candeur et sincérité ». Coriolis est incapable de toute intrigue à caractère politique. Il défendra, dans son poste de directeur des études, des positions qui lui paraissent justes ou allant dans l'intérêt de l'École, et non dans son propre intérêt ou dans l'intérêt d'une faction ou d'un parti. Ce caractère franc et sincère est à rattacher à sa profonde piété religieuse²³².

Le troisième élément marquant est la forte tendance à l'introspection. Il est peut-être lié au premier : sa réserve envers le monde extérieur l'amène à une attention portée à lui-même, parfois excessive. Sa personnalité profondément religieuse joue là aussi un rôle : il voit la pratique de la religion catholique comme permettant une meilleure connaissance de son âme et une possibilité d'amélioration de son caractère. Cette tendance à l'introspection se conjugue, là aussi, avec le goût pour l'écriture de Coriolis, comme le montrent ses écrits personnels de 1826-1828, sur son caractère ou sur la femme idéale²³³. Ce goût pour l'écriture est sublimé, à partir de 1829, dans les écrits scientifiques – ce type d'écrit à caractère personnel disparaît alors chez Coriolis. Mais la tendance à l'introspection, presque au narcissisme, demeure dans ce qui nous est resté de sa correspondance personnelle, à partir de 1837.

Il est enfin un élément marquant qu'on ne peut passer sous silence dans la description de la personnalité de Coriolis : ses problèmes de santé. On a vu qu'ils apparaissaient dès 1812, à vingt ans – Coriolis ne peut travailler avec Prony à la mission qui lui est confiée –, et ils traversent sa vie, s'accroissant de manière notable en 1837 suite à « une maladie de poitrine ». Nous ne pourrions insister sur ce sujet, au risque de lasser le lecteur, ce que fait Coriolis d'ailleurs quand on lit sa correspondance. Plus généralement, la tendance à l'exagération dans ses écrits existe chez Coriolis, sur ses défauts comme sur ses ennuis de santé. Cette tendance à l'exagération est peut-être un pendant à la droiture et au manque de charisme – une compensation qui s'applique uniquement dans son milieu très proche. Mais c'est sans doute un grand besoin d'attention – peut-être issu de son enfance si l'on veut prendre une interprétation psychanalytique – qu'exprime ainsi Coriolis dans la description détaillée de son état de santé.

232. Nous ne procédons pas ici à une équivalence entre ces deux traits de caractère : il existe des gens religieux qui manquent de droiture et sont « roublards » ; l'inverse existe aussi. Chez Coriolis, droiture et piété sont deux caractères qui se conjuguent.

233. Sur ce dernier sujet, on ne peut manquer de faire le parallèle avec l'approche scientifique de Coriolis : pour lui, tout passe par la conceptualisation plutôt que par l'action, par la théorie plus que par la pratique.

Chapitre 16. Traits caractéristiques

Nous nous proposons d'illustrer ici, à travers divers éléments pris notamment dans les écrits personnels de Coriolis, ce que nous venons de développer sur son caractère et sa personnalité.

RÉSERVE NATURELLE ET CARACTÈRE INTROSPECTIF

Tout laisse à penser que Coriolis était quelqu'un de réservé et d'introverti. Le décalage même entre la postérité de son nom et la celle de sa personne en est aussi un signe. L'apparent tourne cela assez joliment en écrivant que « la postérité a respecté, avec un soin trop scrupuleux, la modestie dont ce savant aimait à s'envelopper ». Cette réserve est liée à son éducation, à ses origines aristocratiques, à son caractère sans doute. Elle n'est pas forcément liée au modèle paternel : la vie d'Elzéar de Coriolis est plutôt une vie d'aventurier, dont on peut penser qu'elle n'était pas caractérisée par la réserve. Cette réserve vient peut-être en réaction du modèle paternel, ou s'inspire du modèle maternel – sur ce dernier point, nous n'avons aucun élément d'appréciation.

Une tendance à l'exagération

Mais, comme nous l'avons indiqué, Coriolis n'est pas toujours effacé, et, comme chacun de nous, a un caractère changeant. Même si cela paraît contradictoire avec sa réserve naturelle, on peut l'imaginer s'emportant – d'après lui c'est son environnement qui l'y amène. Ainsi on peut lire, dans ses *Écrits personnels* ([CLM-AAS, 1826) :

Un de mes grands défauts c'est l'exagération dans l'expression (...) et j'ai honte parfois (...)

Le désir de rendre fortement ce que je reçois m'entraîne à user de retour des moyens pour frapper fort.

Surtout quand je prévois de l'opposition à mes idées ou de l'indifférence pour m'écouter ou pour chercher à me comprendre. De même qu'on parle haut pour se faire entendre d'un sourd, je forme la pensée, je la porte à l'extrême pour qu'elle soit sentie. De telle sorte que mes reproches deviennent trop mordants envers ceux que je crois peu portés à me comprendre.

Cette appréciation de Coriolis sur lui-même est expliquée comme suit, ce qui semble tempérer son propos – cette tendance à l'emportement serait contraire à sa nature, et viendrait en réaction à des attitudes qu'il a pu subir plus jeune :

Les personnes avec lesquelles j'ai vécu ont contribué à me donner cette habitude par le peu de confiance qu'elles accordaient à mes observations ou l'indifférence avec laquelle elles les recevaient.

Si l'on suit le raisonnement, la tendance à l'emportement et à l'exagération dans ses propos n'est pas naturelle chez Coriolis, elle est d'origine acquise et non innée. Ce ne serait pas sa nature profonde, mais un rôle qu'il a dû jouer en réaction... La citation ci-dessus nous paraît fondamentale pour la compréhension du rapport de Coriolis à autrui, et la clef de cette phrase nous est donnée, semble-t-il, par une autre phrase de Coriolis parlant de sa mère et de sa sœur :

J'ai contracté comme tous les gens mal portants l'habitude de parler beaucoup trop de ma santé. Et d'autant plus qu'on a moins l'air de prendre garde à ce que je dis. Ma mère et ma sœur ont contribué pendant un temps à me donner cette habitude en affectant de ne pas m'écouter ou en négligeant ces petits soins et ces petites marques d'intérêt que j'aime infiniment à trouver et que je cherche à obtenir en exagérant le besoin que j'en ai. Je crois que ma femme me changerait facilement sous ce rapport, il suffirait qu'elle m'arrêtât par un avertissement amical.

Ainsi, c'est parce que «les personnes avec lesquelles [il a] vécu», à savoir sa famille, n'auraient pas prêté assez attention aux plaintes relatives à sa santé qu'il aurait développé une tendance à exagérer ses propos pour se faire comprendre.

Il n'est assurément pas facile de savoir où est la poule et où est l'œuf dans ces postures : à force de crier au loup, on n'est plus entendu – mais à n'être pas entendu, on en vient à crier au loup ! Nous laisserons à un psychologue le soin de démêler cela, mais il nous a paru intéressant d'examiner comment se forme chez Coriolis ce trait à l'exagération, qui semble aller à l'encontre de son caractère réservé, et qu'on rencontre dans ses écrits, mais finalement assez peu dans ses actes.

Introspection et narcissisme

Nous l'avons remarqué – et le soulignerons plus avant avec ses écrits personnels consacrés à son propre caractère ou à la femme idéale vue de son point de vue (écrits datant d'avant 1829) – Coriolis a une forte tendance à l'introspection. Cette tendance se manifeste aussi dans sa correspondance personnelle : description de ses états d'âme, de ses problèmes de santé,...

Elle confine presque au narcissisme lorsque Coriolis consacre de longues phrases à son portrait peint par Roller fin 1841. Roller (1812-1866) était un homme fortuné, associé dans une fabrique de pianos, et peintre amateur. Il était entré en contact avec Coriolis pour des perfectionnements à caractère scientifique à apporter aux pianos et, selon La Chesnais²³⁴, «la physionomie de Coriolis l'intéressa et il lui demanda de poser». C'est d'ailleurs ce premier portrait peint par Roller à vingt-neuf ans qui le « lancera » - il peint dans le même temps Cauchy, puis fera le portrait de Pécelet et sera rendu célèbre par celui du duc de Morny.

234. Maurice Georget La Chesnais, « Souvenirs, tome 3 », par son petit-fils La Chesnais, mai 1976. La Chesnais avait pour arrière-grand-père Claude Blanchard (16 mai 1742 à Angers - 11 mars 1803 aux Invalides) – extrait consultable dossier Coriolis AEP. Blanchard était marié à Thérèse de Coriolis, tante de Coriolis.

Coriolis se plaint du temps de pose qu'il doit consacrer fin 1841 à la confection de ce portrait, mais il est très satisfait du résultat, et du fait que le tableau soit exposé lors d'un salon de peinture :

Mon portrait a grand succès au Salon. Il y est bien placé on le voit bien et j'en reçois beaucoup de compliments. Il y a des personnes qui prétendent que c'est le mieux peint de l'exposition [lettre du 30 mars 1842]

Et, un peu plus tard :

Mr Pécelet revient de sa tournée le 25 juillet. Pour ce jour-là je redemanderai mon portrait à Mr Roller et je le ferai placer dans la salon de Cécile pour l'arrivée du maître du logis à qui cela fera plaisir [lettre du 9 juillet 1842]

Car, en accord avec Roller, il avait été prévu que le portrait fût exposé d'abord au musée, puis accroché chez Cécile Pécelet. Coriolis, qui voulait offrir ce tableau à sa chère cousine Benoit, compte la dédommager ainsi :

Je vous ferai compensation en vous envoyant une épreuve au Daguerriotype meilleure que celle que vous avez ; maintenant on les fait en moins d'une seconde et on saisit facilement la physionomie. Au premier beau jour (car il faut du soleil) j'irai me faire saisir en bonne mine et je vous réserverai un petit portrait qui vous réconciliera avec le procédé de Daguerre [lettre du 9 au 20 novembre 1841]

Droiture et désintéressement

Droiture, candeur et sincérité : ces épithètes sont de Jacques Binet, lors du discours d'hommage qu'il prononce à l'enterrement de Coriolis en 1843. Paroles que confirment celles de Mr Bugnot, sur la tombe de Coriolis lui aussi : « une conscience droite et honnête ». Elles nous paraissent bien correspondre à sa personnalité. Coriolis est un être entier, qui n'a pas plusieurs discours, et qui n'est pas « politique » : il défendra, dans son poste de directeur des études, des positions qui lui paraissent justes ou allant dans l'intérêt de l'École, et non dans son propre intérêt ou dans l'intérêt d'une faction ou d'un parti.

Il donne sa confiance mais, entier, n'accepte pas que cette confiance soit trahie :

J'ai le malheur de perdre facilement confiance quand on m'a trompé une fois. Il est difficile que la première impression d'un manque de bonne foi et de sincérité à mon égard s'efface de longtemps. Je deviens facilement injuste envers les personnes qui m'ont donné lieu de soupçonner leur bonne foi.

On notera aussi le bel hommage que rend aussi Bugnot en rappelant la générosité de Coriolis : il versait à la caisse de bienfaisance des élèves. Bugnot, représentant le personnel de l'École, est aussi sensible au fait que Coriolis n'hésitait pas à défrayer lui-même, de ses propres deniers, répétiteurs ou employés lorsque « les règles de l'administration ne permettaient pas de le faire sur les fonds de l'État » [AAS-BUG].

L'HOMMAGE À GUILLEBON, UN AUTO PORTRAIT DE CORIOLIS ?

Dans notre tentative de cerner le caractère de Coriolis à travers ses écrits – et en ayant observé que ceux-ci doivent souvent être décryptés, nous nous sommes intéressé à un autre de ses écrits, l'hommage qu'il rend à son ami Guillebon dans les *Annales des Ponts* début 1842, après la mort de celui-ci. Est-ce que finalement Coriolis ne parle pas mieux de lui-même lorsqu'il parle de quelqu'un qui lui est très proche ?

Car, parmi les amitiés de Coriolis, semble se détacher cette figure du couple Guillebon, avec lequel il est très lié : Alexandre de Guillebon²³⁵ jusqu'à sa mort en 1841, peu de temps avant Coriolis, et par la suite Mme de Guillebon. Citons par exemple ce que Coriolis écrit à la suite de la mort prématurée de son ami, à cinquante et un ans [lettre du 1^{er} janvier 1842] :

Je pensais à vous parler de la mort de Mr Guillebon, ma chère cousine, quand j'ai reçu votre lettre. Je vous remercie bien d'avoir pensé à moi en apprenant cette nouvelle par les journaux. C'est effectivement un chagrin pour moi qui méritait vos consolations ; elles sont venues bien à propos. Mon pauvre ami me manquera bien, surtout quand je serai retiré de l'École. C'était l'intimité la plus douce pour moi que celle des Guillebon, mari et femme.

Si cette amitié est attestée sur la période 1837-1843 – pour laquelle nous disposons des lettres personnelles de Coriolis – on peut néanmoins penser qu'elle date de bien avant, sans doute depuis les études communes à Polytechnique et aux Ponts, tant les affinités et ressemblances entre les deux hommes paraissent évidentes.

En effet, l'hommage que Coriolis rend à son ami en 1842 dans une notice nécrologique des *Annales des ponts* est frappante par la ressemblance avec Coriolis lui-même. Elle pourrait passer pour un autoportrait, tant les traits de ce camarade de promotion paraissent voisins des siens :

(...) issu d'une ancienne famille de Picardie, où les solides vertus sont héréditaires.

Coriolis parle là d'un pair, puisque comme Guillebon, sa famille est d'ancienne noblesse. Cependant, comme Coriolis lui-même, Guillebon semble avoir totalement abandonné sa particule.

(...) Guillebon, dès le début de sa carrière, s'était tracé une voie de modestie et de conscience dont il ne voulut pas s'écarter. Accomplir le mieux possible les devoirs de son emploi, était toute son ambition : consacrer quelques loisirs à de graves délassements littéraires et mathématiques était tout ce qu'il se permettait de plaisir.

(...) Il étudiait avec passion dans les immortels écrits de Lagrange.

Coriolis décrit Guillebon comme un « ingénieur très utile à l'État », et le soir « un savant distingué comme helléniste et comme mathématicien ». Au passage, on retrouve ici la

235. Alexandre de Guillebon (1790-1841, X1808) est polytechnicien, ingénieur des Ponts et chaussées, des mêmes promotions à Polytechnique et aux Ponts que Coriolis. Il remplace Coriolis comme professeur à l'École des ponts et chaussées fin 1838, quand celui-ci prend la charge de directeur des études à Polytechnique.

fascination de Coriolis pour la mécanique analytique de Lagrange. Guillebon ayant entrepris avant sa mort de republier et commenter un texte de Navier, à la demande de sa veuve, Coriolis le gratifie d'un hommage qu'il pourrait s'appliquer à lui-même :

Suivant en ces circonstances ce qui le guidait en toutes ses actions, le désir d'être utile et de faire pour autrui ce qu'il aurait aimé qu'on fit pour lui.

À propos des liens sociaux de Guillebon, de nouveau on pense entendre Coriolis parler de lui :

Le nombre [de ses camarades] en eût été plus grand si son goût pour l'étude ne l'eût éloigné du monde.

Enfin, la dernière phrase de l'hommage de Coriolis, à propos des proches de Guillebon, donne elle aussi la même impression :

Ils espèrent que Dieu récompensera Guillebon d'avoir vécu et d'être mort en véritable chrétien.

RELIGION ET POLITIQUE

Un autre trait caractéristique de Coriolis est son profond attachement à la religion catholique. C'est une tradition familiale pour Coriolis, issu d'une famille de haute noblesse et se démarquant peu de ses racines, sauf par son orientation professionnelle ; mais c'est aussi une profonde inclination personnelle, s'accordant bien à sa personnalité réservée et à sa tendance à l'introspection.

Cette tradition catholique apparaît aussi à travers sa parentèle, à laquelle son milieu socio-professionnel l'associe nécessairement : son oncle occupe jusqu'à sa mort en 1824 un poste ecclésiastique important, celui de chanoine du diocèse parisien.

Nombreuses références au catholicisme chez Coriolis

La foi et la piété sont en effet très présentes dans la correspondance de Coriolis. Ainsi, en 1843, désespéré, hésitant à abandonner le poste de directeur des études à Polytechnique qui lui cause du tracas, et balançant à prendre sa retraite, il cherche une conscience religieuse pour le guider :

Il me faut une direction. Je voudrais bien trouver un bon Directeur pour juger de ma position et me connaissant bien : c'est encore plus difficile à trouver qu'un médecin. J'ai été tenté de prendre l'abbé Moigno jésuite très savant mais il a l'imagination un peu trop en action. Il tranche et juge légèrement. Le mien (l'abbé Martin curé de St-Jacques) est trop distrait, il est trop simple trop peu réfléchi.

En 1841, il avait fait mouler un crucifix suivant un modèle qui lui plaisait, "très précieux pour la beauté de l'expression et de la pose". Il se propose d'en offrir un exemplaire à sa

cousine, sachant qu'il en a déjà offert quatre, à sa mère, à la sœur de l'infirmière de Polytechnique, à son collègue des Ponts Guillebon, à son ancien élève l'ingénieur Daussé.

En avril 1842, évoquant l'après-retraite, Coriolis imagine des activités possibles de charité ou liées au chant d'église :

si je peux faire quelque chose dans le genre des dames de charité je m'y mettrai volontiers quand je serai retiré. J'ai par exemple l'intention d'aider notre curie à perfectionner son choeur. On chante très mal à notre paroisse. J'ai des idées bien arrêtées sur le chant d'église²³⁶. Je voudrais qu'il n'y eût que des voix d'hommes la plupart de 20 à 30 ans et jamais de solo. Enfin je voudrais que la musique fût très simple dans le genre des beaux chants actuels tels que le Domine Sale.

La tentation du catholicisme profond peut même aller jusqu'à souhaiter devenir moine – mais là il faut sans doute voir à nouveau une certaine tendance à l'exagération écrite chez Coriolis :

Ab s'il ne fallait pas d'études pour se faire jésuite ou bénédictin et si ma santé m'avait permis la vie de cloître j'y entrerais bien volontiers [lettre du 21 mars 1840]

Des amitiés dans le milieu catholique

On connaît à Coriolis peu d'amitiés avec d'autres savants : si certaines antipathies (Comte, Liouville,...) affleurent dans sa correspondance, il est rare que soient mentionnées des sympathies – à l'exception d'Alexandre de Guillebon. Mais l'on peut remarquer qu'un certain nombre de savants qui l'ont connu ont cité Coriolis avec sympathie – et on remarque aussi que ces savants, Cauchy, et dans une moindre mesure l'abbé Moigno²³⁷, sont à rattacher au « parti jésuite ».

Cauchy cite Coriolis comme un des siens, dans l'avertissement de ses *Considérations sur les ordres religieux* :

Je suis chrétien, c'est-à-dire que je crois à la divinité de Jésus-Christ, avec Tycho-Brahé, Copernic, Descartes, (...)

Je suis catholique sincère, comme l'ont été Corneille, Racine, La Bruyère, (...)

Puis, avec l'utilisation du pluriel d'antonomase :

Je partage les convictions profondes qu'ont manifestées par leurs paroles, par leurs actes et par leurs écrits, tant de savants distingués du premier ordre, les Ruffini, les Haüy, les Laennec, les Ampère, les Pelletier, les Freycinet, les Coriolis (...)

Et de nouveau, de la page 57 à 62, se référant aux jésuites, dans une longue litanie de paragraphes commençant tous de manière analogue, avec effet de style et de répétition :

236. Cette phrase nous laisse penser que le manuscrit « Notes sur les améliorations à introduire dans la musique religieuse », que nous avons daté postérieurement à fin 1836, pourrait être postérieur à cette lettre d'avril 1842, qui annoncerait l'intention de Coriolis d'écrire sur le sujet.

237. On a vu qu'en janvier 1843, au moment où Coriolis hésite à prendre sa retraite et quitter son poste de directeur des études à Polytechnique, l'abbé Moigno et l'abbé Jammes (qu'il a connu comme aumônier à Polytechnique) tâchent de l'en dissuader.

Sans doute, vous ne considérerez pas comme ennemis de la civilisation et des lumières ceux-là même qui ont éclairé, qui ont civilisé tant de peuples divers (...)

Sans doute vous ne faites pas un crime aux Jésuites de la découverte des aérostats (...)

Sans doute (...) vous n'exigez pas que l'on bannisse des programmes de l'enseignement public, des cours du collège de France, de l'École Polytechnique et de la Faculté des sciences, ni la diffraction de la lumière découverte par le jésuite Grimaldi, ni le théorème du jésuite Guldin, ni l'équation de ce Ricatti (...)

Sans doute vous ne considérez pas comme ennemis des sciences physiques et mathématiques les instituteurs des Descartes, des Cassini, des Tournefort ; (...) ceux dont les travaux ont été si souvent cités avec honneur par les Lagrange, les Laplace, les Delambre ; ceux qui, de nos jours encore, ont eu pour admirateurs et pour amis les Ampère, les Pelletier, les Freycinet, les Coriolis ;

Mais, à l'inverse d'autres savants (comme Cauchy), cette conviction profonde ne se transforme pas en militantisme politique, dans les rangs du « parti catholique » ou du parti ultra. C'est pourquoi il est difficile de parler, à propos de Coriolis, d'un membre, à quelque titre que ce soit, du parti catholique. Il sera néanmoins implicitement rattaché à ce parti par les savants engagés dans le parti libéral, comme Arago ou Liouville. De même, les savants engagés dans le parti catholique le considéreront comme un des leurs.

CORIOLIS ET SA SANTÉ

Nous nous sommes beaucoup interrogé sur ce sujet, qui revient en permanence dans la vie de Coriolis, et dans les écrits le concernant. Quel était son état de santé effectif, et, s'il était mauvais, quelle influence cela pouvait-il avoir sur sa vie et ses travaux ? La tendance réelle qu'a Coriolis à se plaindre nous amène à considérer avec circonspection ses écrits. Essayons néanmoins de tracer un fil sur le sujet.

Dès sa sortie des Ponts, Coriolis connaît des problèmes effectifs de santé : dès sa première affectation connue à Jemmapes, il tombe malade en septembre 1812 – il a alors vingt ans – et ne peut non plus continuer sous la direction de Prony son étude sur les Marais Pontins. Il retourne à Nancy où il est en arrêt d'activité pendant un an jusqu'en octobre 1813.

Par la suite, son état de santé reviendra constamment dans sa correspondance – nous avons trace de cette correspondance de 1837 à 1843 mais aussi, par intermittences, certaines lettres de 1815 et de 1821²³⁸. Coriolis y donne force détails anatomiques sur son état de santé et ses difficultés de digestion – nous n'avons pas souhaité nous appesantir sur ces détails. Remarquons que Coriolis est conscient de se plaindre de sa santé de manière excessive, au point d'indisposer son entourage familial

238. Nous avons tout lieu de penser que, si nous avons gardé trace de cette correspondance sur la vie entière de Coriolis, ses problèmes de santé seraient apparus

J'ai contracté comme tous les gens mal portants l'habitude de parler beaucoup trop de ma santé. Et d'autant plus qu'on a moins l'air de prendre garde à ce que je dis. Ma mère et ma sœur ont contribué pendant un temps à me donner cette habitude en affectant de ne pas m'écouter ou en négligeant ces petits soins et ces petites marques d'intérêt que j'aime infiniment à trouver et que je cherche à obtenir en exagérant le besoin que j'en ai. Je crois que ma femme me changerait facilement sous ce rapport, il suffirait qu'elle m'arrêtât par un avertissement amical.

Même pour Renard²³⁹, qui dresse un hommage à Coriolis à l'Académie Stanislas de Nancy en 1862, la préoccupation qu'il a de sa santé « peut paraître pour de l'exagération », et ce fut là « son tribut à la faiblesse humaine – et Renard de suggérer d'avoir pour Coriolis, sur ce sujet, « cet esprit de justice et d'indulgence dont il nous a donné l'exemple ».



Dans le même esprit d'exagération, l'état de santé de Coriolis est souvent invoqué dans certains écrits tiers concernant sa carrière, qu'ils soient contemporains ou postérieurs à sa mort. On a vu néanmoins qu'il pouvait être invoqué à tort : ainsi en est-il du poste de professeur à Polytechnique en 1831, en remplacement de Cauchy. Coriolis est candidat, et échoue car Navier est choisi, et non en raison de son état de santé, comme il est parfois indiqué à tort.

Peut-être Coriolis n'a-t-il été candidat que mollement, ou sans trop y croire, en 1831. La santé peut aussi être une « bonne excuse » pour Coriolis pour ne pas se porter candidat à tel ou tel poste : ainsi en est-il du remplacement de Navier à Polytechnique cinq ans plus tard, en 1836. Ce peut aussi être une « bonne excuse » pour son environnement, en accord avec lui-même : s'il n'est pas candidat, son environnement déclarera que c'est *bien évidemment* à cause de son état de santé.

Mais, par-delà l'emphase narcissique portée par Coriolis sur ses problèmes de santé, par-delà l'utilisation – parfois erronée, parfois abusive – qu'en feront ses contemporains ou les auteurs ultérieurs, c'est bien une santé fragile qui emporte Coriolis à l'âge prématuré de cinquante et un ans. Nous pensons toutefois que ce n'est qu'à partir de 1843, dernière année de sa vie, que l'état de santé de Coriolis se dégrade effectivement. Son activité semble moindre, et surtout son écriture apparaît déformée dans ses correspondances, qui de plus en plus ne font mention que de sa santé.



La neurasthénie est aussi assez présente dans la correspondance de Coriolis. Le 22 mai 1841, dans une lettre à sa cousine, Coriolis indique, à propos d'un incident qui aurait pu occasionner le renvoi d'élèves polytechniciens, et dont il se sent coupable (il n'y aura pas de renvoi d'élèves) :

(...) cela aurait jeté une longue tristesse sur mon existence déjà si triste.

239. Les notes préparées pour Renard [NPR-AAS], relues par Cécile Pécelet, mentionnent « sa faiblesse et son hypocondrie » dans les dernières années de sa vie.

Même dans sa pratique musicale, on lit dans sa lettre du 18 février 1813 :

Je donne dans le langoureux et le triste.

Dans ses écrits de 1826, c'est une écoute qu'il semble réclamer, comme pour ses plaintes sur sa santé :

J'ai été sujet à des accès de tristesse qu'on peut appeler des vapeurs mais ils sont toujours doux, et ne demandent qu'à trouver quelqu'un qui rentre un peu dans mes idées. Rien ne réussirait plus mal que d'essayer de faire passer cette tristesse en y opposant l'indifférence.

Chapitre 17. Vie personnelle et vie sociale

LES FEMMES ET LA VIE SENTIMENTALE

Coriolis reste célibataire. Malgré sa prestance et une beauté physique incontestable (si l'on se réfère à son portrait par Roller), on ne lui trouve aucune liaison féminine, ce qui ne signifie pas qu'il n'y en ait pas eu. Après avoir fréquenté le couple Guillebon qu'il apprécie, Coriolis voit beaucoup, après la mort d'Alexandre de Guillebon fin 1840, sa veuve : mais à aucun moment il ne semble qu'il y ait une relation intime entre eux.

Le personnage paraît tellement concentré sur la science et sur ses fonctions qu'on vient à s'interroger sur l'état de célibat. Doit-on le comparer à Newton qui serait resté vierge toute sa vie ? Il nous est venu à l'idée que Coriolis pouvait être homosexuel, à la vue de deux phrases dans ses lettres :

En vérité peu d'hommes sont aussi femmes que moi sous le rapport des impressions morales [lettre du 6 janvier 1843]

Je serais malheureux avec une personne (~~une femme~~ barré) qui n'aurait pas de délicatesse et qui ne saurait pas conserver la dignité qui appartient à une personne bien née. [écrits de 1826]

Dans cette phrase, Coriolis donne l'impression qu'il pourrait vivre avec une personne qui ne soit pas une femme. Mais c'est plus, semble-t-il, l'emploi du mot « femme » qui l'arrête : sans doute ne trouve-t-il ce mot pas correct pour désigner une personne de sexe féminin – c'est pourquoi il le biffe.

Compte tenu du fait qu'il consacre une grande partie de ses écrits personnels de 1826 à décrire, à l'âge de trente-quatre ans, ce que serait la femme idéale, nous avons balayé l'hypothèse ci-dessus. Mais son approche de l'autre féminin semble rester écrite, théorique et idéalisée.

La femme idéale dans les écrits de 1826

On ignore si, comme son écrit sur le duel, ces longs paragraphes de Coriolis sur la femme idéale relèvent de l'utopie. On peut toutefois les rattacher à un courant romantique naissant sous la Restauration – qui touche particulièrement les jeunes hommes d'extraction noble (par exemple Lamartine ou Chateaubriand), souvent en réaction au rationalisme des Lumières. Que le romantisme puisse toucher un scientifique est plus étonnant mais n'est pas aberrant : Coriolis n'ira pas jusqu'à mener une carrière d'écrivain romantique, et après tout cette attirance romantique s'accommode bien avec la forte tendance de Coriolis à l'introspection.

Pour lui, l'épouse idéale doit avoir même religion et même niveau d'éducation :

Le plus grand malheur qui pourrait m'arriver serait d'avoir une femme qui ne sût ni m'aimer ni aimer Dieu.

Il n'est pas nécessaire pour se convenir entre époux d'avoir les mêmes goûts, le même caractère et les mêmes idées en tout. Il suffit d'être doué de la même capacité pour aimer en sorte que les sentiments forts soient payés de retour. Il faut avoir la même religion et la même manière de l'entendre. Il est nécessaire aussi qu'il y ait des deux côtés même degré d'éducation et par conséquent même capacité à s'élever à des idées nobles et généreuses et à sentir les diverses nuances de la politique des gens bien nés.

La peur de ses défauts, comme des défauts de son épouse potentielle, est très présente dans ses écrits personnels – l'amour imaginé se teint d'une vision morale très forte :

Le véritable attachement comme celui que je conçois qui doit exister entre époux ne doit pas rendre aveugle sur les défauts de ce qu'on aime ; au contraire il doit porter à se surveiller l'un l'autre et à tâcher de se corriger mutuellement sans pourtant s'irriter du peu de succès, et sans jamais se décourager si l'on ne réussit pas.

Un mari et une femme qui ont tous deux un bon jugement, d'amour du bien et des idées justes sur les devoirs, mais qui craignent ou leurs passions, ou leurs faiblesses pour agir peuvent être mutuellement d'un grand secours.

Le couple doit progresser dans la voie du bien :

L'impulsion pour le bien a un grand pouvoir quand elle vient de quelqu'un qu'on aime le mieux. Elle produit le double avantage et de nous faire bien agir et de donner à notre attachement quelque chose de relevé et même de divin qui le rend plus fort et plus durable.

J'ai besoin de vivre avec quelqu'un qui me porte à mettre de la maturité dans mes décisions.

Chacun doit aider l'autre à se corriger, et l'autre doit l'accepter :

Je désire que ma femme sût me désapprouver et ne craignît pas de me contrarier en me blâmant .

Et réciproquement :

Une femme qui me dirait (...) sérieusement « Tes critiques m'ennuient. Laisse-moi comme je suis, garde tes conseils pour une meilleure occasion » serait malheureuse avec moi parce que je le serais avec elle. On peut le (comprendre ?) dans un premier mouvement contre un conseil ou contre un avis qu'on croit mal fondé. Mais la personne qui en garderait rancune (...) ne me conviendrait pas du tout pour femme.



À propos de sa santé, la femme idéale a aussi un rôle à jouer :

La faiblesse de ma santé provenant d'une grande susceptibilité nerveuse, je ne puis avoir de règles fixes pour mon régime, mais il suffit que j'aie quelqu'un après de moi qui me rappelle ce que j'ai demandé qu'on me rappelât. Je serais très malheureux que ma femme se moquât des précautions que je prends ou s'en ennuyât. J'ai besoin qu'on m'approuve dans ces précautions et même qu'on m'aide (...) à les prendre. Autrement, je suis si facile à me laisser influencer que le moindre mot me

ferait renoncer à ces précautions nécessaires et qu'ensuite j'en voudrais à ma femme de m'en avoir détourné.

Elle doit aussi être capable de faire cesser les jérémiades à propos de la santé :

J'ai contracté comme tous les gens mal portants l'habitude de parler beaucoup trop de ma santé. Et d'autant plus qu'on a moins l'air de prendre garde à ce que je dis. Ma mère et ma sœur ont contribué pendant un temps à me donner cette habitude en affectant de ne pas m'écouter ou en négligeant ces petits soins et ces petites marques d'intérêt que j'aime infiniment à trouver et que je cherche à obtenir en exagérant le besoin que j'en ai. Je crois que ma femme me changerait facilement sous ce rapport, il suffirait qu'elle m'arrêtât par un avertissement amical.

On retrouve une idée développée par Coriolis à propos de son caractère parfois enflammé pour se faire comprendre : c'est parce que «les personnes avec lesquelles [il a] vécu ont contribué à [lui] donner cette habitude par le peu de confiance qu'elles accordaient à [ses] observations ou l'indifférence avec laquelle elles les recevaient ».

DES DISTRACTIONS RÉCURRENTES

On trouve dès son jeune âge mention d'activités qui resteront les siennes au cours de sa vie : le dessin, les mathématiques, les échecs et la musique. En 1813, âgé de vingt ans, il écrit à sa cousine :

Après le déjeuner jusqu'à 11h ou midi, je m'occupe de ce que j'ai dans la tête dans le moment, je dessine ou je fais des mathématiques. [lettre du 18 février 1813]



En ce qui concerne le dessin, on peut penser que l'attrait de Coriolis a pu être cultivé par ses études à Polytechnique, puis aux Ponts, où le cours de dessin est important. Il ne développera pas, au cours de sa vie, cet attrait qu'il mentionne à vingt ans ; cependant on trouve quelques dessins à main levée dans ses lettres (dessins des plans de ses appartements notamment), et bien évidemment dans ses cours (dessins de géométrie, de dispositifs de mécanique ou d'hydraulique,...). Ici, l'attrait du dessin rejoint la pratique professionnelle, comme pour les mathématiques.

Par ailleurs, dans le domaine des arts picturaux, Coriolis s'intéressera à la peinture : il se fait peindre par Roller en 1841, et il est par ailleurs grand amateur d'aquarelles, qu'il achète pour lui-même, au peintre Eugène Soulès²⁴⁰ notamment.



En ce qui concerne les mathématiques, Coriolis les mentionne à vingt ans, mais on peut penser qu'elles sont pour lui une distraction dès son plus jeune âge. Il faut concevoir ici les mathématiques comme loisir et plaisir, indépendamment de toute production d'ouvrage, de cours ou d'article. Dans son hommage à Guillebon, Coriolis indique que

240. Peintre dont le souvenir a quasi complètement disparu – il meurt en 1876.

« consacrer quelques loisirs à de graves délassements littéraires et mathématiques était tout ce qu'il se permettait de plaisir » : c'est là une conception assez chrétienne du plaisir, qui doit rester un « délassement grave » - il s'agit toutefois d'une rubrique nécrologique, donc teintée d'une certaine gravité, que Coriolis rédige.

Mais, en tout état de cause, on peut penser, en ce qui le concerne, que, comme Guillebon, les mathématiques restent un délassement tout au long de sa vie.



Une autre distraction mérite d'être ajoutée, c'est celle des échecs. Jeu fétiche du mathématicien s'il en est – à présent concurrencé par le bridge – les échecs occupent une place importante dans la vie de Coriolis, revenant en permanence dans sa correspondance. Cette distraction – cette passion peut-être ? – occupe, aussi, une place importante dans ses amitiés. Car, à la différence du dessin ou des mathématiques, jouer aux échecs nécessite un partenaire (nous n'en sommes pas aux logiciels d'échecs). Ce qui montre donc que Coriolis n'est pas si solitaire, comme il s'en plaint souvent dans ses lettres.

Un de ses partenaires d'échecs est en 1843 M. Lyonnet, avec qui il joue deux fois par semaine :

Je vais assez souvent le jeudi et le dimanche faire une partie d'échecs au collège Louis Le Grand près de l'École avec M. Lyonnet professeur de mathématiques.

Il est très fort aux échecs. Il me gagne 10 parties contre une. Mais ce qui m'intéresse c'est de jouer avec lui tandis qu'avec le colonel je m'affaiblissais.

[lettre des 5 & 6 mars 1843]

Coriolis joue donc, comme souvent aux échecs, non pour gagner mais pour apprendre. Il ne semble pas lui venir à l'idée que la crainte d'affaiblissement pourrait effleurer Lyonnet quand il joue contre Coriolis, comme quand ce dernier joue contre le colonel de l'École. Faut-il y voir un indice d'une relation intéressée que Lyonnet entretient avec Coriolis, dont ce dernier exprime la crainte ainsi :

Il est réfléchi et posé, "je lui confie volontiers mes incertitudes". Il ne sait trop que me conseiller. Mais il faut prendre garde qu'il est intéressé à ce que je garde une position influente où je peux lui être utile.

Un autre de ses partenaires d'échecs est M. de Caligny, jeune savant sur les travaux duquel il a fait un rapport à l'Académie, et qui deviendra son ami.

LES AMITIÉS DE CORIOLIS

Malgré une personnalité qui paraît, on l'a vu, assez introvertie, on trouve une certaine vie sociale et des amitiés chez Coriolis, ainsi que des distractions récurrentes.

Le couple Guillebon

Cette amitié se poursuivra avec la veuve de son camarade, Mme de Guillebon, qu'il mentionne à de nombreuses reprises dans ses lettres à partir de 1842 :

Maintenant Mme Guillebon seule n'offre pas la même ressource : les sujets scientifiques de conversation n'y seront plus. Cependant elle est encore la personne avec qui je sympathise le mieux, son caractère franc, ses manières simples, exemptes de prétention, et son esprit fin sans trop de malice me rendront sa société douce. Je compte donc la voir toujours le plus souvent que je pourrai.

Sans doute ces qualités se rapprochent-elles de l'idéal de l'amitié pour Coriolis (et sans doute aussi de la femme idéale, si l'on en croit son document personnel de description de son caractère). On voit que Coriolis n'est pas mondain dans ses amitiés : la profondeur et la franchise de quelques amitiés est préférable pour lui à de nombreuses et superficielles relations.

Cette amitié avec les Guillebon s'étend à un certain nombre de membres de la famille, au-delà du couple formé par son camarade de promotion et son épouse. Ainsi, dans la lettre du 18 août 1842 ([CB]), évoquant un des multiples projets de prise de congés et de voyages – rarement réalisés :

Ainsi je pourrais bien m'absenter du 10 septembre au 1^{er} octobre sans grand inconvénient. Dans ses jours de congés compte prendre 5 ou 6 jours du 10 au 15 pour aller voir Mme de Guillebon auprès de St-Just (Oise) à 18 lieues d'ici et assister à la consécration de la chapelle qu'elle a faite construire sur la tombe de son mari. J'irai avec ma voiture, en partant à 7 ou 8h du matin, j'arriverai à 4h du soir. Ce serait une promenade agréable je tiendrais à voir tous les manoirs des Guillebon. Ils sont 3 ou 4 que la famille possède et exploite depuis des siècles. Je descendrai chez un frère du défunt à Wavignies ; ancien officier ingénieur du temps de l'Empire ; "aussi doux et aussi bon que le pauvre ami Guillebon" Je pourrai quand j'aurai ma retraite aller passer quelques jours là tous les ans. Pour aller à Wavignies, il ne m'en coûte que 100F y compris le retour.

Les partenaires d'échecs : Lyonnet, Caligny.

On peut mettre dans cette catégorie, nous les avons déjà évoqués, les partenaires d'échecs de Coriolis. Ce sont là, autant qu'on peut en juger, amitiés moins profondes et plus récentes que celle avec Guillebon, mais néanmoins réelles.

Lyonnet est professeur de mathématiques au collège Louis-le-Grand, voisin de l'appartement de Coriolis. Malgré le doute qui pèse sur lui dans l'esprit de Coriolis (Lyonnet entretient-il une amitié intéressée avec lui ?), c'est un de ses amis depuis 1835 :

Il est de Nancy. J'ai fait sa connaissance à Épinal il y a 8 ans... Il est de famille pauvre, mais il a beaucoup de sens et d'esprit de conduite. Fait 8 à 10 00 Frs avec les cours au collège et dans d'autres pensions.[CB, lettre des 5 & 6 mars 1843]

On notera à propos de Lyonnet que, pour Coriolis, l'amitié n'est pas une amitié de caste, liée à une naissance ou à la fortune : Lyonnet est issu d'un milieu pauvre, c'est avant tout l'affinité du jeu et de l'amour des mathématiques qui lie Coriolis à Lyonnet.

Un autre de ses partenaires d'échecs est M. de Caligny. Anatole de Caligny est né à Valognes dans la Manche en 1811 (il mourra à Versailles en 1892), où il fait la connaissance de Le Verrier au collège – il est né la même année que lui dans le même département. Il est fortuné, issu d'une famille de haute noblesse, comprenant de nombreux ingénieurs militaires des XVII^e et XVIII^e siècles²⁴¹. Caligny ne prend pas la voie des études polytechniciennes et reste, semble-t-il, un oisif toute sa vie, tout en produisant des travaux hydrauliques par tradition familiale, en « scientifique indépendant ». Il est mentionné comme « auteur de travaux estimés sur l'Hydraulique », et produit un certain nombre de notes à l'Académie des sciences sa longue vie durant.

On en apprend un peu sur la relation qu'a Coriolis avec lui dans une lettre du 5 & 6 mars 1843 :

C'est un homme de 30 ans qui s'occupe d'hydraulique. Ayant eu mal aux yeux, il n'a pas pu suivre la carrière mais il est assez instruit. Il habite avec sa mère et sa sœur (chanoinesse de Bavière); ils sont jaloux de leur noblesse, assez légitimistes.

On note la référence au légitimisme : ici, à la différence de Lyonnet, l'affinité est aussi liée à la naissance (noblesse ancienne) et à la politique – opinions conservatrices communes, sachant que Coriolis n'est toutefois pas légitimiste. La source de l'amitié avec Caligny est aussi, comme avec Lyonnet, le jeu d'échecs et la science : pas les mathématiques, mais dans ce cas l'hydraulique – c'est d'ailleurs elles qui ont mis en contact les deux hommes. Bien que Coriolis n'en manifeste pas le soupçon, on pourrait penser là aussi que l'amitié de Caligny envers Coriolis est intéressée : c'est Coriolis qui fait les rapports à l'Académie sur ses écrits, c'est sa passerelle vers le monde académique.

L'amitié avec Guillebon est la plus profonde, liée aux études faites en commun ; celle avec Lyonnet, aux échecs, à l'origine lorraine commune ; celle avec Caligny, aux échecs, aux origines de noblesse communes : mais dans les trois cas, c'est d'abord et avant tout l'amour de la science qui unit Coriolis à ces trois hommes assez différents.

Autres amitiés de Coriolis.

D'autres amitiés méritent d'être signalées, notamment celle avec les Fourcy. Ambroise Fourcy (1778-1842) est le bibliothécaire de l'École polytechnique – il n'est pas

241. Le *Nobiliaire universel de France* nous indique : « Pendant près de deux siècles, les ingénieurs de cette famille ont été chargés de la direction de toutes les fortifications des frontières de mer et de terre (...) On conserve de ces ingénieurs, au Dépôt des Fortifications, un grand nombre de Plans et de mémoires, dont une partie doit être prochainement publiée » Le premier ingénieur de fortifications de la famille était Jean-Anténor Hüe de Caligny (mort en 1704), ami de Vauban. Son fils, Jean-Anténor aussi, arrêta Marlborough lors de la défaite de Ramillies en 1706 (guerre de succession d'Espagne), au moyen « d'une belle manœuvre d'hydraulique ».

polytechnicien lui-même – et est l'auteur bien connu de l'*Histoire de l'École polytechnique* (1828).

Je vais toujours tous les soirs passer une heure de 10 à 11h chez les Fourcy. Cela me manque quand je n'y vais pas. Bien qu'ils ne soient pas très aimants hors de leur famille cependant c'est là ma plus grande intimité et comme il m'en faut absolument je me contente de celle-là. Je regarde un peu Claire et Louise comme mes filles et je prends un instinct paternel à ce qui leur arrivent (sic) [lettre du 9 au 20 novembre 1841]

Coriolis fait clairement la différence entre son amitié pour le couple Guillebon et son amitié pour le couple Fourcy. Dans sa lettre du 1^{er} janvier 1842, il indique qu'il avait préféré passer plus de temps chez les Guillebon que chez les Fourcy.

Après la mort de Fourcy en 1842, Coriolis fréquente la veuve et les filles, comme il le fait chez Guillebon. Dans sa lettre du 26 mars 1843, il indique qu'il voit « les dames Fourcy une fois par semaine », mais que Mme de Guillebon « lui convient mieux car il y a plus de fond et de raison chez elle ». Dans sa lettre du 9 avril 1843, indiquant qu'il rend visite à Mme de Guillebon d'une part et aux Fourcy d'autre part, il précise :

Les Fourcy sont trop égoïstes et trop calculateurs.

Des amitiés simples, aussi

Il apparaît, à la lecture de ses lettres, que le milieu social n'est pas pour Coriolis un critère de choix de ses relations amicales. Malgré sa naissance, il a aussi des amis issus d'un milieu simple, il en apparaît à plusieurs reprises. Là aussi, nous pensons ceci révélateur d'un caractère peu mondain chez Coriolis.

On a vu que son partenaire d'échecs Lyonnet est issu d'un milieu simple. Coriolis rend aussi visite à la sœur infirmière de l'École, qui apparaît à plusieurs reprises dans sa correspondance : il lui offre un des quatre crucifix qu'il avait fait mouler – ici le lien religieux l'emporte sur la différence sociale et de naissance.

Je fais assez souvent une visite à la sœur de notre infirmerie c'est une femme d'environ 35 ans qui a de la tête et cause bien, surtout quand elle est sur l'article du jansénisme. Je n'avais pas eu idée de l'importance que certaines personnes attachent encore à ces [matières?] : notre sœur est aussi janséniste que possible ; c'est sa pensée fixe. [lettre du 1^{er} janvier 1842]

Dans le cas de Lyonnet comme dans le cas de la sœur infirmière, indépendamment de l'origine sociale ou du milieu professionnel, c'est d'abord et avant tout l'intérêt intellectuel qui compte pour Coriolis : l'émulation aux échecs avec Lyonnet, les discussions sur le jansénisme et l'intérêt partagé pour la religion avec la sœur infirmière.

Dans un autre ordre d'idées, il fréquente aussi le colonel Courtois, second de l'École, et sa famille :

Je suis content de la société des Courtois, Madame est bien. Elle a de la religion et de l'instruction, elle est bonne mère de famille. Ses quatre filles sont bien élevées. On sait que notre colonel doit s'en aller, mais il paraît qu'il s'est décidé à rester. J'en suis bien aise, il est brave homme et Madame est bonne et très spirituelle. Elle reçoit en femme de bonne compagnie, sans apprêt et avec à propos. [lettre du 14 avril 1843]

LES RÉCEPTIONS QU'IL DONNE À POLYTECHNIQUE

Sur le tard, en tant que directeur des études, Coriolis va recevoir chez lui, ès-qualités. Coriolis organise des soirées avec les élèves, ce qui semble être une tradition de bonnes relations entre la hiérarchie et les élèves, associant le personnel de l'École. On peut penser que ces soirées prennent place dès sa prise de fonctions, fin 1838, en tout cas on en trouve trace en 1840 :

Hier j'ai fait une grande soirée, le général est venu. J'avais 10 élèves et environ 35 personnes de l'École. On a fait un peu de musique. Cela était assez gai. [lettre du 12 au 14 novembre 1840]

Mercredi dernier j'ai eu assez de monde, j'avais 30 élèves qui ont un peu dansé. J'ai du plaisir à voir les demoiselles de l'École s'amuser et les élèves ne pas s'ennuyer à mes soirées. [...] Mercredi prochain j'aurai deux curiosités (...) un nouvel instrument qu'on appelle mélophone : voici de quoi m'attirer du monde, heureusement que j'ai de la place. [lettre du 6 décembre 1840]

À la rentrée d'octobre 1841, il indique « je ne sais pas si je recevrai cette année », à cause de sa santé, et finalement quelques lignes plus loin :

Cependant en n'ayant pas trop de monde chez moi quelquefois cela me distrait. Il me serait pénible de laisser mon bel appartement improductif. [lettre du 4 octobre 1841]

et un mois plus tard :

Je vais commencer à recevoir samedi prochain 27 et je continuerai tous les 15 jours. Je prends le samedi d'accord avec le général parce que les élèves pourront rester jusqu'à 11h1/2 ou minuit sans que cela les dérange [sic] le lendemain dimanche où ils peuvent dormir un peu plus tard.

Le général décidément ne recevra pas, il n'est question de rien chez le colonel ; de sorte que je me suis gré de m'être décidé à recevoir il est bon que quelqu'un le fasse et je ne suis pas fâché que ce soit moi. (...) [à propos des élèves] Je ne les aurai pas plus d'une fois chacun, ce n'est rien comme dérangement. J'en inviterai environ 25 par soirée. [lettre 9-20 novembre 1841]

Je donnerai encore deux soirées l'une le samedi 9 avril et l'autre le 23. Cela est nécessaire pour que j'aie reçu tous les élèves de la 1^o division (les anciens). [lettre du 1^{er} avril 1842]

J'aime à voir nos jeunes (ill.) s'amuser. J'avais 30 élèves ; cela a complété la 1^o Division (les anciens) ; tous ont été invités. Quant aux nouveaux ils sont 180 je n'en ai eu q'environ 100 [lettre du 24 avril 1842]

ÉCRITS PERSONNELS DE CORIOLIS

Nous avons déjà évoqué les écrits personnels de Coriolis à travers sa « femme idéale » – extraits de « Notes de Coriolis sur lui-même », datées de 1826. Outre celles-ci, d'autres écrits personnels existent aux archives de l'Académie :

- « Observations sur une affection nerveuse des voies digestives »
- « Quelques idées sur le duel »
- « Notes sur les améliorations à introduire dans la musique religieuse » ([AMR-AAS])
- « Notice sur G.G. Coriolis, pour servir après sa mort » ([ASM-AAS]).

Les deux derniers écrits peuvent être datés des dernières années de Coriolis. Le dernier, notamment, nous a aidés dans la reconstitution de certains éléments chronologiques dans la carrière de Coriolis – ce que N.A. Renard avait pris à l'appui de son discours biographique de 1862.

Nous n'avons pas souhaité développer plus avant l'étude de ces correspondances privées et manuscrites, qui à notre avis n'ajoutent que peu à la vision que nous avons eue de la personnalité de Coriolis, telle que nous l'avons décrite ci-avant. Nous nous contenterons simplement d'évoquer brièvement trois d'entre eux.

Correspondance éducative avec sa sœur Cécile

Elle s'échelonne entre 1819 et 1821 ; Coriolis est alors à Paris depuis trois ans, et sa sœur, restée à Nancy avec sa mère, arrive à l'âge de seize ans – elle est née en 1803. C'est une correspondance à caractère éducatif et moral – Coriolis, depuis la mort de son père en 1811, est soutien de famille du point de vue financier, mais aussi du point de vue moral. Il s'inquiète aussi, dans cette correspondance, de la santé du dernier frère qui lui reste, Prosper – de six enfants du couple il n'en reste que trois, et Prosper mourra peu après.

Il serait assez fastidieux d'entrer dans le détail de cette correspondance entre frère et sœur²⁴². Coriolis joue un rôle de précepteur – et parle aussi de lui dans ces échanges :

Ainsi l'instruction vous fera faire un meilleur mariage ou vous préservera d'un mauvais (...) ce que je dis d'une demoiselle je l'appliquerais à un garçon. Un homme qui ne se marie pas doit être un savant, ou il fait triste figure.

Coriolis donne par exemple des leçons de grammaire, sur l'utilisation de l'imparfait du subjonctif. Il encourage sa sœur à l'utiliser dans certains cas (« Mr X a voulu que j'en porte, écrire *portât*»), mais le déconseille dans d'autres :

242. On notera que Coriolis écrit à sa sœur en mentionnant systématiquement la particule *Cécile de Coriolis*, ce qu'il ne fait jamais pour lui-même (ceci est confirmé par Grattan-Guinness qui indique ([1990]) que G.G. de Coriolis s'appelle lui-même Coriolis).

Vous dites "je voudrais que vous m'enseignassiez", ce n'est pas une faute au contraire, mais c'est à prétentions (...) quand les mots sont longs les "assiez" écorchent les oreilles.

On retrouve à travers cette correspondance un Coriolis attaché aux conventions, ainsi qu'au rang social et à l'éducation.

Sur les améliorations à introduire dans la musique religieuse

Ce manuscrit, écrit sur le tard, est empreint de la profonde religiosité de Coriolis. Voyons-y aussi, accessoirement, un amour de la musique, puisque Coriolis va par ailleurs écouter du champ profane – il fréquente l'opéra, ses goûts semblant assez classiques : à une époque où la musique romantique ne s'est pas encore épanouie, il aime le compositeur Grétry (1741-1813).

Dans cet écrit, Coriolis s'élève contre une tendance à privilégier la performance vocale dans la musique religieuse : de sorte que les églises attirent «un auditoire plus curieux d'assister à un concert que de venir s'exercer à l'élévation vers Dieu ». En un mot, on ne fait plus de prière dans les églises, on y fait de la musique, qui plus est « avec des musiciens plus habiles artistes que bons chrétiens ». Le chant, selon Coriolis, ne doit jamais attirer l'attention des fidèles, il doit être simple, grave et solennel. À la force du chant, il convient de privilégier les timbres suaves, qui eux sont susceptibles de s'harmoniser avec la prière.

Comment y remédier ? En formant la jeunesse – on retrouve là le souci pédagogique et de transmission qu'a Coriolis en matière scientifique. :

Pour fournir aux églises de bons choristes adultes, il faut faire chanter dans les écoles primaires et y choisir ensuite des voix sauvées déjà un peu exercées (...) Non seulement on parviendra ainsi à régénérer le chant des paroisses, mais on donnera au peuple de l'oreille et le goût des chants religieux.

Car c'est au prix de la régénération des chants d'église que l'on pourra faire progresser le catholicisme : tel est l'enjeu pour Coriolis.

Quelques idées sur le duel

Il n'est pas aberrant de trouver des écrits non scientifiques, même chez des scientifiques qui ne firent pas carrière politique. Un autre exemple d'écrit de morale – publié celui-ci – est l'opuscule écrit par Cauchy en 1844, *Considérations sur les moyens de prévenir les crimes et de réformer les criminels*. Il est d'ailleurs intéressant de voir que ces écrits à caractère moral semblent plutôt émaner de scientifiques se rattachant au parti conservateur, comme Cauchy et Coriolis.

Cet écrit de Coriolis est difficile à dater : Coriolis le mentionne dans une lettre à sa cousine en 1842, en disant qu'il l'a écrit longtemps avant. Ce n'est pas réellement un écrit de jeunesse, bien qu'une certaine naïveté s'en dégage lors de la première lecture. Il est, peut-être, à remettre dans le contexte général des discours moraux fleurissant lors de la Restauration, et dans le contexte personnel plutôt religieux et conservateur de Coriolis. Un contexte de conjoncture a pu aussi jouer : François Guillet, dans son étude sur le duel à travers les âges, nous rappelle qu'en mai 1828 l'affaire du duel entre Lemaire et Huet à Lille (qui se solde par la mort du second, et l'acquiescement du premier six mois plus tard) fait grand bruit dans le pays – ce duel, souligne Guillet, a ceci de remarquable qu'il « a l'avantage d'opposer deux personnages sans renom particulier et non deux célébrités ».

Mais une clef plus pertinente de son texte nous est donnée par Coriolis beaucoup plus tard, dans une lettre du 24 avril 1842 à sa cousine :

Peut-être vous enverrai-je une [ill.] que j'ai écrite il y a longtemps mais que je n'ai encore montrée à personne. C'est une utopie sur le Duel.

Il s'agit donc d'une utopie, comme il pouvait en exister à l'époque. Peut-être est-ce Coriolis, homme d'âge mûr, qui qualifie ainsi en 1842 cet écrit de jeunesse : au moment où il l'écrivait, l'aurait-il qualifié ainsi ? En tout état de cause, il nous semble rare qu'un scientifique écrive ainsi une *utopie* – c'était plutôt le fait des philosophes.



Le moteur de cet écrit semble être à caractère religieux. Pour Coriolis, le fait qu'une vie soit perdue au cours d'un duel est contraire à la religion chrétienne. Par ailleurs, le duel donne un avantage « scandaleux » aux personnes qui connaissent le maniement des armes, qu'il qualifie de « spadassins téméraires ». Il imagine alors un mécanisme de substitution fort original, où l'offensé engage une certaine somme – l'offensé, qui réclame réparation, doit courir un certain danger :

Il faut qu'on prouve au monde qu'on préfère son honneur à la vie même, ou au moins à ce qu'elle de plus précieux. Si un tribunal vous venge d'un outrage pendant que vous attendez avec sécurité son jugement, serez-vous empressé d'employer la voie de la justice pour prouver seulement que votre adversaire a eu des torts, mais sans montrer quel prix vous attachez à cette réparation ?

En cas d'offense légère, l'offensé engage une somme monétaire devant le tribunal. Celui-ci, après s'être enquis de la situation financière du provocateur, fixerait une somme qu'il doit verser. L'originalité de la proposition de Coriolis réside dans le tirage au sort :

Le sort déciderait toujours entre les adversaires lequel des deux subirait un certain sacrifice : que pour cette raison je continuerai d'appeler enjeu.

Celui qui perd suite au tirage au sort, que ce soit l'offensé ou l'offenseur, voit la somme qu'il a engagée versée à des hospices de charité.

En cas d'offense qu'il juge lourde, l'offensé engage auprès du tribunal un « enjeu » différent, à savoir une durée de service dans des hospices au chevet des malades. La mise

en perspective religieuse est aussi faite par Coriolis ; l'offensé risque quelque chose, mais dans un cadre admis par la religion :

Ainsi Dieu nous défend de lui donner notre vie, mais non de la lui offrir en nous mettant en danger de la perdre par un acte de dévouement. Il n'interdit ni à un prêtre, ni à une sœur de charité, de visiter des malades dans une épidémie ; et il ne défend pas au soldat de monter à l'assaut au moment le plus dangereux. Un homme attaqué profondément dans son honneur pourra donc appeler son adversaire à courir avec lui la chance de consacrer un certain nombre d'années au service d'infirmier des hôpitaux.

Au cas où celui qui effectue la peine (que ce soit l'offenseur ou l'offensé) ne met aucun zèle au service des malades, alors pourra être substituée une peine où l'on imposera – c'est sans doute l'idée la plus curieuse de cette « utopie » –

l'obligation aux réclusionnés de se soumettre aux expériences des médecins pour résoudre bien des questions intéressantes d'hygiène et de médecine.

Coriolis examine aussi divers cas particuliers, notamment celui du duel impliquant des officiers : ceux-ci doivent être jugés par un tribunal militaire, et l'enjeu serait de faire des années de service en tant que simple soldat, ou dans les Colonies.

En fin de compte, l'idée est que chacun des protagonistes, offensé comme offenseur (et la proposition de Coriolis rend totalement symétriques leurs positions) s'en remette au choix du tirage au sort, plutôt qu'au risque de sort fatal qu'il prend dans le duel

le principe essentiel du système est de subsister à une chance de mort immédiate ou de blessure grave, sans profits pour la société, celle d'un sacrifice noble et utile, et qui ôte au duel son caractère d'immoralité et de barbarie.

C'est donc un Coriolis profondément attaché à la morale chrétienne tout au long de sa vie qu'on retrouve dans cet écrit, comme dans la correspondance avec sa sœur (écrite par Coriolis à la trentaine) et dans le manuscrit sur la musique religieuse (écrit à la cinquantaine).

Conclusion

Centrer un travail de thèse sur un personnage n'est pas chose facile. De grands savants, à l'œuvre et à la personnalité marquantes, tels Cauchy ou Liouville, ont pu être étudiés avec profit pour l'historiographie de la période. Concernant Coriolis, ç'a été plus difficile : l'œuvre est éclectique, le personnage difficile à cerner.

Nous avons dit qu'au départ notre motivation était le fort décalage entre le fait que ce nom est connu dans le monde entier, alors que le personnage lui-même est inconnu : cette motivation était importante, mais au fur et à mesure de notre travail, nous avons pu voir à quel point il était intéressant d'entrer dans l'œuvre scientifique du personnage. Le travail ainsi centré sur un individu, sans nécessairement tourner à la biographie, mérite à notre sens une place dans l'historiographie : il permet de cerner l'individu dans la globalité de son œuvre, et non seulement à travers un de ses écrits (ouvrage, article) commenté dans un article actuel, ou même mis en perspective avec l'œuvre d'autres savants. C'est notamment vrai quand l'œuvre est ainsi protéiforme – c'est le cas de Coriolis.

Il nous est apparu, au cours de notre travail, que de telles approches pourraient être conduites avec profit sur d'autres personnages de la même période. Nous avons donné l'exemple de Navier, par de nombreux points comparable à Coriolis – ne serait-ce que par le fait que, comme lui, il fait partie des rares scientifiques à avoir donné leur nom à une célèbre formule de la physique : son œuvre et sa carrière pourraient être abordées de manière globale, et complémentaire à des articles portant sur tel point de sa contribution à l'hydraulique. D'autres savants, plus mineurs, pourraient aussi faire l'objet d'une approche globale – elle nous a manqué lors de nos travaux, on peut penser par exemple à Bélanger ou, dans une moindre mesure, Pierre-Simon Girard. Le cas de Bélanger est intéressant, à la fois par ses contributions en hydraulique et par le rôle qu'il joue institutionnellement dans l'enseignement en France sur la période 1835-1860 : à cet égard, son profil se rapproche de celui de Coriolis – nous avons d'ailleurs émis l'hypothèse de « fils scientifique de Coriolis » à son égard.

C'est aussi l'intérêt d'un tel travail que d'étudier l'environnement institutionnel des grandes écoles de la période à travers le prisme d'un personnage. Certes, cet environnement a fait l'objet d'études précises (École polytechnique, École centrale, École des ponts,...), et même d'une branche de l'historiographie : mais examiner comment un personnage donné s'intègre dans cet environnement – ou plutôt dans ces environnements (par exemple Coriolis évolue dans les trois écoles susmentionnées), et en est un acteur, nous paraît apporter un éclairage intéressant, et certains aspects peut-être limités mais inédits.

Nous sommes néanmoins bien évidemment conscient du caractère partiel, peut-être même parfois partial, d'une approche ainsi centrée sur un individu. Elle se traduit forcément par des choix faits dans une œuvre multiforme. Elle permet cependant, concernant Coriolis, de mettre en évidence divers points nouveaux dans l'historiographie ; le présent travail a aussi ses défauts, en ce sens qu'il n'a pu approfondir certains aspects

qui, sans doute nous amenaient trop loin de notre champ – disons que, peut-être, il a ouvert des pistes de travail à explorer. Nous nous proposons de détailler à la fois ces aspects positifs et ces insuffisances ci-après – en premier lieu sur la méthode, en second lieu sur le fond.



Discourons donc d'abord sur la méthode, et la forme. Dans *histoire des sciences*, il y a *histoire*. Il nous est apparu très vite que les questions historiques qu'on peut se poser à propos de Coriolis sont limitées à la fois en nombre et en intérêt, fussent-elles même posées comme des hypothèses. Il nous semble que nous avons touché là les limites de la mise en perspective historique d'un personnage à caractère presque exclusivement scientifique. Nous relèverons néanmoins quelques questions sous forme de pistes de réflexion, dans l'ordre chronologique de la vie de Coriolis.

La première question a trait à l'École polytechnique et l'aristocratie : l'École, après la tourmente révolutionnaire, a-t-elle pu représenter – au choix – un échappatoire, un lieu d'accueil, une bouffée d'oxygène pour des jeunes gens issus de haute famille aristocratique ? Le métier de savant ou d'enseignant a-t-il pu devenir, par défaut ou par opportunité, une nouvelle possibilité dans les carrières offertes aux jeunes rejetons de haute noblesse, formant enfin une alternative aux carrières habituelles d'officier, de prélat ou de tenue de charge – qui elles, d'ailleurs, avaient été supprimées ?

Pendant la période suivante (1817-1829), nous nous sommes aussi demandé, à propos des écrits personnels de Coriolis, si on pouvait les inscrire dans une tradition contemporaine à la Restauration, celle d'un retour très prégnant à la morale, aussi celle d'une tendance à l'introspection préfigurant le romantisme français. C'est d'ailleurs une des seules questions historiques non liées à la science ou à ses institutions que nous avons eu l'opportunité de nous poser : nous y avons répondu positivement.

Enfin, la troisième question de mise en contexte historique que nous nous sommes posée comme liée au sujet concerne les périodes suivantes (1830-1843) : la politique a-t-elle pu jouer un rôle dans la carrière scientifique de Coriolis ? Il paraît clair qu'en 1816, le fait que Coriolis soit issu d'une famille de haute noblesse joue un rôle, parmi d'autres, dans son engagement comme répétiteur à Polytechnique – bien que nous n'ayons pu l'établir positivement. Il est possible aussi qu'en 1830 il y ait eu un besoin d'hommes neufs, et que Coriolis en fut. En revanche, le développement de sa carrière scientifique se fait sans relation avec la politique : là aussi, des personnalités politiquement très marquées, comme Cauchy dans le clan légitimiste ou Arago dans le clan libéral, ont incontestablement marqué l'environnement institutionnel de leur époque (notamment pour Arago) et conséquemment l'historiographie des sciences. Rien de tel chez Coriolis, pour lequel nous avons vu que pratique scientifique et opinions politiques personnelles (plutôt royalistes et catholiques) n'entrent pas en interaction – il s'oppose même au clan Arago, non parce qu'il n'est pas du même bord politique, mais parce que ce mélange des

genres lui est totalement étranger : il privilégie ce qu'il estime être l'intérêt de l'École polytechnique. Nous décelons là un point de méthode distinguant l'étude des grandes figures (Arago, Cauchy, Liouville,...) de l'étude des scientifiques moins proéminents, comme Coriolis : la mise en perspective historico-politique en est moins aisée, et sans doute moins nécessaire. Nous retrouverons ce point de méthode ci-après à propos des *classifications* – la classification politique en est une elle aussi.



Mais dans *histoire des sciences*, il y a aussi *sciences*. Nous souhaitons expliquer la façon dont nous avons travaillé en matière d'approche des écrits scientifiques de Coriolis, démarche qui ne sous est sans doute pas propre, mais qui nous semble correspondre à une piste féconde en histoire des sciences.

La compréhension de la démarche scientifique passe à notre sens par la compréhension de l'article scientifique lui-même : Grattan-Guinness ([1993]), quand il parle de la figure de l'ingénieur-savant « négligée », l'impute au fait qu'ils étaient « à la base mathématiciens », et à une certaine aversion envers les mathématiques :

As far as the history of science is concerned, the main reason is mathsphobia, which affects its historians as it does society in general.

C'est dans cet esprit qu'il nous a paru important de pénétrer la mathématique de Coriolis, autant que faire s'est pu – car les écrits de Coriolis sont particulièrement difficiles du point de vue scientifique. Nous avons essayé de comprendre – et d'expliquer au mieux – un certain nombre de résultats importants de Coriolis, et notamment son théorème des transversales, ses deux articles sur le mouvement relatif, ses différents exemples dans le jeu de billard, le coefficient de Coriolis en hydraulique.

Et, à notre sens, une telle compréhension passe forcément par la mise en perspective de ces articles par rapport à la connaissance scientifique actuelle – c'est la démarche, parfois parallèle à la démarche académique habituelle, que nous avons par ailleurs²⁴³, et que nous avons eue en abordant ces quelques articles fondamentaux, représentatifs de l'œuvre scientifique de Coriolis.

En tout état de cause, un travail détaillé sur Coriolis, ou sur l'un des personnages mentionnés ci-dessus, ne peut faire l'économie d'une compréhension, au moins partielle, des calculs figurant dans ses articles – dont nous soulignons, à nouveau, la complexité.



Après la méthode et la forme, les points dégagés sur le fond par cette thèse, comme ses insuffisances, méritent d'être détaillés dans cette conclusion.

L'apparition d'un Coriolis mathématicien a été inattendue. Le fait qu'il ait inspiré Cauchy, par exemple dans les conditions de convergence d'un produit infini, et que

243. Voir par exemple la bibliothèque numérique d'histoire des sciences que nous avons créée en 2008 www.bibnum.education.fr; sur les principes de cette bibliothèque, voir A. Moatti « BibNum, une bibliothèque numérique d'histoire des sciences », *Bulletin des bibliothèques de France*, mai 2010.

Cauchy le reconnaisse, est intéressant – Wermuth proposait même d'appeler *test de Coriolis* cet apport relatif à un produit infini. Les développements de Coriolis sur la théorie des transversales de Carnot retiennent aussi l'attention: le lien qu'il fait avec les équilibres de forces et leurs moments, et en conséquence la concision de sa démonstration, nous paraissent être œuvre originale.

L'analyse du mémoire manuscrit de 1826 de Coriolis à l'Académie des sciences n'avait jamais été faite. C'est une pièce importante relative à la définition du travail en mécanique, qui vient trois ans avant le *Calcul*, et où cette notion est introduite de manière plus limpide et directe. Il nous a semblé aussi faire œuvre utile en analysant le *Calcul* comme une véritable théorie du travail, avec toute la densité que l'on peut mettre dans ce mot de *théorie*, et que Coriolis met effectivement – sa proposition de désigner les forces vives par $\frac{1}{2}mv^2$ en est un signe, souvent sous-estimé et vu comme une simple nécessité à caractère pédagogique. Le débat stérile entre mécaniciens autour de l'unité de travail (dynamode de Coriolis, dyname, kilogrammètre,...), ou entre l'unité de travail et celle de puissance, ont aussi été mis à jour.

L'autre invention majeure de Coriolis, ayant trait au mouvement relatif, a aussi été étudiée de manière innovante. Une étude comparée des deux articles de 1831 et de 1835 était nécessaire: le premier est une simple égalité scalaire (comme l'est le principe des forces vives), tandis que le second est une égalité vectorielle (comme l'est le principe fondamental de la dynamique) – pourtant tous les résultats du second, moins complexe et moins construit, sont en germe dans le premier. En sus de la notion de *force centrifuge composée* (qui deviendra *force de Coriolis*), la notion de force d'entraînement nous paraît devoir être mise à l'actif de Coriolis: c'est, là aussi, une véritable *théorie du mouvement relatif* qu'il construit – la différence entre la force appliquée dans le repère relatif et la force appliquée dans le repère absolu étant constituée par les deux composantes proposées par Coriolis, la force d'entraînement et la force centrifuge composée.

Parallèlement, l'immédiat amont comme l'immédiat aval de cette découverte ont été examinés. En complément de l'étude détaillée de Belhoste & Lemaître sur les roues à aubes de Poncelet, il était important de bien mettre en évidence l'erreur de Poncelet concernant le mouvement relatif, tant cette erreur a été source de résultats fertiles... chez Coriolis. L'article d'Ampère de 1830, après les mémoires de Poncelet et le *Calcul* de Coriolis, mais avant les articles du *JEP* de 1831 et 1835, a paru aussi un jalon dans cette marche vers la théorie du mouvement relatif: quoique d'approche purement cinématique et portant sur un cas particulier, il montre que le sujet «était dans l'air» et lève un coin du voile sur la raison de l'intérêt de Coriolis pour ce sujet, qu'il développe dans la plus grande généralité de son domaine – la théorie des machines – et de manière purement dynamique.

C'est cette approche, justement, qui explique flottements et malaise qui s'en sont suivis dans le monde savant, à propos de la claire compréhension de la force centrifuge composée. Certes ce débat a déjà été étudié, ne serait-ce que par ses protagonistes eux-

mêmes. Mais là aussi, la vision à travers le prisme de Coriolis nous paraît intéressante : pourquoi les idées de ce savant ont-elles du mal à percoler en son propre pays entre 1835 et 1860 – pour finalement voir leur champ d’application initial largement étendu, et leur voir accorder une reconnaissance universelle de nos jours dans de nombreux domaines ? Nous ne prétendons pas avoir répondu complètement à cette question, mais la relation de la jonction entre force centrifuge composée de la théorie des machines d’une part, et érosion des cours d’eau en géo-hydrologie d’autre part, méritait d’être rappelée – notamment la synthèse fort avisée, et loin d’être évidente, qu’en fait Delaunay.

L’étude faite par Coriolis du jeu de billard a aussi été un élément important. Venant juste après une innovation majeure dans le jeu, la queue à procédé, c’est un des rares exemples en histoire des sciences où un sujet est vidé de sa substance, sans guère d’apport ultérieur possible. D’autres résultats scientifiques de Coriolis ont été exhumés, comme le coefficient de Coriolis en hydraulique des cours d’eau : même s’il a peu soulevé l’intérêt des historiens des sciences, il a soulevé celui des hydrauliciens – c’est un sujet de recherche fécond dans l’hydraulique moderne.

Enfin, l’historiographie de l’École polytechnique sur la période 1838-1843 a pu être précisée avantageusement grâce à la correspondance personnelle de Coriolis avec sa cousine, fort riche en détails et anecdotes professionnels. Un éclairage inédit a pu être porté sur certains enseignants de cette période – lumière parfois crue sur Liouville et le fonctionnement du «clan Arago» à Polytechnique. Une pierre a été apportée à la déjà (trop) riche historiographie comtienne sur le déroulement précis des «affaires Comte» en 1840 et en 1843, telles qu’elles apparaissent dans la correspondance privée du directeur des études qu’était Coriolis.

L’étude des propositions faites par Coriolis en 1839 pour la réforme de l’enseignement dans la «filiale polytechnique» est inédite – notamment parce que ces propositions sont restées lettre morte à ce moment-là. De fait, certaines de ces propositions seront reprises en 1850. Mais justement, cet échec de 1840 méritait d’être analysé comme une page tournée, celle de l’école de Monge – cet esprit si particulier qui avait présidé à la création de l’École ne survivrait pas à la disparition de ceux qui avaient suivi cet enseignement, et d’une certaine manière perpétré cet esprit : Coriolis en est un exemple remarquable. On ne saurait en dire autant d’Arago, opportuniste et peu fidèle à la mémoire de Monge qui l’avait pourtant introduit en 1809 comme enseignant à Polytechnique : doté à partir de 1830 de nombreux pouvoirs, il a laissé s’évanouir cet «esprit de Monge» au profit d’un enseignement beaucoup plus théorique – mais finalement peut-être était-ce un signe des temps, ou une conséquence de leur évolution : les miracles ne se perpétuent ni ne se ressuscitent.



Au passif du présent travail, nous inscrivons un certain nombre de points que nous n’avons pu investiguer dans le cadre de ce projet de thèse – car c’est aussi le revers de la

médaille d'un sujet biographique que d'être trop large : on doit forcément en limiter les développements. Peut-être pourrions nous dire, de manière immodeste, que nous ouvrons ainsi des pistes de travail.

La première d'entre elles concerne le passage de la notion de travail mécanique à celle plus générale d'énergie au cours du XIX^e siècle – notamment l'énergie cinétique $\frac{1}{2}mv^2$ égale à la demi-force vive que Coriolis avait proposé de redéfinir. Ce thème comprend la lente évolution vers le choix d'une unité pour le travail et la puissance – on a vu que ce sont les électriciens qui « remportent la mise » dans les années 1880, les « mécaniciens appliqués » étant trop indécis, et trop éloignés des « mécaniciens rationnels » qui se souciaient peu d'une quelconque unité physique. Mais ce thème inclurait nécessairement la façon dont la notion de travail, ou assimilée, sera mobilisée au cours du siècle en thermodynamique. Si le lien entre mécanique et électricité s'est fait, *volens nolens* pour les mécaniciens, au moins par le choix d'une unité, il serait intéressant, au-delà du présent travail, de comprendre comment se fait le lien entre le travail mécanique défini par Coriolis et les notions d'énergie libre et d'enthalpie que formulera la thermodynamique.

La deuxième piste ouverte a trait à la méthode même de la recherche biographique. L'approche individuelle comparée, comme nous l'avons esquissée entre Coriolis et Poncelet, pourrait être développée, par exemple entre Coriolis et Navier, ou Coriolis et Bélanger, si des monographies un peu consistantes existaient sur ces deux personnages, à la manière de ce que nous avons essayé de faire ici avec Coriolis. Cette approche comparative pourrait apporter, à notre sens, des éléments à l'historiographie de cette période.

La troisième piste ouverte a trait à la postérité internationale de la force de Coriolis. Il nous a paru intéressant d'étudier comment, en France et dans les vingt années suivant la mort de Coriolis, le concept de force centrifuge composée s'impose progressivement, y compris et surtout dans des domaines sans rapport avec la théorie des machines. Persson, historien de la météorologie, a étudié plus globalement l'histoire de la force de Coriolis en météorologie à travers les âges : il a montré, par exemple, que Ferrel, météorologue américain, la découvre indépendamment dans les années 1850. Mais il nous semble qu'il manque un maillon plus fin, à savoir comment l'idée de force centrifuge composée quitte le sérail parisien du *JEP* et des *CRAS* (où le débat est vif encore en 1859) : comment, au niveau international, viennent à être connus ces travaux, et comment est fait le lien entre la force centrifuge composée (celle de Coriolis) et des domaines d'application différents ? – nous avons vu que même en France, ce lien ne se fait de manière ni immédiate ni évidente.

Nous devons indiquer que, si nous n'avons pas poursuivi ces pistes, c'est aussi parce qu'elles nous paraissent nous éloigner du sujet que nous nous étions fixés. Le sujet « Coriolis » nous permettrait de mettre le doigt sur chacun de ces pistes, à notre sens relativement inexplorées ; *a contrario* ce même sujet ne nous légitimait pas pour les

approfondir plus avant. Nous laissons à d'autres le soin de le faire, si ces sujets leur paraissent en effet inexplorés et s'ils les intéressent.



Nous souhaiterions terminer cette conclusion par un point de méthode pédagogique que ce travail nous a enseignés. Il a trait à la classification des personnages d'étude qu'on peut faire en historiographie des sciences, comme par exemple celle des « ingénieurs-savants », ou des images qu'on peut prendre à leur propos, elles aussi classifiantes, comme parler du « Newton de la mécanique appliquée ». Créer des filiations est aussi une forme de classification, comme dire que tel savant se rattache plutôt à l'école de mécanique de Lagrange qu'à celle de Carnot.

La science, et avec elle son histoire, ont toujours bien aimé classifier – ce ne sont pas Auguste Comte ni John Stuart Mill qui diront le contraire ! D'ailleurs bin de moi l'idée d'invalider ce type de classifications – elles m'ont beaucoup aidé dans la compréhension de mon sujet, et j'en remercie leurs auteurs, qui se reconnaîtront, plusieurs ensemble autour d'une même notion peut-être. Mais le présent travail – et c'est un des enseignements que j'en retire – m'apprend à *relativiser* ce type de classifications.

Un travail biographique (j'entends par travail biographique un travail centré sur un personnage donné) sur un « très grand » savant, comme Liouville ou Cauchy, ne permet sans doute pas une telle prise de conscience. Ces savants sont des catégories à eux tout seuls – c'est d'ailleurs pour cette raison que plusieurs thèses, ouvrages et carrières professionnelles leur ont été consacrées. Mais s'attaquer à un « grand savant » (et non un « très grand »), justement ce type de savants qu'on classe dans ce genre de catégories englobantes²⁴⁴, expose à certains risques – notamment celui d'avoir à amodier ces catégories, ou à en relativiser la portée locale (au sens qu'on donne au terme de *localité* en physique). Car, comme dans la mesure fractale (celle des côtes de la Bretagne), ou comme dans le principe quantique d'Heisenberg, l'échelle de travail elle-même modifie forcément la perception – dans ce cas, la perception qu'on a du savant et avec elle des catégories dans lesquelles il est habituellement rangé.

Encore une fois, nous ne remettons pas ces catégories en question, et nous aurions mauvaise grâce à le faire puisque nous en avons justement utilisé une (« Coriolis, mathématicien, théoricien de la mécanique appliquée ») en tant que titre de notre thèse et aussi comme fil directeur ; nous ne renions bien évidemment pas cette catégorisation que nous avons choisie. Mais cette étude plus approfondie d'un individu donné amène inévitablement à des questions : Coriolis est-il un *ingénieur-savant* alors qu'il a été si peu

244. Donnons un autre exemple de classification, moins marquant – par ailleurs ce n'est pas pour nous un enseignement dû à cette thèse car nous le savions avant de commencer : la classification à caractère politique ne s'applique pas à l'étude de Coriolis. On peut presque caricaturalement classer sans difficulté Cauchy comme un *savant légitimiste*, ou à l'opposé Arago comme un *savant libéral* : c'est l'apanage des fortes personnalités. Il ne saurait être question de classer Coriolis dans de telles typologies, même moins marquées. S'il fallait créer une catégorie du *savant apolitique*, c'est-à-dire une non-catégorie au regard de ce type de classifications, on pourrait le faire pour Coriolis. Découvrir cela n'est pas pour moi un enseignement de cette thèse – mais le voir confirmé en est un.

ingénieur ? Inversement serait-il simplement un savant alors qu'il a tant fait de mécanique appliquée ? Peut-on distinguer son approche de celle de Poncelet, qu'on peut qualifier lui aussi de *théoricien de la mécanique appliquée* ? Et de celle de Navier, qui n'a jamais été classifié ainsi, mais qui pourrait l'être lui aussi ? Coriolis s'inscrit-il dans la tradition de la mécanique de Lagrange ou dans celle de Carnot ? Justement, en tant que « moins grand savant », ne pourrait-il s'inscrire dans les deux, faisant le pont de l'une à l'autre ? Nous avons l'impression que ces questions sont à relativiser lors de l'étude plus approfondie d'un savant donné. Rares sont les hommes qui forment une classe à eux seuls (Lagrange ? le grand Carnot ? Liouville ? Cauchy ?) – et ceux qui entrent dans les *classes d'équivalence* ainsi définies sont finalement, d'abord et avant tout, des hommes, avec la richesse de leur esprit et de leur personnalité, la complexité de leur œuvre, la variété de leurs centres d'intérêt scientifique.

C'est pourquoi ce type d'études, centré sur une personne, nous paraît propre à étoffer l'historiographie et pourrait être développé à propos d'autres personnages. Car, pour paraphraser Jean Bodin (1529-1596), et au risque d'indisposer les thuriféraires des *gender studies* en science, nous terminerons par l'aphorisme suivant lequel « il n'est de science que d'hommes ».

Œuvres de Coriolis

I] Manuscrits [AAS – Archives de l'Académie des sciences]

- [CCC-AAS] Correspondance avec sa sœur Mlle Cécile de Coriolis, 1819-1821, 18 lettres.
- [CB-AAS] ou [CB], Correspondance avec sa cousine Mme Cécile Benoist, fille de Thérèse de Coriolis, 1811-1821 et 1837-1843, 53 lettres.
- [CLM-AAS] « Notes de Coriolis sur lui-même. Analyse de son caractère par lui-même. Notes écrites en 1826 », 29 p. paginées 111-139.
- [FI-AAS] « Notes sur la femme idéale »
- [ANVD-AAS] « Observations sur une affection nerveuse des voies digestives », 4 p., non daté.
- [ISD-AAS] « Quelques idées sur le duel », 2 ex., 12 et 13 p., non daté.
- [ASM-AAS] "Notice sur G. Coriolis membre de l'Académie des sciences" ; à l'intérieur titré "Notice sur G. Coriolis pour servir après sa mort", 6 p.
[La référence à l'académie des sciences (de la main de Coriolis), et le contenu de la notice, montrent que cet écrit est postérieur à fin 1838, sans doute datant de 1842 ou 1843]
- [AMR-AAS] « Note sur les améliorations à introduire dans la musique religieuse », 9 p.
[La référence à l'académie des sciences (de la main de Coriolis) montre que cet écrit est postérieur à fin 1836]
- [MV-AAS] « Sur les effets curatifs du mouvement vibratoire, et sur une machine propre à faire des expériences à ce sujet », 19 p.
→ Publié dans la *Revue scientifique (Revue rose)*, t. XII, numéro 8, 19 août 1899.

II] Œuvres imprimées**1819**

- « Théorèmes appartenant à la géométrie de la règle », *Annales de mathématiques pures et appliquées*, 9, p. 289-291.
[Cet article n'est pas signé, mais attribuable sans conteste à Coriolis].

1826

- « Sur une nouvelle dénomination et sur une nouvelle unité à introduire dans la dynamique », daté du 6 août 1826, dix pages manuscrites, pochette de séance du 7 août 1826, [AAS].

1828

- « Note sur les effets curatifs du mouvement, et sur une machine propre à faire des expériences à ce sujet », *Journal de physiologie expérimentale et pathologique (Journal de Magendie)*, VIII, janvier 1828.

[l'auteur est curieusement signalé comme J. Coriolis, mais la mention d'Ingénieur des ponts et chaussées, répétiteur d'analyse et de mécanique à l'École polytechnique efface le doute]

→ mentionné dans *Procès-Verbaux des séances de l'Académie des sciences*, IX, p. 444.

→ repris sous le titre « Les effets curatifs du mouvement vibratoire » par la *Revue Rose*, 8, 4^e série, tome XII, 19 août 1899.

1829

- *Du calcul de l'effet des machines, ou considérations sur l'emploi des moteurs et sur leur évaluation, pour servir d'introduction à l'étude spéciale des machines* ; Paris, Carilian-Gœury, Libraire des corps royaux des ponts et chaussées et des mines.
→ présenté à l'Académie des sciences, *Procès-Verbaux des séances de l'Académie des sciences*, IX, p. 253.

1830

- « Expériences sur la résistance du plomb à l'écrasement et sur l'influence qu'a sur sa dureté une quantité inappréciable d'oxide », *Annales de chimie et de physique*, tome XLIV, 1830, p. 103-113.
- Leçons sur la mécanique, École centrale des arts et manufactures, année 1830-1831 ; p. 25-179 + trois tableaux; BnF côte V-14276 (catalogue de M. Théodore Olivier, n° 529, §15)
- Leçons et cours autographiés, École polytechnique, année 1830-1831. Leçons pour le calcul différentiel et intégral, p. 1-225 (à/c de la 3^e leçon) ; BnF côte V-14320 (catalogue de M. Théodore Olivier, n° 527, §5)
- Note sur l'organisation de l'École des ponts et chaussées, 11 pages manuscrites lithographiées au dossier de la Commission du 10 octobre 1830 pour proposer un projet d'organisation de l'École des ponts et chaussées ; A.N. F14-11057.
- Bases d'un règlement pour l'École des ponts et chaussées, proposé par Mr Coriolis, 6 pages manuscrites (53 points) lithographiées au dossier de la Commission du 10 octobre 1830 pour proposer un projet d'organisation de l'École des ponts et chaussées ; A.N. F14-11057.

1831

- « Notes sur l'organisation de l'École des Ponts et Chaussées », ainsi que « Bases d'un règlement pour l'École des Ponts et Chaussées », A.N. F14-11057.
- « Mémoire sur le principe des forces vives dans les mouvements relatifs des machines »
→ in *Journal de l'École polytechnique*, v. XIII, cahier XXI, (1832), p. 268-302.
→ in *Mémoires présentés par divers savants à l'Académie royale des sciences de l'Institut de France, et imprimés par son ordre ; Sciences mathématiques et physiques, tome troisième*, 1832. Avec mention « Lu à l'Académie des sciences le 6 juin 1831 » [Rapport de Poisson à

l'Académie, séance du 31 octobre 1831, *Procès-Verbaux des séances de l'Académie des sciences*, IX, p.708.]

→ réimpression Jacques Gabay 1990 (in *Théorie mathématique des effets du jeu de billard*)

1832

- « Mémoire sur l'influence du moment d'inertie du balancier d'une machine à vapeur et de sa vitesse moyenne sur la régularité du mouvement de rotation que le va-et-vient du piston communique au volant », *Journal de l'École polytechnique*, v. XIII, cahier XXI, p. 228-267.
→ présenté à l'Académie des sciences, *Procès-Verbaux des séances de l'Académie des sciences*, X, p. 77.
- « Des circonstances qui influent sur le tirage des chevaux et sur la conservation des routes dans le mouvement des voitures », *Annales des ponts et chaussées*, 1832, 2 (second semestre), p. 178-188. ([BnF], tiré à part en dépôt légal à la BnF, Imprimerie Fain, daté de 1838, 12 p.)
- « Présentation d'une machine pour donner une mesure numérique de l'état plus ou moins bon d'une chaussée pavée », *Bulletin des Sciences* ; présentation faite devant la Société philomathique de Paris.

1833

- Article « Annuité », dans le *Dictionnaire de l'industrie manufacturière, commerciale et agricole*, v.I, Paris, p. 420-421.
- « Bruit du tonnerre », intervention à la séance du samedi 20 juillet 1833 de la Société philomathique de Paris, in *Nouveau Bulletin des sciences*, année 1833, p.134-135.
→ Repris in *Archives des Découvertes et inventions nouvelles faites dans les Sciences les Arts et les Manufactures tant en France que dans les Pays étrangers pendant l'année 1833*, Paris, Treuttel et Würtz, 1834 [Google Books](#)
- Notice autobiographique de ses travaux, pour sa candidature à l'Académie des sciences (dossier AS) – datée par I. Grattan-Guinness d'après les archives de l'éditeur, A.N. F17-76, n° 5457 (voir *Convolution*, tome 2, p. 1052).
- « Mémoire sur les mouvements moyens de rotation et sur leur usage dans l'application de différents principes de mécanique aux machines dont les différents corps sont en vibration », déposé à l'Académie des sciences
→ présenté à l'Académie des sciences, *Procès-Verbaux des séances de l'Académie des sciences*, X, p. 397.
→ Rapport de Prony à l'Académie, séance du 27 janvier 1834, *Procès-Verbaux des séances de l'Académie des sciences*, X, p. 442-444.

1834

- « Mémoire sur le mouvement de sphères sur un plan où elles frottent et sur leur choc, en ayant égard aussi au frottement avec application à la théorie des effets singuliers du jeu de billard », mémoire déposé à l'Académie des sciences le 24 février 1834, mentionné dans *Procès-Verbaux des séances de l'Académie des sciences*, **X**, p. 454.
- « Premiers résultats de quelques expériences relatives à la durée comparative de différentes natures de grès employés au pavage, sur une route royale très fréquentée aux abords de Paris », *Annales des ponts et chaussées*, 1834, tome 1 (premier semestre), p. 236-240. ([BnF], tiré à part de Carilian-Goeury, éditeur des *Annales*, en dépôt légal à la BnF, précisé comme extrait des *Annales*)
- « Mémoire relatif aux variations de pression et de vitesse moyenne qui ont lieu dans les machines à vapeur, et particulièrement dans les machines locomotives », lu à l'Académie des Sciences de Paris, le 10 mars 1834, par M. Coriolis, mentionné dans *Procès-Verbaux des séances de l'Académie des sciences*, **X**, p. 460.
 → Rapport de Poisson et Navier à l'Académie, séance du 10 mars 1834, *Procès-Verbaux des séances de l'Académie des sciences*, **X**, p. 467-469.
 → Extrait du rapport fait sur ce mémoire, par MM. Poisson et Navier. (L'Inst. N°45), in Bibliothèque universelle des sciences, belles-lettres et arts, Genève, Tome I – 1834 [[Google Books](#)]

1835

- « Mémoire sur la manière d'étendre les différents principes de mécanique pour des systèmes de corps, en les considérant comme des assemblages de molécules », *Journal de l'École polytechnique*, t. XV, cahier XXIV, p. 93-125²⁴⁵ [num. Gallica]
 → présenté à l'Académie des sciences, *Comptes Rendus des Séances de l'Académie des Sciences*, **2**, 85.
- « Mémoire sur les pertes de travail dues au frottement dans les engrenages coniques », *Journal de l'École polytechnique*, **XV**, cahier XXIV, p. 126-132 [num. Gallica]
- « Mémoire sur la théorie des moments considérés comme analyse des rencontres des lignes droites », *Journal de l'École polytechnique*, **XV**, cahier XXIV, p. 133-141 [num. Gallica]
- « Mémoire sur les équations du mouvement relatif des systèmes de corps », *Journal de l'École polytechnique*, 24^e cahier, **XV**, cahier XXIV, p. 142-154.
 → présenté à l'Académie des sciences, *Comptes Rendus des Séances de l'Académie des Sciences*, **2**, 172-174.
 → réimpression Jacques Gabay 1990 (in *Théorie mathématique des effets du jeu de billard*)

245. On notera que la page précédant ces trois articles consécutifs de Coriolis est une planche de figures (p. 92) qui s'y rapportent : les figures 1 & 2 ont trait au second mémoire (engrenages), les figures 3 à 7 ont trait au troisième (moments), les figures 8 & 9 ont trait au quatrième (forces centrifuges composées).

- « Mémoire sur la stabilité des voitures, avec application aux messageries de France », *Journal de l'École polytechnique*, v.XV, cahier XXIV, p. 155-182.
→ présenté à l'Académie des sciences *Comptes-rendus de l'Académie des sciences*, **2** (1836), p. 174
- *Théorie Mathématique des effets du jeu de billard*, Carilian-Goeury, 175 p.
→ réimpression Jacques Gabay 1990.

1836

- « Notes sur un moyen de tracer des courbes données par des équations différentielles », *Journal de mathématiques pures et appliquées*, 1836, tome I, p. 5-9 (fascicule janvier 1836). [numérisé BnF-Gallica]
- « Note sur la chaînette d'égale résistance », *Journal de mathématiques pures et appliquées*, 1836, **1**, p.75-76 (fascicule février 1836). [numérisé BnF-Gallica]
- « Mémoire sur l'établissement de la formule qui donne la figure des remous, et sur la correction qu'on doit y introduire pour tenir compte des différences de vitesse dans les divers points d'une même section de courant », *Annales des ponts et chaussées*, 1836, tome 1 (premier semestre), n° CCLXVIII, p. 314-345. ([BnF], tiré à part de Carilian-Goeury, éditeur des *Annales*, en dépôt légal à la BnF, précisé comme extrait des *Annales*]
- Résumés des leçons données à l'École des ponts et chaussées sur l'application de la mécanique à l'établissement des machines par M. Coriolis, ... 1836-1837 [BnF côte FOL- V- 167 (22), 96 pages]

1837

- « Mémoire sur le degré d'approximation qu'on obtient pour les valeurs numériques d'une variable qui satisfait à une équation différentielle, en employant pour calculer ces valeurs diverses équations aux différences plus ou moins approchées », *Journal de Mathématiques Pures et Appliquées*, **2**, 229-244.
→ mentionné dans *Comptes Rendus des Séances de l'Académie des Sciences*, **5**, 13-14. (juin et juillet 1837)
- « Rapport sur un mémoire de M. Perronnier, ayant pour objet la recherche de la de la forme la plus convenable à donner aux socs versoirs des charrues », Académie des Sciences, Commissaires : Silvestre, Poinsot, Coriolis (rapporteur). *Comptes Rendus des Séances de l'Académie des Sciences*, **5**, 893-896. Séance du 26 décembre 1837.
- Cours autographe à l'École centrale, année 1837-1838 : « Notions de calcul infinitésimal et de géométrie analytique », rédigées par M. Coriolis, p. 1-48 ; troisième partie d'un recueil 1837-1838 précédé de deux cours de M. Liouville, BnF côte V-14275 (catalogue de M. Théodore Olivier, n° 529, §6)

- « Note sur une manière simple de calculer la pression produite par les parois d'un canal dans lequel se meut un fluide incompressible », *Journal de Mathématiques Pures et appliquées*, **2**, 130-132.

1838

- « Rapport sur divers mémoires de M. de Pambour, ayant pour objet la détermination des résistances que présentent les machines locomotives sur les chemins de fer, et le calcul de l'effet tant de ces machines que des machines fixe en général, » Académie des Sciences, Commissaires : Arago, Séguier, Poncelet, Coriolis (rapporteur). *Comptes Rendus des Séances de l'Académie des Sciences*, **6**, 225-231. Séance du 19 février 1838.
- « Rapport sur une voiture à six roues et à trains articulés, de M. Dietz », Académie des Sciences, Commissaires : Prony, Arago, Poncelet, Coriolis (rapporteur). *Comptes Rendus des Séances de l'Académie des Sciences*, **6**, 363-366. Séance du 26 mars 1838.
- Rapport oral sur le prix de mécanique Montyon, Académie des Sciences, Commissaires : Savart, de Freycinet, Savary, Coriolis (rapporteur). *Comptes Rendus des Séances de l'Académie des Sciences*, **6**, 788. Séance du 4 juin 1838.
- « Rapport sur une roue hydraulique présentée par M. Passot », Académie des Sciences, Commissaires : Arago, Coriolis (rapporteur). *Comptes Rendus des Séances de l'Académie des Sciences*, **7**, 121-122. Séance du 16 juillet 1838.
→ « Note en réponse aux observations présentées par M. Passot, contre le Rapport sur une turbine de son invention », Académie des Sciences, Commissaires : Arago, Coriolis (rapporteur). *Comptes Rendus des Séances de l'Académie des Sciences*, **7**, 440-442. Séance du 20 août 1838.
- « Rapport de la commission de l'Académie pour le prix Montyon de mécanique », Académie des Sciences, Commissaires : Prony, Dupin, Poncelet, Gambey et Coriolis (rapporteur). *Comptes Rendus des Séances de l'Académie des Sciences*, **7**, 347-348. Séance du 13 août 1838.
- « Rapport sur un mémoire de M. de Caligny, ayant pour objet la description d'une machine de son invention, destinée à élever de l'eau à l'aide des oscillations », Académie des Sciences, Commissaires : Savart, Poncelet, Séguier, Savary, Coriolis (rapporteur). *Comptes Rendus des Séances de l'Académie des Sciences*, **7**, 419-425. Séance du 20 août 1838.
→ repris dans *Journal de mathématiques pures et appliquées*, **3**, septembre 1838, p. 437-459.
- « Rapport sur un Mémoire de M. Morin ayant pour objet des recherches expérimentales sur le tirage des voitures et sur les dégradations des roues », Académie des Sciences, séance du 31 décembre 1838, Commissaires : Arago, Poncelet, Coriolis (rapporteur).
→ en préface de l'ouvrage de Morin [1839].

1839

- « Rapport sur un mémoire de M. Combes, ayant pour objet la théorie du ventilateur et un nouveau mode de construction de cette machine », Académie des Sciences, Commissaires : Cordier, Poncelet, Coriolis (rapporteur). *Comptes Rendus des Séances de l'Académie des Sciences*, **8**, 445-449. Séance du 25 mars 1839.
- « Rapport sur une cloche à plongeur inventée par M. Guillaumet », Académie des Sciences, Commissaires : Savart, de Freycinet, Savary, Coriolis (rapporteur). *Comptes Rendus des Séances de l'Académie des Sciences*, **9**, 363-366. Séance du 16 septembre 1839.
- « Rapport sur une balance à calcul présentée par M. Léon Lalanne ». Commissaires : Arago, Savary, Coriolis (rapporteur). *Comptes Rendus des Séances de l'Académie des Sciences*, **9**, 693-694. Séance du 25 novembre 1839.
- « Rapport sur les pièces adressées au concours pour le Grand Prix des sciences mathématiques, année 1838 », Académie des Sciences, Commissaires : Libri, Lacroix, Sturm, Poinsot, Poncelet, Savart, Coriolis (rapporteur). *Comptes Rendus des Séances de l'Académie des Sciences*, **9**, 829-830. Séance du 30 décembre 1839.

1840

- « Rapport sur un mémoire de M. de Caligny concernant une nouvelle machine hydraulique », Académie des Sciences, Commissaires : Cordier, Poncelet, Coriolis (rapporteur). *Comptes Rendus des Séances de l'Académie des Sciences*, **10**, 62-65. Séance du 13 janvier 1840.
- « Rapport sur une machine à fouiller les terres (terrassier locomoteur), de M. Gervais », Académie des Sciences, Commissaires : Arago, Savary, Poncelet, Coriolis (rapporteur). *Comptes Rendus des Séances de l'Académie des Sciences*, **10**, 360-362. Séance du 2 mars 1840.
- « Rapport oral sur le prix de mécanique Montyon, édition 1839 », Académie des Sciences, Commissaires : Savart, de Freycinet, Savary, Coriolis (rapporteur). *Comptes Rendus des Séances de l'Académie des Sciences*, **11**, p.52. Séance de juillet 1840.
- « Rapport sur un mémoire de M. Poirel, ayant pour objet la description d'un mode de fondation à la mer pour les jetées des ports », Académie des Sciences, Commissaires : Dupin, Cauchy, Poncelet, Liouville, Coriolis (rapporteur). *Comptes Rendus des Séances de l'Académie des Sciences*, **11**, 761-763. Séance du 9 novembre 1840.
- « Note sur les changements à faire au programme d'admission de l'École polytechnique » [1840], G. Coriolis, AEP, III/3/a, carton n°1.

1841

- « Note sur un théorème de mécanique ». [C.R.](#), *Comptes Rendus des Séances de l'Académie des Sciences*, **12**, 267-268. Séance du 8 février 1841.

- « Rapport sur un système de ponts présenté par M. Giraud », Académie des Sciences, Commissaires : Poncelet, Séguier, Coriolis (rapporteur). *Comptes Rendus des Séances de l'Académie des Sciences.*, **13**, 973-976. Séance du 22 novembre 1841.

1842

- « Notice nécrologique sur M. de Guillebon, ingénieur en chef des ponts et chaussées, inspecteur de l'École », *Annales des ponts et chaussées*, 1842, tome 1 (premier semestre), p. 127-128.
- Rapport oral sur les pièces adressées au concours du prix de Mécanique pour l'année 1841 (prix à M. Carville pour sa machine à mouler les briques) *Comptes Rendus des Séances de l'Académie des Sciences*, **15**, 39, lundi 4 juillet 1842.

1843

- « Rapport sur un mémoire de M. Colladon, relatif à un mode de mesure du travail des machines à vapeur, servant de moteur aux navires, et à un moyen d'évaluer la résistance que ces navires éprouvent dans leur marche », *Comptes Rendus des Séances de l'Académie des Sciences*, **16**, 101-106. Séance du 16 janvier 1843 (Commissaires Poncelet, Piobert, Coriolis rapporteur)

1844 (publication posthume)

- *Traité sur la mécanique des corps solides*, Carilian Goeury et Vve Dalmont [systématiquement indiqué comme 2^o édition, en fait 2^o édition de Coriolis 1829 *Calcul...*]
→ (trad.allemande) « Lehrbuch der Mechanik fester Körper, und der Berechnung des Effektes der Maschinen », présenté par Dr C.H. Schnuse, imprimé à Brunswick, 1846.

Bibliographie de la thèse

Bibliographie de la thèse

I] Fonds d'archives et manuscrits.

AAS = Archives de l'Académie des sciences ; AEP = Archives de l'École polytechnique ; AN = Archives nationales ; MAC = Maison Auguste Comte.

- [AAS] Dossier Coriolis.
 - Discours prononcé par M. Bugnot, représentant le personnel de l'École polytechnique, lors de l'enterrement de Coriolis.
 - Notes manuscrites sur Gabriel de Coriolis, oncle de Coriolis.
 - Notes préparées pour Mr Renard (annotées par Mme Cécile Pécelet, sœur de Coriolis).
- [AcaStan] Note manuscrite de M. de Haldat, Académie Stanislas à Nancy, sur l'admission de MM. Coriolis et Liouville comme membres correspondants de cette académie, 15 mars 1843 [nous remercions Guy Vaucel, bibliothécaire-archiviste de l'Académie Stanislas, pour la transmission de ce document]
- [AEP]
 - Dossier Coriolis
 - « Note sur les changements à faire au programme d'admission de l'École polytechnique » [1840], G. Coriolis, AEP, III/3/a, carton n°1.
 - Procès-verbaux du Conseil d'instruction et du Conseil de perfectionnement, années 1816 à 1843.
- [AN]
 - Dossier d'ingénieur des ponts et chaussées de Coriolis, A.N. F14-2197-1 (dossiers Convents à Cormier ; le dossier Coriolis se compose de 71 pièces).
 - Dossier sur la réforme de l'École des ponts, 1830, A.N. F14-11057
- [JDC] Dossier de copies de lettres de la famille de G.G. de Coriolis, remis par M. Jean de Coriolis, mars 2011. Ces copies seront versées au dossier Coriolis de la bibliothèque de l'X (BCX).
- [MAC] Correspondance avec Auguste Comte, une lettre de Comte à Coriolis [13 septembre 1836], 14 lettres de Coriolis à Comte [du 26 mars 1839 au 20 mai 1843], Maison Auguste Comte.

II] Dictionnaires et articles biographiques (dont hommages rendus à Coriolis).

- *Agenda militaire Berger-Levrault* – annuaire de l'École polytechnique pour les années 1843-1846, Bachelier (hommage à Coriolis p. 384-388)
- *Annuaire de l'École polytechnique pour les années 1843-1846*, Impr. Bachelier ; côte BnF 8-LC25-203, 1843-1846 (N11-14)

- *Archives des découvertes et des inventions nouvelles: faites dans les sciences, les arts et les manufactures, tant en France que dans les pays étrangers, pendant les années 1831 et 1832*, Treuttel et Wurtz, Paris, 1833.
- *Dictionnaire de la noblesse, contenant les généalogies, l'histoire & la chronologie des familles nobles de France, l'explication de leur armes, & l'état des grandes terres du royaume (...)*, par François Alexandre Aubert de La Chesnaye-Desbois, Vve Duchêne, 1772 [Google Books]
- *Dictionary of scientific biography*, Charles Scribner's sons, New York 1970 (article sur Coriolis écrit par P. Costabel).
- BINET, Jacques.
1843. Discours de M. Binet, membre de l'Académie, prononcé aux funérailles de M. Coriolis, le 20 septembre 1843. Tiré à part. [AAS] [BnF, 4-LN27-43120]
- ÉLIE DE BEAUMONT, Léonce
1887. Note pour la rédaction de l'éloge historique de Coriolis, 110 feuillets [AAS].
- de LAPPARENT, Albert.
1897. *Le Livre du centenaire de l'École polytechnique*, Article consacré à Coriolis (<http://www.sabix.org/bulletin/b5/coriolis.html>)
- RENARD, N.A. (professeur de mathématiques à la Faculté des sciences de Nancy)
1862. « Notice historique sur la vie et les travaux de Gaspard de Coriolis », discours de réception à l'Académie Stanislas de Nancy, Impr. Vve Raybois, 1862 [BnF]
- ROMAN D'AMAT
1961. *Dictionnaire de biographies françaises*.

III] Bibliographie générale

- ABDANK-ABAKANOWICZ, Bruno (1852–1900)/
1886. *Les intégrales. La courbe intégrale et ses applications. Étude sur un nouveau système d'intégrateurs mécaniques*, Gauthier-Villars.
- AMPÈRE, André-Marie
1829. « Dynamique. Solution d'un problème de dynamique, suivie de considérations générales sur le problème des forces centrales », *Annales de mathématiques pures et appliquées*, **20** (1829-1830), p. 37-58.
- ANONYME
1825. « Questions proposées. Problème de statique », *Annales de mathématiques pures et appliquées*, **16** (1825-1826), p.296.
- ANONYME [attribué à Guglielmo Libri]
1844. article *Le Constitutionnel*, 21 août 1844, pp. 1-2.

- ARAGO, François.
1830. Éloge d'Augustin Fresnel, « Biographie lue en séance plénière de l'Académie des sciences le 26 juillet 1830 » [[en ligne AAS](#)]
1844. « Sur l'organisation de l'École polytechnique (réponse aux articles insérés en 1844 dans *Le Constitutionnel* et *La Revue de Paris*, à l'occasion du licenciement de l'École polytechnique) », in *Œuvres complètes*, pp. 634-692.

- AUDIFFRET, Georges.
1894. *Centenaire de la fondation de l'École polytechnique - Auguste Comte, sa plus puissante émanation : notice sur sa vie et sa doctrine, offerte en hommage à ses camarades*, Ritti, Paris [Gallica]

- BABINET, J. BERTRAND, DELAUNAY, PIOBERT
1859. *Comptes-Rendus de l'Académie des sciences*, séance du 14 novembre 1859, p. 685-693
 « Seconde note sur l'influence du mouvement de la Terre », par M. BERTRAND ; « Sur le déplacement vers le nord ou vers le sud d'un mobile qui se meut librement dans une direction perpendiculaire au méridien », par M. BABINET ; Observations de M. DELAUNAY sur la même question ; Réponse de M. BERTRAND à M. DELAUNAY ; puis M. PIOBERT.

- BÉLANGER, Jean-Baptiste
1847. *Cours de mécanique, ou Résumé de leçons sur la dynamique, la statique et leurs applications à l'art de l'ingénieur*, Paris, Carilian-Goeury et V. Dalmont.
1866. *Traité de la dynamique des systèmes matériels*, Paris, Dunod, Gauthier-Villars, Eugène Lacroix libraires.

- BELHOSTE, Bruno
1984. « Joseph Liouville et le collège de France », *Revue d'histoire des sciences*, **37**, n° 3, p. 255 – 304 [Persée].
1994. « Un modèle à l'épreuve. L'École polytechnique de 1794 au Second Empire », in *La Formation polytechnicienne*, dir. B. Belhoste, A. Dahan-Dalmedico, A. Picon, Dunod.
1999. *Cauchy (1789-1857). Un mathématicien légitimiste au XIX^e siècle*, Belin, 1999.
2003. *La formation d'une technocratie. L'École polytechnique et ses élèves de la Révolution au Second Empire*, Belin, 2003.

- BELHOSTE, Bruno & LEMAÎTRE, Louis.
1990. « J-V. Poncelet, les ingénieurs militaires et les roues et turbines hydrauliques », *Cahiers d'histoire et de philosophie des sciences*, no 29, pp. 33-89.

- BERTRAND, Joseph
1847. « Mémoire sur la théorie des mouvements relatifs », *Comptes-rendus de l'Académie des sciences*, 24 (1847): 141-42
1848. « Théorie des mouvements relatifs », *J. Ecole Po*, 149-54.
1896. « Auguste Comte et l'École polytechnique », *Revue des deux mondes*, tome CXXXVIII, p.528-548.

- BOBILLIER & FINCK
1826. « Questions Résolues. Solution des deux problèmes de statique proposés à la page 296 du présent volume », *Annales de mathématiques pures et appliquées*, **17** (1826-1827), p. 59-68.

- BORVON, Gérard & BLONDEL, Christine.
2008. « Le coulomb, l'ampère, le volt, le watt, l'ohm... Quand sont nées les unités électriques ? », site CNRS *Ampère et l'histoire de l'électricité*, mars 2008 ([en ligne](#)).

- BOUDOT, Maurice
1985. « De l'usurpation géométrique », *Revue philosophique de la France et de l'étranger*, n°4, oct-déc. 1985.

- BOULEAU, Nicolas
2004. « Gaspard Coriolis et le jeu de billard comme auxiliaire scientifique » in *L'Art de l'ingénieur de Perronet à Caquot*, livre hors-série des Annales des Ponts et chaussées, décembre 2004.

- BURDIN, Claude
1815. « Considérations générales sur les machines en mouvement », *Journal des mines*, mai 1815, N°221, pages 319-346.

- CARNOT, Lazare
1783. *Essai sur les machines en général*, Impr. de Defay, Dijon.
1803. *Principes fondamentaux de l'équilibre et du mouvement*, Deterville.

- CAUCHY, Augustin
1821. *Cours d'analyse à l'École royale polytechnique*, Carilian-Goeury.
1826. *Sur les applications du calcul infinitésimal à la géométrie*, Carilian-Goeury.
1837. Deux lettres à Coriolis, 29 janvier et 3 février 1837, in *Œuvres complètes*, Augustin Cauchy, tome IV, Pais, Gauthier-Villars, 1882, p.38-42.
1844. *Considérations sur les ordres religieux, adressées aux amis des sciences*, Paris, de Poussielgue-Rusand.

- CHANSON, Hubert
2009a. “Jean-Baptiste Bélanger, hydraulic engineer, researcher and academic”, *Proceedings of the Water Engineering for a Sustainable Environment Congress*, août 2009 (en ligne University of Queensland)
2009b. « Un hydraulicien d'exception bien en avance sur son époque : Jean-Baptiste Charles Joseph Bélanger (1790-1874) », *La Houille Blanche*, n°5, 2009, p. 183-188.

- CHASLES, Michel.
1837. *Aperçu historique sur l'origine et le développement des méthodes en géométrie particulièrement de celles qui se rapportent à la géométrie moderne, suivi d'un Mémoire de géométrie sur deux principes généraux de la science, la dualité et l'homographie*, Impr. De Hayez, Bruxelles, 1837.

- CHATZIS, Konstantinos
 - 1995.** « Un Aperçu de la Discussion sur les Principes de la Mécanique Rationnelle en France à la Fin du Siècle Dernier », *Revue d'Histoire des Mathématiques*, Vol. 1, pp. 235–270.
 - 1997.** « Économie, machines et mécanique rationnelle : la naissance du concept de travail chez les ingénieurs-savants français, entre 1819 et 1829 », *Annales des ponts et chaussées*, n°82.
 - 1998.** « Jean-Victor Poncelet (1788-1867) ou le Newton de la mécanique appliquée, quelques réflexions à l'occasion de son cours inédit à la Sorbonne », *Bulletin de la société des amis de la bibliothèque de l'École polytechnique (SABIX)*, n°19, juin 1998.
 - 2008.** « Les cours de mécanique appliquée de Jean-Victor Poncelet à l'École de l'Artillerie et du Génie et à la Sorbonne, 1825-1848 », *Histoire de l'éducation*, 2008/4 (n° 120).
 - 2009.** « Dupin, Poncelet et leurs mécaniques pour "artistes" et ouvriers », in *Charles Dupin (1784-1873), Ingénieur, savant, économiste, pédagogue et parlementaire du Premier au Second Empire*, Carole Christen et François Vatin (dir.), Presses universitaires de Rennes.

- CHATZIS Konstantinos, ETCHECOPAR Philippe, THÉRIAULT-LAUZIER Pascal et VERDIER Norbert
 - 2007.** « Gaspard-Gustave Coriolis (1792–1843) : un homme, une oeuvre, une force et des effets », revue *Quadrature*, n°64, avril 2007.

- CHEMLA, Karine
 - 1998.** « Lazare Carnot et la généralité en géométrie. Variations sur le théorème dit de Ménélaus », *Revue d'histoire des mathématiques*, **4**, p. 163–190.

- CLARIS, Gaston.
 - 1895.** *Notre École polytechnique*, Librairies-Imprimeries réunies, May & Motteroz.

- COMBEROUSSE, Charles (de)
 - 1879.** *Histoire de l'École centrale des arts et manufactures, depuis sa fondation jusqu'à ce jour*, Gauthier-Villars.

- COMBES, Charles.
 - 1848.** « Rapport sur un mémoire de M. Joseph Bertrand, concernant la théorie des mouvements relatifs », Commissaires MM. Cauchy, Lamé, Combes rapporteur, *Comptes-rendus de l'Académie des sciences*, **27**, p. 210-213.

- COMTE, Auguste.
 - 1903.** Correspondance inédite d'Auguste Comte, 1° à 4° séries, au siège de la Société positiviste, 1903-1904 [Comte-corrX] [[Gallica](#)]

- COSTABEL, Pierre
 - 1981.** Article sur la mécanique in *Histoire générale des sciences. La science contemporaine 1. Le XIX^e siècle*, Dir. René Taton, Quadrige, P.U.F.

- DARRIGOL, Olivier
2001. “God, waterwheels, and molecules: Saint-Venant’s anticipation of energy conservation”, *Historical Studies in the Physical and Biological Sciences*, vol. 31, No. 2, pp. 285-353.
2005. *Worlds of flow : a history of hydrodynamics from the Bernoullis to Prandtl*, New York : Oxford university press.

- DAVIES, Gilbert
1826. “On the mathematical theory of suspension bridges, with tables for facilitating their construction”, Communication du 9 mars 1826, p.202-218, *Philosophical Transactions of the Royal Society*.

- DHOMBRES Jean.
1994. « L’image "scientiste" de l’École polytechnique », in *La Formation polytechnicienne*, dir. B. Belhoste, A. Dahan-Dalmedico, A. Picon, Dunod 1994.

- DUGAS, René
1941. « Sur l’origine du théorème de Coriolis », *Revue scientifique*, Mai-juin 1941, 79^o année, N^o5-6, p. 267-270
1950. *Histoire de la mécanique*, Dunod (réédition Jacques Gabay 1996) [voir chap. IV, Mouvement relatif, p. 354-367]

- DUPONT Jean-Yves.
2000. « Le cours de Machines de l’École polytechnique, de sa création jusqu’en 1850 », *Bulletin de la Sabix*, n^o25, octobre 2000, URL : <http://sabix.revues.org/253>

- DUPUIT, Jules.
1837. *Essai et expériences sur le tirage des voitures, et sur le frottement de seconde espèce, suivis de Considérations sur les diverses espèces de routes, la police du roulage et la construction des roues*, Carilian-Goeury [Google Books].

- EMMERY, Henry-Charles.
1832. *Pont d’Ivry, en bois, traversant la Seine près du confluent de la Marne*, Carilian-Goeury, [Google Books]

- ETNER François.
1983. « Note sur Dupuit », *Revue économique*, **34**, n^o 5, pp. 1021-1035 ([Persée](#))

- FÉRY, C.-L.
1829. Recension du *Calcul de l’effet des machines*, in *Revue Encyclopédique*, **44**, p.168.

- FOUCAULT, Léon.
1851. « Démonstration physique du mouvement de la Terre au moyen du pendule », *Comptes-rendus de l’Académie des sciences*, 1851, p.135-139.

- FOURCY, Ambroise
1828. *Histoire de l'École polytechnique*, chez l'auteur, à l'École polytechnique.
- FREIMAN, L.S.
1961. « G.G. Coriolis (170^e anniversaire de sa naissance) », Académie des sciences soviétique, Moscou, 1961, p. 479-489 (en russe) [tiré à part disponible AAS].
- GILLISPIE Charles
1994. « Un enseignement hégémonique : les mathématiques », in *La Formation polytechnicienne*, dir. B. Belhoste, A. Dahan-Dalmedico, A. Picon, Dunod.
- GILLISPIE, Charles et YOUCHKEWITCH Adolph.
2000. *Lazare Carnot savant, et sa contribution à la théorie de l'infini mathématique*, Vrin.
- GIRARD, Pierre-Simon
1827. *Mémoire sur les grandes routes, les chemins de fer et les canaux de navigation*.
1813. *Introduction à et traduction de l'ouvrage de F. de Gerstner* (Prague 1813), Bachelier.
- GOUHIER Henri.
1931. *La vie d'Auguste Comte*, Librairie philosophique Vrin, 1997 [Rééd. de Gallimard 1931]
- GRATTAN-GUINNESS, Ivor
1984. « Work for the workers : Advances in Engineering Mechanics and Instruction in France, 1800-1830 », *Annals of Science*, **41**, pp. 1-33.
1990. *Convulsions in French mathematics, 1800-1840*, 3 vol., Birkhäuser Verlag, 1990.
1993. « The *ingénieur savant*, 1800-1830. A Neglected Figure in the History of French Mathematics and Science », *Science in context*, **6**, 2, pp. 405-433.
2005. "The "Ecole Polytechnique", 1794-1850: Differences over Educational Purpose and Teaching Practice", *The American Mathematical Monthly*, Vol. 112, No. 3 (Mar., 2005), pp. 233-250
- GRISON Emmanuel
1989. « François Arago et l'École polytechnique », *Bulletin de la Société des amis de la bibliothèque de l'École polytechnique*, n°4, mai 1989 [en ligne [SABIX](#)]
- GUÉNYVEAU, André.
1840. *De l'Enseignement des sciences à l'École polytechnique*, brochure 21 p. [doc. rare – exemplaire BnF non consultable – deux exemplaires SUDOC, tous deux à la BIF]
- GUILLET, François
2008. *La mort en face. Histoire du duel de la Révolution à nos jours*, Aubier.
- HACHETTE, N.-L.
1813. *Correspondance sur l'École impériale polytechnique, à l'usage des élèves de cette École*, par M., janvier 1809-mars 1813, Tome second, chez Klostermann, libraire de l'École impériale polytechnique [Google Books, University of Michigan]

- HIGGS, David.
1987. *Nobles, titrés, aristocrates en France après la Révolution, 1800-1870*, trad. fcse. Liana Lévi 1990.
- KUHN, Thomas
1977. *La tension essentielle. Tradition et changement dans les sciences*. University of Chicago Press, 1977 [trad. fcse. Gallimard 1990 de *Energy conservation as an example of simultaneous discoveries*].
- KRANAKIS, Eda
1996. *Constructing a Bridge. An Exploration of Engineering Culture, Design, and Research in Nineteenth-Century France and America*, MIT Press, November 1996.
- LEBARBIER.
1828. « Dynamique. Solution d'un problème de dynamique », *Annales de mathématiques pures et appliquées*, tome 19 (1828-1829), p. 285-293.
- LIONNOIS J.J., prêtre, Doyen de la Faculté des Arts de Nancy.
1805. *Histoire des villes vieille et neuve de Nancy depuis leur fondation jusqu'en 1788*, tome premier.
- LITTRÉ, Émile.
1864. *Auguste Comte et la philosophie positive*, 2^o édition.
- LUCAS, Félix.
1876. « Démonstration nouvelle du théorème de Coriolis », *Nouvelles annales de mathématiques*, 2^o série, **15**, p.58-61 [en ligne [Numdam](#)]
- MARIE, Maximilien.
1888. *Histoire des sciences mathématiques et physiques*, tome XII, Gauthier-Villars [voir notamment une notice biographique sur Coriolis].
- MILAN, Jean-Jacques, et al.
2005. Tribologie, Science et technologie du frottement, de l'usure et de la lubrification, Wikibooks, 2005-(...) [en ligne [Wikibooks](#)].
- MILLION, Raymond
2006. « Les Coriolis à Nancy...à l'aube du XIX^e siècle », *La Revue populaire lorraine*, 34^o année, n^o191, août 2006.
- MOATTI, Alexandre
2009. « Sur le bruit du tonnerre », analyse d'un texte de juillet 1833 de Coriolis à la Société philomathique de Paris, [BibNum](#), mai 2009.

- MONTEL, Nathalie.
2008. *Une revue des savoirs d'État, vol. 2 De la genèse à la fabrique des Annales des ponts et chaussées au XIXe siècle*, Dossier d'habilitation à diriger des recherches, vol. 2, Université Paris I, avril 2008.

- MORIN, Arthur
1832. *Nouvelles expériences sur le frottement, faites à Metz en 1831*, Bachelier, Paris.
1839. *Expériences sur le tirage des voitures faites en 1837 et 1838*, Librairie Leroux, Liège.

- NAVIER, Claude
1813. Nouvelle édition avec notes de *La Science des ingénieurs dans la conduite des travaux de fortification et d'architecture civile*, de Bernard Forest de Bélidor.
1829. Rapport, fait à l'Académie des sciences, sur un ouvrage intitulé *Du Calcul de l'effet des machines...*, p. 1-8 de Coriolis [1829], Paris, le 8 juin 1829 (? aussi en préface de Coriolis [1829] *Calcul...*) (? aussi in *Bulletin des Sciences mathématiques*, XII, p.103-116, août 1829)
1830. Lettre du 17 août 1830 au baron Baudé, commissaire provisoire chargé du Département de l'Intérieur, manuscrit A.N. F14-1964.
1831. « Considérations sur les travaux d'entretien des routes en Angleterre. Procédés de M. Mac Adam », *Annales des Ponts et Chaussées*, **2**, p. 132-156. [Gallica].
1832. « De l'exécution des travaux publics, et particulièrement des concessions », *Annales des Ponts et Chaussées*, **1**, p. 1-31 ; repris en tiré à part chez Carilian-Goeury [[Google Books](#)].
1835. *Considérations sur la police du roulage et sur les travaux d'entretien des routes*, Carilian-Goeury [[Google Books](#)] (? aussi manuscrit du 13 août 1830, A.N. F14-1964).

- PERSSON, Anders
1998. "How do we understand the Coriolis force?", *Bulletin of the American Meteorological Society*, **79**, n°7; juillet 1998 ([PDF Princeton University](#)).
2005. "The Coriolis Effect: Four centuries of conflict between common sense and mathematics, Part I: A history to 1885", *History of Meteorology*, **2**, www.aos.princeton.edu/.../gkv/.../persson_on_coriolis05.pdf

- PICKERING, Mary.
1993. *Auguste Comte : An intellectual biography*, Cambridge Univ. Press.

- PETIT, Alexis Thérèse.
1818. « Sur l'emploi du principe des forces vives dans le calcul des machines, *Annales de physique et de chimie*, **8**, p. 287-305.

- PETIT, Régis. *Billard*.
2004. *Théorie du jeu*, 2^o édition revue et augmentée, préface de Michel Lambert, président de la Fédération française de billard, Chiron.

- PICON, Antoine
1992. *L'Invention de l'ingénieur moderne. L'École des Ponts et Chaussées (1747-1851)*, Presses de l'École nationale des Ponts et Chaussées.

- POISSON, Siméon-Denis
1831. Rapport sur un mémoire de M. Coriolis, séance du 31 octobre 1831, *Procès-Verbaux de l'Académie des sciences*, p.708-709.
1833. *Traité de mécanique*, 2^e édition, Bachelier.
1837. « Mémoire sur le mouvement des projectiles dans l'air, eu égard à la rotation de la Terre » (lu à l'Académie des sciences le 13 novembre 1837), *Journal de l'École polytechnique*, tome XVI, 26^o cahier (1838), pp. 1-68.

- PONCELET, Jean-Victor,
1827a. « Mémoire sur les roues hydrauliques à aubes courbes mues par-dessous », présenté à l'Académie royale des sciences en décembre 1824, publication Vve Thiel.
1827b. « Notes sur divers articles du bulletin des sciences de 1826 et 1827, &tc. », *Annales de mathématiques pures et appliquées*, tome 18 (1827-1828), p. 125-142 [Numdam].
1829. « Note sur quelques principes de mécanique relatifs à la science des machines », par M. Poncelet, capitaine du génie, in *Bulletin des sciences mathématiques, physiques et chimiques* (Bulletin de Férussac), **XII**, n^o198, p. 323-335 (datée du 8 octobre 1829)
1857. « Observations générales sur la question relative aux chocs », *Comptes-rendus de l'Académie des sciences*, **44**
1870. *Introduction à la mécanique industrielle, physique ou expérimentale* (3^e édition, publiée par M. X. Kretz,...), Gauthier-Villars [Gallica]

- POTHIER, Francis.
1887. *Histoire de l'École centrale des arts et manufactures, d'après des documents authentiques et en partie inédits*, Delamotte fils.

- de PRONY, Francois-Marie-Gaspard Riche,
1826. Rapport fait à MM. les président et conseillers de la cour royale séante à Paris, par M. de Prony,... sur la nouvelle et l'ancienne machines à vapeur établies à Paris, au Gros-Caillou, 1826 ; extrait des *Annales des mines*, **12**.
1830. [Sur l'unité de travail], *Annales des mines*, **VIII**.

- SÉRIS, Jean-Pierre.
1987. *Machine et communication*, Vrin.

- SHINN, Terry.
1980. *L'École polytechnique, 1794-1914*, Presses de la Fondation nationale des sciences politiques..

- TABOR, David
1961. « A propos du frottement de roulement : Une controverse oubliée », *Revue d'histoire des sciences et de leurs applications*, **14**, n^o 1, pp. 13-18 ([site Persée](#))

- TOURNÈS, Dominique
2003a. L'intégration graphique des équations différentielles ordinaires», *Historia Mathematica*, **30**, p.457–493.
2003b. Séminaire REHSEIS du 28 avril 2003 : L'intégration mécanique des équations différentielles : Textes qui serviront de support à l'exposé (en ligne à www.reunion.iufm.fr/dep/.../Seminaires/.../tournes_integr_mecan_edo.pdf)

- VATIN, François.
1993. *Le travail. Economie et physique. 1780-1830*. P.U.F. Philosophie, Paris, 1993.

- VAUTHIER, Pierre
1836a. « De la théorie du mouvement permanent des eaux courantes et de ses applications à la solution de plusieurs problèmes d'hydraulique », *Annales des ponts et chaussées*, 1^o série, 1836, 1^{er} semestre, n^o CCLXVII, p.241-313.
1836b. « Note sur la correction que M. l'ingénieur en chef Coriolis propose de faire subir à la formule du mouvement permanent des eaux courantes, pour tenir compte des différences de vitesse des molécules fluides, aux divers points d'une même section transversale du courant », *Annales des ponts et chaussées*, 1^o série, 1836, 2^{eme} semestre, n^o CCXCI, p.362-385.

- VERDIER, Norbert.
2009. *Le Journal de Liouville et la presse de son temps : une entreprise d'édition et de circulation des mathématiques au XIX^e siècle (1824-1885)*, Thèse pour obtenir le grade de docteur de l'université Paris-XI.

- VITOU, Elisabeth & GIBLIN, Jean-Pierre.
2004. *L'Art de l'ingénieur, de Perronet à Caquot. L'innovation scientifique liée à la pratique*. Presses de l'École nationale des Ponts et Chaussées. [NB : le portrait de Coriolis figure parmi les trois portraits illustrant la couverture, avec ceux de Perronet et Caquot]

- WERMUTH, Edgar M. E.
1992. "Some Elementary Properties of Infinite Products", *The American Mathematical Monthly*, Vol. 99, No. 6 (Jun. - Jul., 1992), pp. 530-537 [[JSTOR](#)]

Université de Paris-I Panthéon Sorbonne
École doctorale d'histoire

Gaspard-Gustave de Coriolis (1792-1843) : un mathématicien,
théoricien de la mécanique appliquée

- Thèse de doctorat en histoire (*spécialité histoire des sciences*) -

Cette thèse à caractère biographique est une étude de la carrière et de l'œuvre scientifiques de Gaspard-Gustave de Coriolis (1792-1843), polytechnicien, ingénieur des ponts et chaussées, dont le nom est universellement connu (force de Coriolis), mais dont le parcours et l'œuvre multiforme sont peu connus. Le fait que Coriolis fasse l'intégralité de sa carrière comme enseignant, puis directeur des études à l'École polytechnique, et que par ailleurs il participe à l'évolution de l'École et du Corps des ponts et chaussées à partir de 1830, nous donne un éclairage intéressant sur ces institutions (notamment grâce à la correspondance privée de Coriolis de 1838 à sa mort). Concernant son œuvre scientifique, sont rappelés ses apports de mathématicien. Son œuvre se caractérise principalement, toutefois, par une approche avant tout mathématique et théorique de la mécanique appliquée aux machines – il établit les fondements d'une théorie du travail. Cette approche et les résultats importants qui peuvent être attribués à ce savant, comme la définition physique du travail, les forces d'entraînement ou les forces centrifuges composées (forces de Coriolis), témoignent du lien tissé par Coriolis entre la mécanique rationnelle des géomètres et la mécanique appliquée à l'industrie naissante des machines.



Gaspard-Gustave de Coriolis (1792-1843) : a mathematician,
theoretician of applied mechanics

- PhD Thesis in history (*specialty history of science*) -

This thesis is a biographical study of the career and works of Gaspard-Gustave de Coriolis (1792-1843), a well known name whose scientific contribution is less known. He spends his entire teaching career at the École polytechnique and École des ponts et chaussées; Coriolis sheds light on these institutions, namely through his private mail from 1838 to his death. Regarding his scientific work, his contribution as a pure mathematician is recalled. His entire work is characterized by a theoretical and mathematical approach of applied mechanics; it lays the foundations of a *theory of work*. Through his important scientific results, as the definition of work or the composed centrifugal forces (Coriolis force), Coriolis makes a link between rational mechanics and applied mechanics of the machine industry.