

Arboleda, Luis Carlos

Le défi de bâtir une raison mathématique dans le pays du désarroi. Science et diversité culturelle en Colombie

Organon 28 30, 79-93

1999 2001

Artykuł umieszczony jest w kolekcji cyfrowej Bazhum, gromadzącej zawartość polskich czasopism humanistycznych i społecznych tworzonej przez Muzeum Historii Polski w ramach prac podejmowanych na rzecz zapewnienia otwartego, powszechnego i trwałego dostępu do polskiego dorobku naukowego i kulturalnego.

Artykuł został zdigitalizowany i opracowany do udostępnienia w internecie ze środków specjalnych MNiSW dzięki Wydziałowi Historycznemu Uniwersytetu Warszawskiego.

Tekst jest udostępniony do wykorzystania w ramach dozwolonego użytku.



Luis Carlos Arboleda (Colombie)

LE DÉFI DE BÂTIR UNE RAISON MATHÉMATIQUE
DANS LE PAYS DU DÉSARROI¹.
SCIENCE ET DIVERSITÉ CULTURELLE EN COLOMBIE

Il y a beaucoup à dire et la seule façon de le dire est aussi la plus fragile, la plus paradoxale: écrire des livres dans un continent peuplé de tant d'illettrés et proposer des paroles et des idées dans des sociétés où il est souvent difficile de faire la différence entre les exclamations de l'oratoire et les cris de la torture. (...)

Qui a construit Chichén Itzá et Machu Picchu, Torre Tagle et Tonant-zintla et Congonhas do Campo? Il faut que nous le sachions car si nous ignorons notre passé, nous serons obligés d'affirmer que tout ce qui est durable dans nos sociétés est l'œuvre de fantômes. Nous devons être prêts à recevoir le passé si nous voulons avoir un présent et un avenir; pour qu'ils ne soient pas des fantômes, nous avons le devoir de nous transformer en êtres humains, afin de l'être, nous aussi.

Carlos Fuentes

En Amérique latine il nous reste tout à dire, Bogotá, 1984

Introduction

L'épigraphie antérieure dont l'auteur est l'un de nos écrivains latino-américains les plus prestigieux, nous permet de souligner l'importance des recherches sur les processus de formation de la culture scientifique en Colombie pour une meilleure compréhension des conditions de notre insertion historique dans la modernité². En effet, le faible développement des études

¹ XXe Congrès International de l'Histoire des sciences, Ciudad de México, 8–14 juillet 2002. Conférence plénière. Grupo de Historia y Educación y Pedagogía, Universidad del Valle, Ciudad Universitaria – Meléndez, Cali, Colombia, Email: lca@norma.net.

² Plusieurs idées contenues dans cette conférence proviennent des résultats partiels du projet ECOS – Nord N° 97pc08. „Formación y desarrollo de la cultura científica en Colombia: Las matemáticas y la Física (1880–1940)”, dirigé par Michel Paty (Équipe REHSELS-CNRS-Université Paris 7, Paris) et Luis Carlos Arboleda (Grupo de Historia y Educación Matemática – Universidad del Valle, Cali). Voir également les travaux

historiques existantes a représenté une des plus grandes difficultés pour comprendre les processus d'élaboration, appropriation et transformation des théories et des savoirs dans les contextes socioculturels de nos pays. Bien que notre lien organique avec la science occidentale remonte à la deuxième moitié du XVIII^e siècle, et si l'on constate au moins depuis les années 1950, l'implantation du patron actuel de développement scientifique et éducatif dans nos institutions, les études d'histoire sociale de la science sont relativement récentes.

A partir des années 1980 l'objet et la méthode de la recherche dans notre discipline ont commencé à se renouveler. Le développement des théories spécifiques, objet traditionnel de l'analyse historique et épistémologique, a incorporé d'autres modalités de recherche sur des aspects comme les relations de ces théories avec d'autres systèmes conceptuels et culturels. Ces courants historiographiques se proposent de situer la configuration des savoirs et des techniques dans l'ensemble des conceptions, des représentations et des modes de pensée qui déterminent l'activité scientifique créatrice et la communication des connaissances (enseignement, divulgation, application) dans un époque et une société déterminée.

Dans cette conférence on examinera quelques travaux qui sont le résultat de l'application de cette démarche analytique au développement des mathématiques en Colombie. Je me limiterai à des études de cas de quatre scientifiques qui ont contribué de façon significative à ce processus à des moments décisifs de notre histoire: Caldas, Liévano, Garavito et Restrepo. Leur œuvre et leurs activités ont certainement été influencées par les tendances scientifiques et philosophiques en Europe, particulièrement en France. Mais leurs positions ont également une relation avec l'idée qu'ils ont de la recherche, avec la façon dont ils se représentent la modernisation sociale, culturelle, économique du pays, et même avec les rivalités universitaires et économiques qui existaient à cette époque. Étant donné la position prépondérante qu'occupaient ces scientifiques, ils ont exercé une grande influence sur leur entourage et ils ont marqué de leur empreinte les projets institutionnels, éducatifs, académiques à court et à long terme.

Caldas: La mathématisation du principe de l'hypsométrie³

On sait que durant le XVIII^e et le XIX^e siècle, la reconnaissance du territoire constitua l'un des objectifs fondamentaux qui détermina les projets intellectuels et les activités utilitaires, sociales et politiques des élites d'é-

de l'auteur dans: *Historia Social de la Ciencia en Colombia*, Oeuvre collective en 10 volumes comprenant les résultats du projet financé par Colciencias et la OEA entre 1983 et 1986, Tercer Mundo Editores, Colciencias, Bogotá, 1993.

³ Version résumée et mise à jour des idées présentées dans: „Arboleda, L. C., Humboldt en la Nueva Granada. Hipsometría y Territorio” in *Quiipu, Revista latinoamericana de Historia de la Ciencias y la Tecnología*, vol. 13, n° 1, janvier-avril 2000, p. 53-66.

rudits créoles de l'Amérique hispanique. Le programme d'exploration de la nature américaine fut assumé par un grand nombre d'entre eux dans une perspective nettement nationaliste et il a donné lieu à des succès scientifiques et technologiques importants. Différents historiens des sciences ayant analysé ces programmes, ont reconnu dans ces innovations et ces progrès, la présence de styles cognitifs propres, étroitement associés aux contextes socio-culturels de ces pays. L'un des cas les plus notables est le plan des explorations réalisées par Francisco José de Caldas (1678–1816) dans la Nouvelle Grenade et la province de Quito.

L'étude de sa correspondance et de ses publications démontre que plusieurs années avant l'arrivée de Humboldt, Caldas pratiquait déjà une conception intégrale de la reconnaissance de la nature en ce qui concerne ses caractéristiques astronomiques, cartographiques, botaniques, zoologiques, minéralogiques, physiques, économiques et culturelles. Dans ses voyages de commerçant sur les routes de Quito à Santafé en passant par Popayán, il avait confirmé l'association existant entre la diversité des espèces naturelles et la diversité des localisations géographiques correspondantes. A travers ses explorations et ses rencontres avec des savants comme Caldas, Humboldt démontrera la validité de cette approche de la recherche dans notre continent et il la transformera en pierre angulaire de son œuvre sur la géographie américaine.

Caldas est donc arrivé de façon autonome, à la conviction qu'il était nécessaire de développer une étude systématique et intégrale de la nature diverse de la partie septentrionale de l'Amérique du Sud. Son programme de recherches était orienté vers l'élaboration d'une carte générale de la vice-royauté de la Nouvelle Grenade qui incluait les étages de végétation. Mais il était également convaincu que ces recherches de caractère intégral, nous dirions aujourd'hui interdisciplinaire, devaient reposer sur des principes de mesure, d'expérimentation avec un fondement scientifique. C'est ce qu'il affirme en particulier dans deux documents adressés à Mutis en 1802: le mémoire sur l'hypsomètre et le plan pour la reconnaissance de la province de Quito et autres régions américaines.

En tant que savant créole conscient de la condition de solitude intellectuelle où il se trouvait à cause de son isolement géographique des grands centres académiques, Caldas essayait de se maintenir au courant de l'état de l'art des savoirs et des techniques les plus indispensables. Il était également le lecteur diligent qui devant un problème immédiatement perçu comme intéressant – et la nature américaine était un réservoir prodigieux de problèmes utiles et féconds pour l'avancement des sciences – remuait ciel et terre pour localiser et se faire apporter toutes les œuvres qui pourraient lui permettre de se documenter sur l'originalité et l'applicabilité éventuelle de son idée. Pourtant, l'intérêt d'élucider le principe théorique de l'hypsométrie, fondée sur la corrélation entre les mesures thermométriques et barométriques, n'obéissait pas seulement à l'habituelle curiosité intellectuelle de Caldas sur

une question ponctuelle; cela correspondait surtout à intérêt de poser les fondements mathématiques d'un programme de recherches en sciences physiques et naturelles.

Au cours de ses voyages des années 1796–1800 entre Quito et Santafé, pendant lesquels il travaillait en tant que commerçant et en même temps en tant qu'explorateur et naturaliste, Caldas reconnut le principe sur lequel se base la méthode hypsométrique pour déterminer les altitudes. Au niveau de la mer, le point d'ébullition de l'eau est de 100°C et la pression atmosphérique élève la colonne de mercure à une hauteur de 29,922 pouces. À des altitudes plus élevées la pression atmosphérique est moindre et la température d'ébullition de l'eau diminue. En conséquence, le point d'ébullition de l'eau demeure constant dans des conditions constantes de pression barométrique. Ce principe établissait une technique pour calculer la hauteur barométrique du mercure dans un lieu, une fois connue la température à laquelle bout l'eau dans l'endroit en question; de là à trouver une expression qui permette de réduire le calcul de l'altitude à partir d'une mesure du thermomètre, il n'y avait qu'un pas.

Mais en plus de fixer dans une formule la manière générale dont s'exprimait la corrélation entre altitude et variation thermométrique, la méthode de l'eau en ébullition offrait un avantage indiscutable à l'explorateur de la géographie de la vice-royauté car elle évitait le procédé embarrassant du transport de l'instrument dans les montagnes pour faire des observations *in situ* avec le baromètre. Évidemment dans les cas où il était possible de disposer de cet instrument pour le calcul des altitudes, car il était fréquent que parmi ces baromètres effectivement disponibles au début des expéditions, quelques-uns se cassent dans leurs étuis ou qu'ils tombent dans un précipice avec les mulets qui les transportaient sur les routes escarpées des Andes.

De toute façon, déterminer les altitudes uniquement à partir de la lecture du baromètre était compliqué à cette époque, comme on peut le déduire des explications données par le propre Caldas dans sa correspondance. Une personne possédant un esprit rigoureux et connaissant les conditions de calibrage des baromètres dans les pays où ils avaient été fabriqués (pour cela il aurait suffi de lire les articles correspondants de l'*Encyclopédie*) savait que les lectures barométriques dans les conditions des Andes étaient affectées par différents facteurs. Il était nécessaire, par exemple, d'introduire des *compensations* aux calculs de la température moyenne de la colonne d'air avec une température différente de 0°C. En réalité il aurait également fallu tenir compte des changements dans l'humidité de la colonne d'air, de l'accélération locale de la gravité ou de la latitude du lieu, du calcul de la pression moyenne en relation au niveau de la mer, et même de la dilatation de l'échelle métallique du baromètre.

Pour introduire ces compensations dans les calculs, le premier point de référence était les tables envoyées par le fabricant au moment de l'achat des

appareils. Un autre moyen consistait à employer les habituelles techniques d'interpolation et les instruments comme le nonius ou vernier pour subdiviser les échelles. Au cours de nombreux nivelages barométriques et thermométriques l'explorateur apprenait par un processus d'essai et d'erreur, à utiliser l'instrument selon les paramètres et les conditions du contexte local. Caldas possédait cette expérience même s'il l'avait acquise avec des instruments réparés par lui-même ou de sa propre fabrication; il était également conscient du fait que la légitimité et l'universalité du calcul dépendaient en dernière instance de l'expression analytique. Il était convaincu par exemple qu'il fallait calculer les altitudes au moyen d'une formule simple et élégante qui traduise en termes généraux (c'est-à-dire symboliques) la corrélation entre la température et la hauteur de la colonne dans le baromètre.

Une expérience tout à fait normale dans les activités exploratrices des savants de la Nouvelle Grenade paraît avoir été décisive pour établir chez Caldas la double conviction de la validité de la méthode thermométrique dans le calcul des altitudes et la nécessité de doter cette expérience d'une expression analytique. Lors de l'une de ses ascensions d'une montagne des Andes près de Popayán, sa ville natale, le thermomètre de Caldas se brisa et il fallut qu'il se charge de la réparer pour continuer son programme d'observation. Il est très difficile de déterminer l'échelle du thermomètre car cela dépend de la façon dont on établit les points fixes en relation avec le niveau de la mer (le niveau inférieur pour la température de congélation et le supérieur pour celle d'ébullition), et de la manière dont on calibre ces mesures en fonction des variations qui affectent l'instrument.

Après avoir réalisé des mesures thermométriques à plusieurs niveaux (mais non proprement dit au niveau de la mer), Caldas se rendit compte qu'il devait réviser le patron européen de graduation du thermomètre et le critère d'origine pour le fractionnement d'un degré et il ajusta ce patron pour qu'il s'adapte aux particularités des mesures des altitudes dans le territoire de la Nouvelle Grenade. Il arriva à la conclusion que la corrélation adéquate pour le territoire de la Nouvelle Grenade correspondait en moyenne à 0,974 degré du thermomètre pour un pouce ou 12 lignes dans la hauteur du baromètre. Ensuite il pensa que l'expression générale de l'algorithme se trouvait en train d'employer une quatrième proportionnelle, à savoir: la relation entre 0,974 degré de température et 1 pouce est égale à la relation entre la variation T de la température de l'eau en ébullition entre deux lieux (dont l'un est Popayán) et la hauteur barométrique h du lieu que l'on essaye de trouver. Caldas démontra la formule expérimentalement et vérifia que les valeurs de h obtenues différaient très peu des lectures barométriques empiriques de quelques lieux. Il calcula la marge d'erreur qui se situait entre une demi-ligne et une ligne et demie de hauteur dans la colonne du baromètre, c'est-à-dire entre 0,06% et 5,5% d'erreur.

La formule de Caldas est une expression linéaire qui comprend le coefficient 0,974 en plus d'autres constantes et les variables de température d'e-

bullition et de hauteur barométrique. C'est ce qui résulte quand on applique à un phénomène qui se comporte en réalité selon une variation logarithmique, une technique mathématique assez classique: une proportion euclidienne „linéarisée” avec une variable libre.

Humboldt et la postérité de la mathématisation de Caldas

Compte tenu des limitations instrumentales de l'époque et des localités dans lesquelles il réalisa ses observations, l'expression linéaire de Caldas était aussi fiable que celles de De Luc ou Schuckburg en Europe. Il faudrait considérer de grandes variations du baromètre dans des altitudes très élevées pour se rendre compte que les variations thermométriques ne sont pas proportionnelles aux variations barométriques.

C'est précisément ce que fait Humboldt dans son travail sur la *Géographie des plantes*, écrit avant son départ de Guayaquil, Équateur, en 1803. Humboldt relate qu'il avait réalisé des mesures thermométriques dans les Andes et qu'il avait prouvé qu'aux environs de 7000 mètres les variations d'un degré centigrade peuvent représenter des variations d'altitude de 304 mètres alors qu'à 1000 mètres les variations d'un degré correspondent à 357 mètres. Ces données confirment que Humboldt avait raison lorsqu'il exprimait quelques-unes des réserves mentionnées antérieurement sur les travaux hypsométriques de Caldas, en particulier sur l'inconvénient d'adopter une expression linéaire dans la formule. Dans ce rapport et dans l'autres publications, Humboldt incorpore à ses résultats, ceux des mesures hypsométriques que Caldas lui avait généreusement présentés; et il les accompagne même de commentaires élogieux sur les travaux réalisés par Caldas en météorologie et dans d'autres domaines, dans les conditions difficiles du contexte social et géographique de la Colombie.

Pourtant il n'y a aucun commentaire sur le fait que ces résultats font partie d'une activité de mathématisation de l'hypsométrie. A ce qu'il paraît, Humboldt utilise les mesures de l'altitude au moyen des techniques hypsométriques dans plusieurs excursions dans les Andes de la Colombie et de l'Équateur mais il ne manifeste aucun intérêt particulier pour la réalisation de recherches dans ce domaine. Il s'agissait d'une espèce de savoir instrumental acquis avant son arrivée en Amérique dont il se servait pour caractériser les types physiologiques des bandes ou couches de végétation en fonction des altitudes et d'autres facteurs comme la pression atmosphérique, l'humidité, la température et la luminosité. A son avis l'activité hypsométrique était importante pour „juger l'exactitude que pourraient acquérir les mesures d'altitudes effectuées avec le thermomètre”, mais elle était „peu intéressante pour la théorie”. Ceux qui, malgré ce jugement critique, voulurent connaître l'argument mathématique de Caldas garantissant l'application de la méthode thermométrique dans nos pays, devraient attendre jusqu'en 1819, trois ans

après sa mort, lorsque l'on publia son mémoire sur l'hypsométrie en espagnol dans une imprimerie de Bordeaux.

En résumé, Humboldt ne s'intéressa pas au problème théorique et expérimental des mesures thermométriques comme le fit Caldas. Son style et ses motivations cognitives sur les problèmes furent différents. Sans connaissance antérieure de l'hypsométrie européenne et même avant l'arrivée de Humboldt sur ces terres, Caldas avait pris la décision personnelle de donner à ce nouveau type de mesures météorologiques le traitement mathématique le plus rigoureux possible, compte tenu des connaissances qui étaient alors à sa portée. Pourtant lorsqu'il assumait la direction de l'observatoire astronomique de Bogotá à partir de 1805, d'autres devoirs diminuèrent son intérêt et lui enlevèrent du temps pour continuer à perfectionner ses découvertes aussi bien en hypsométrie que dans d'autres thèmes de recherche comme la géographie des régions équatoriales.

Ensuite à partir de 1810 il se mêla aux révoltes sociales et politiques de la première république et en 1816, à l'âge de 38 ans, il fut fusillé avec d'autres membres de l'élite intellectuelle et scientifique de la Nouvelle Grenade. Pendant des années, les techniques thermométriques de mesure et en général, les procédés de mathématisation de l'hypsométrie introduits par Caldas, furent cultivés par des ingénieurs et des scientifiques colombiens. Malgré la maigre importance attribuée à ces sujets dans l'œuvre de Humboldt et en général, malgré le désintérêt avec lequel ils étaient considérés par la science européenne, ces chercheurs insistèrent pour maintenir et développer cette ligne de recherche comme faisant partie d'une pensée scientifique intégrée à son contexte local.

L'idéal republicain de science utilitaire au XIXe siècle⁴

Tout comme Restrepo, Zea, Arroyo, Cabal et d'autres membres de l'élite intellectuelle, Caldas croyait à la possibilité et la pertinence de développer une pensée mathématique et scientifique autochtone qui ferait partie d'un programme d'explication de notre diversité géographique et culturelle. Sa proposition éducative consistait à ne pas seulement se limiter à reproduire les savoirs que nous arrivions du siècle des lumières européen. C'était une tâche trop lourde, trop peu productive, voire irréalisable, parfois par manque de dotation adéquate des chaires, d'autres fois à cause de la dispersion des professeurs dans de multiples fonctions parallèles et finalement à cause de la vie intermittente des chaires et de l'instabilité des institutions éducatives à une époque de révoltes politiques. Trop tôt, il fallait donner aux jeunes les éléments éducatifs qui leur permettraient de se former de manière continue dans l'explication intégrale des

⁴ Voir à ce sujet: „Arboleda, L. C., Science et nationalisme en Nouvelle Grenade à l'aube de la révolution de l'indépendance" in: *Francisco de Caldas y Tenorio (1786-1816)*, Arboleda, L. C., Diaz-Piedrahita, S. et al., Ed. Molinos - Velásquez, Bogotá, 1994.

problèmes de notre réalité, en même temps qu'on les instruisait pour qu'ils agissent sur cette même réalité et qu'ils transforment les conditions d'existence de la société de la Nouvelle Grenade.

Caldas et son groupe promouvaient chez le professorat des chaires et au moyen du *Semanario del Nuevo Reino (Seminainier du Nouveau Royaume)*, ce concept d'éducation enrichie dans lequel s'articulaient l'appropriation des savoirs et l'intervention sociale. Ils s'opposaient énergiquement au programme mis en œuvre jusqu'alors dans les établissements éducatifs, qui se limitait à cultiver et à divulguer dans le pays la science académique des centres métropolitains, sans prêter aucune attention aux conditions éducatives imposées par le milieu. Des représentations d'activités de recherche comme celles du naturaliste qui consacre de longues périodes à dessiner de merveilleux tableaux de la nature s'associaient avec un modèle éducatif colonial qu'il fallait abandonner, car il conférait une autorité académique et un pouvoir scientifique aux individus mais peu de bénéfices à la société. Ce qu'il fallait diffuser, comme appartenant à un modèle républicain de science utilitaire, c'était des représentations d'activités intégrales comme l'enseignement et le développement de la connaissance autochtone au moyen d'explications de la géographie de notre territoire et de la vie de ses habitants.

A partir des années 1820, on encouragea de façon systématique dans le programme républicain d'éducation publique, cette image des sciences qui répondait aux aspirations de progrès et de bien-être de la communauté. L'élite qui survécut à la guerre d'indépendance assumait l'engagement, en association avec le nouvel état, de réaliser ce programme dont l'un des piliers était l'écriture de textes scolaires et de vulgarisation scientifique. En introduisant ce type de publications éducatives, l'époque du savoir privé qui était reproduit dans la chaire monastique, par le curé éclairé et ses auxiliaires se termine dans le pays. Un des textes les plus représentatifs de ce programme fut les *Lecciones de Física (Leçons de physique)* de José Félix de Restrepo, publié à Bogotá en 1825⁵. Maître de l'élite créole à laquelle appartient Caldas, Restrepo joua un rôle important dans la transition du régime colonial à la république dans les activités éducatives, scientifiques et dans l'administration des nouvelles institutions. Il fut l'un des pionniers de la modernisation culturelle du pays contre les vieilles traditions de la méthode scolastique et la philosophie péripatéticienne.

Les *Leçons de physique* fut le premier texte écrit dans le pays pour exercer l'enseignement moderne et systématique de la physique. Il regroupe l'expérience de l'enseignement que Restrepo avait donné durant des décenn-

⁵ C'est le sujet de la recherche réalisée par L. D. Rodríguez sous la direction de L. C. Arboleda. Un compte-rendu de ce travail dont le titre est le suivant: „Las lecciones de Física de JF Restrepo (1825): un caso de investigación socio-histórica sobre la formación de culturas científicas” a été publié dans Guerrero Rincón A. (ed. 1993), *Ciencia, cultura y mentalidades en la historia de Colombia*, Mémoires du VIIIe Congrès National d'Histoire de Colombie, Bucaramanga, septembre 1992, p. 261–266.

nies dans plusieurs institutions éducatives de la Nouvelle Grenade. Il s'agit d'un travail didactique pour former les jeunes dans la nouvelle science, selon l'orientation que l'Espagnol José Celestino Mutis avait introduit cinquante ans auparavant pour créer dans le pays une culture de la physique newtonienne, désormais non restreinte à quelques membres de l'élite mais destinée à une base sociale plus large conformée par des élèves des établissements publics; désormais non basée sur l'œuvre canonique (le *Principi* de Newton) mais sur des textes de seconde et troisième génération (Musschenbroek, Gravesande, Nollet, Sigaud de La Fond); désormais non orientée à la captation du tissu philosophique du système du monde de Newton mais à la réalisation de l'exposition positive des lois et des principes de la gravitation universelle, la médecine rationnelle et la théorie de la lumière.

Toutes ces théories ne se présentent pas de manière transparente dans les *Leçons de physique* de Restrepo. Selon l'idéologie républicaine de science intégrale et utilitaire à laquelle souscrit Restrepo, l'œuvre se propose d'enseigner à la jeunesse les fondements de la nouvelle cosmovision scientifique; en plus des principes de physique, on traite de manière générale des questions de géographie, de biologie, de chimie et de médecine. D'autre part, l'exposition de la „nouvelle science” est éclectique. Dans son acharnement à donner aux étudiants l'explication qui lui paraît la plus claire et la plus simple, Restrepo ne paraît démontrer aucun scrupule à traiter certaines traditions intellectuelles de substantialistes et mécanistes (Wolff, Descartes).

Il ne s'agissait pas tant de se maintenir ferme, avec Mutis, dans la défense des préceptes newtoniens contre le scolastique des confréries religieuses. Il s'agissait désormais de se doter d'instruments effectifs pour qu'un public plus ample ait accès au savoir, contribuant de cette façon à la matérialisation du devoir de tout citoyen de vivre selon la raison. Les temps nouveaux exigeaient des projets plus terre à terre. Les conceptions de la métropole visant à développer dans le pays la science académique de haut niveau réservée à un petit nombre faisaient désormais partie d'un passé certes héroïque mais également rempli de frustrations.

Au cours du XIXe siècle et au début du XXe, ces conceptions „académiques” et „utilitaires” inspirèrent les activités éducatives, scientifiques et technologiques. Elles ont exercé une influence – ce n'est pas toujours l'unique – sur les efforts entrepris par des groupes et des cénacles d'intellectuels afin de construire les institutions d'enseignement des arts, des métiers et des professions. Ce qui est plus important encore, c'est que ces représentations ont servi d'inspiration au moment de défendre l'existence de ces institutions et de lutter pour les sauver des crises causées par la faiblesse ou l'indolence de l'état ou par les confrontations sectaires entre partis et groupes sociaux.

Quelques chapitres mémorables de l'histoire des sciences et des mathématiques de cette époque sont associés à l'idéal républicain de construire une capacité endogène en sciences et technologie qui garantisse la souve-

raineté et l'indépendance de la nation colombienne. De remarquables ingénieurs et professeurs de mathématiques qui dans leur pratique professionnelle et dans leur activité éducative se réclamaient du projet de Caldas, promouvaient une culture centrée sur les fondements techniques et scientifiques des disciplines et des professions, à la fois solidaire avec les problèmes du contexte local.

Évidemment cela donna lieu à des modalités de relation différentes et parfois contradictoires avec les courants scientifiques mondiaux, selon la façon d'envisager le fondement techno-scientifique de la formation de l'ingénieur dans les circonstances concrètes dans lesquelles elle était alors offerte. Il nous intéresse de mentionner deux personnages dans cette partie finale de la conférence, dans la mesure où ils servent d'exemple de comment, face à certaines circonstances imposées par le milieu, une pensée mathématique créative peut se colorer de particularités: il s'agit d'Indalecio Liévano Reyes (1834–1913) et de Julio Garavito Armero (1865–1920).

Lievano: une proposition originale pour construire les nombres irrationnels⁶

La formation mathématique des plus remarquables ingénieurs et professeurs colombiens au XIXe siècle (Lino de Pombo, Indalecio Liévano, Julio Garavito et ses élèves) et les activités éducatives et professionnelles qu'ils ont développées, furent fondamentalement marquées par le modèle français de l'époque en sciences et dans son enseignement. Comme dans d'autres pays de la région, en Colombie une tradition d'influence française pénètre dans les domaines des sciences naturelles et l'ingénierie. Pourtant, en particulier dans une société aussi perturbée que la colombienne, les préférences pour les propositions ou les tendances françaises durent lutter contre les circonstances sociales et politiques du milieu pour obtenir leur implantation et leur existence.

Les obstacles et le manque d'encouragement fréquemment imposés par l'instabilité sociale et politique aux processus de modernisation scientifique et éducative, faisaient que les préférences pour le modèle français s'imprègnent fortement des conceptions et des capacités individuelles d'intervention des dirigeants et personnalités influentes qui les sélectionnaient comme des alternatives désirables. À part ces exceptions il est possible de continuer à parler de la prépondérance du modèle français d'enseignement des sciences et des mathématiques. Ces préférences apparaissent depuis les premiers moments de la création des institutions et des professions scientifiques et techniques.

Cela fut une politique courante, tout au moins depuis l'arrivée de la Mission Boussingault en 1824, que les gouvernements se tournent vers la

⁶ Ces commentaires se basent sur un exposé récent de Gabriela Arbeláez dans le Séminaire du *Grupo de Historia y Educación Matemática*, comme partie de la thèse de doctorat dirigée par L. C. Arboleda: „El proceso de instauración de las técnicas del infinito actual en Colombia: una aproximación socio-cultural” (1910–1950), Projet ECOS-Nord n° 97pc08.

patrie des idéaux de liberté et de démocratie pour installer les bases politiques des états indépendants, créer des capacités scientifiques et intellectuelles et stimuler le développement économique. Le collège militaire, créé en Colombie en 1848, s'est inspiré du modèle de l'École polytechnique de Paris. C'est là où s'est formée la première génération d'ingénieurs professionnels qui, tout au long de la deuxième moitié du XIXe siècle, a assumé avec des entrepreneurs étrangers, la responsabilité des programmes de construction des œuvres publiques et de l'enseignement des mathématiques et de l'ingénierie. Plusieurs missions engagées pour planifier et mettre en marche des projets et des activités dans différents domaines scientifiques et technologiques étaient françaises.

Depuis le gouvernement de Santander en 1826 jusqu'à la réforme de l'enseignement en ingénierie de Garavito en 1898, les plans de l'état pour la modernisation de l'instruction publique étaient également marqués par l'influence française. Dans la décade des 1930, l'enseignement de l'analyse mathématique à l'Université nationale, l'institution éducative et scientifique la plus importante du pays, se basait encore sur des textes comme ceux de Sturm, Bertrand, Serret et même Apell et Laurent. Un phénomène semblable avait eu lieu au XIXe siècle avec les œuvres de Lacroix et Legendre, qui de toute évidence, influencèrent l'enseignement et l'élaboration du premier ensemble de manuels colombiens d'arithmétique, géométrie et algèbre, élaborés par Pombo et Liévano autour de 1850.

Les manuels écrits par des professeurs colombiens s'inspiraient de ces textes et d'autres significatifs d'origine française, même si les contenus et le traitement des thèmes dépendaient normalement des conceptions que ces professeurs avaient des mathématiques et de leur enseignement dans le contexte culturel du pays. Voilà pourquoi la production historique en matière de manuels scolaires autochtones attire de plus en plus l'attention des historiens et des enseignants mathématiciens qui s'intéressent par exemple à la recherche des types de transposition didactique qui se sont appliqués aux connaissances et aux savoirs européens pour assurer leur circulation et leur appropriation dans nos institutions éducatives. Par ce moyen, on a même réussi à découvrir dans ces textes des contributions originales au savoir. Probablement leurs auteurs trouvèrent de meilleures conditions pour exercer leur créativité, parce qu'ils étaient affrontés à la nécessité d'employer des stratégies éducatives rigoureuses pour induire chez leurs élèves de véritables actes de raisonnement à partir d'un objet mathématique particulier.

Un de ces cas exceptionnels est la théorie des nombres incommensurables qui apparaît dans le *Tratado Elemental de Aritmética (Traité élémentaire d'arithmétique)* de Liévano. La première édition de cette œuvre date de 1856 et elle est donc antérieure aux travaux de Cantor, Dedekind et Méray sur la constructions des irrationnels, mais elle partage avec elle le même objet: déchiffrer la structure intime du continu réel en mathématiques. Lié-

vano, éduqué au Collège militaire de Bogotá, est le premier mathématicien colombien dont on peut examiner l'œuvre à partir de l'incorporation de certaines techniques modernes sur l'infini actuel et le continu mathématique.

Ce cas est d'une importance reconnue pour l'histoire et l'enseignement des mathématiques, car comme on le sait, dans les années où Liévano prépare et donne ses cours sur les fondements de l'arithmétique et de l'algèbre, il se crée en Europe des conditions pour la constitution d'une nouvelle culture mathématique. Il existe deux caractéristiques de la formation de cette culture qui deviennent des critères fondamentaux pour l'étude de l'œuvre de Liévano. D'une part le nouveau traitement épistémologique de l'infini mathématique qui convergera vers la création de la théorie cantorienne des ensembles dans les années 1870 et l'élaboration d'une pensée philosophique au sujet du type d'existence d'objets mathématiques comme continu et ensemble.

Le *Tratado (Traité)* de Liévano contient une proposition positive pour construire les nombres irrationnels à partir de l'arithmétique des rationnels, présentée d'une façon *grosso modo* déductive. Liévano introduisit cette exposition avec une réflexion conceptuelle sur les objets et les techniques constructives engagées dans sa théorie (nombre, quantité, grandeur, variation, ensemble, continu, infini). Mais la pensée de Liévano oscille entre un raisonnement dirigé vers la caractérisation des nouvelles propriétés mathématiques de l'objet que l'on se propose de construire (les nombres incommensurables) et un discours scolastique qui essaye de diriger ce raisonnement vers des spéculations ontologiques substantialistes.

En tous les cas, la proposition de Liévano rompt avec la tradition arithmétique qui consiste à restreindre le nombre à une relation entre grandeurs homogènes. Le lecteur diligent de l'œuvre de Liévano ne pouvait pas négliger l'exigence qui y était proposée de fonder la notion de grandeur continue dans la classe des nombres irrationnels ou réels. Ce livre eut une circulation importante et il fut amplement utilisé pour l'enseignement des cours d'arithmétique dans les facultés d'ingénierie du pays. C'est ainsi que pendant longtemps il offrit la possibilité que les étudiants connaissent la „nouvelle arithmétique” du continu puisque les cours qui normalement servaient pour enseigner le calcul différentiel et intégral dans les universités jusqu'aux années 1930 (Sturm, Serret, Bertrand, Houel) ne contenait pas de préliminaire sur la construction des réels.

Garavito: raisons de son opposition aux géométries non-euclidiennes⁷

Garavito fut l'homme de science le plus prestigieux dans l'élite académique colombienne vers la fin du XIXe siècle et jusqu'à une bonne partie

⁷ Version résumée et actualisée de: Arboleda, L. C. et Anacona, M. P., „Las Geometrías no Euclidianas en Colombia: La apuesta euclidiana del profesor Julio Garavito (1865–1920)” in: *Quipu, Revista Latinoamericana de Historia de las Ciencias y la Tecnología*, México, vol. 4, 1996, n° 1, p. 7–24.

du XXe. Liévano, Garavito, Rozo, Alvarez, entre autres furent tous des ingénieurs qui se distinguèrent grâce à leur participation dans des œuvres civiles, à l'exercice de l'enseignement, et grâce à leurs activités scientifiques en astronomie, physique et mathématiques. Garavito se forma comme ingénieur à l'Université Nationale de Colombie, à l'intérieur de ce concept de sciences avec une base théorique mais en même temps utilitaire, que nous avons associé à l'idéologie de Caldas et de l'élite républicaine.

Comme ingénieur, astronome, conseiller, économiste et fonctionnaire de l'administration publique, il partagea cette vision de la science intégrale appliquée au développement national. Mais il se proposa de continuer l'œuvre historique initiée par José Celestino Mutis un siècle auparavant, pour consolider dans le pays des institutions éducatives modernes, l'éducation scientifique supérieure et pour diffuser au moyen de ces dernières une solide culture scientifique.

Son activité éducative se développa principalement autour de l'enseignement des fondements de l'analyse mathématique moderne, la mécanique rationnelle et les théories de Newton sur le système du monde. À la différence de ses précécesseurs, Garavito se préoccupa pour publier et maintenir des échanges avec des institutions et des collègues d'autres pays. Il assuma consciemment le rôle de divulgation et de promotion de la culture scientifique française dans nos établissements et les linéaments français pour l'organisation des programmes de formation d'ingénieurs. Ses travaux mathématiques étaient généralement accompagnés de réflexions pédagogiques et philosophiques.

En philosophie, il s'est intéressé particulièrement à la réflexion sur le statut ontologique des concepts d'espace et de temps à partir de ses lectures d'Euclides, Descartes, Kant et Poincaré. À partir de là et d'une réflexion personnelle sur les œuvres de Lobatchevski et de Riemann, il mit en question la pertinence de divulguer et d'inclure les géométries non-euclidiennes (GNE) dans les programmes d'étude. C'est ainsi que celui qui fut d'une part responsable de la modernisation éducative, en plus de promoteur des paradigmes de la rigueur de pensée, celui qui posa les bases pour la professionnalisation de la recherche en mathématiques dans le pays, apparaît d'autre part comme quelqu'un assumant des positions contraires à l'introduction et la divulgation des GNE, qui représente un des progrès mathématiques et scientifiques les plus féconds du XIXe siècle.

Cette attitude ne fut pas le résultat du retard culturel du milieu, ni de l'isolement de Garavito par rapport aux centres intellectuels européens, ni du caprice d'un individu. Cette attitude s'explique avant tout par la façon dont Garavito se représente la formation dans la pensée de la notion de l'espace géométrique. Dans un texte antérieur, nous avons essayé, de caractériser cette conception qui, sauf erreur de notre part, comporte une ambiguïté philosophique sur laquelle Garavito ne s'est pas arrêté. D'une part il

a pris partie pour l'idée kantienne d'espace, en vertu de laquelle notre connaissance des propriétés de dimension-3 ou de continuité de l'espace est empirique, c'est-à-dire qu'elle se déduit des phénomènes. Par conséquent, l'objet légitime de la géométrie est cet espace inhérent à notre être et qui correspond parfaitement à la réalité. D'autre part, à partir de sa lecture de Poincaré, Garavito reconnaît à d'autres géométries la possibilité d'exister mais comme des objets imaginaires, comme des artefacts théoriques qui en tous les cas ne peuvent expliquer la réalité.

La conclusion de cette façon d'argumenter était celle que l'on pouvait attendre: à cause de sa pertinence conceptuelle, de sa commodité et son caractère intuitif, la géométrie euclidienne était la seule géométrie qui pouvait trouver une place dans les programmes éducatifs et dans les espaces sociaux de formation de culture scientifique. Cette position réfractaire face à l'introduction des GNE dans l'éducation fut assumée envers et contre tout par les élèves de Garavito. Tant que Garavito maintint un débat académique ouvert en fonction de la publication de ses arguments philosophiques et pédagogiques, d'autres comme Alvarez Lleras assumèrent une défense dogmatique des idées de leur maître. Ils l'extrapolèrent à un tel point que leur proposition réduisait pratiquement les programmes éducatifs et scientifiques au développement de la „science classique”.

L'idée étrange de donner la priorité au „classique” en éducation et en science, a tenté nos intellectuels surtout dans les époques de fermeture du pays aux courants intellectuels internationaux. Parfois cela a été la conséquence d'une façon erronée de comprendre le projet républicain de science utilitaire et autochtone, en le privant de la composante d'universalité et de relation avec le monde scientifique qu'il comportait à son origine. D'autres fois il s'expliquait par le fait que nos groupes et communautés académiques étaient entrés en période d'hibernation intellectuelle, qui les conduisirent à perdre le sens du risque et d'exposition permanente au changement propre de la créativité scientifique. Pour cette même raison, ils finirent par assimiler dans leur pratique les coutumes politiques du *statu quo* dans l'administration du régime et la continuité de l'oligarchie dans l'exercice du pouvoir, le pire des maux de notre histoire républicaine.

En guise de conclusion

Les cas mentionnés antérieurement de Caldas, Restrepo, Liévano et Garavito montrent que dans cette période de l'histoire colombienne, les intellectuels les plus influents du pays considéraient indispensable de cultiver les mathématiques en tant que projet de vie personnelle. L'explication mathématique de la nature et de la réalité adopta pour eux les mêmes caractéristiques de nécessité de survie culturelle que d'autres activités considérées vitales pour le développement social et humain de la société durant le régime

républicain à ses débuts. Pour cette raison leurs pratiques mathématiques et les productions auxquelles elles donnèrent lieu, furent imprégnées des couleurs particulières de l'époque où elles se réalisèrent.

Ces individus savaient d'autre part que dans le fond, les problèmes auxquels les mathématiques apportaient une solution étaient communs aux autres nations et que pour cette raison, ils transcendaient les frontières du pays. Généralement les types de mathématisations qui leur étaient familiers, furent le résultat de l'exercice du raisonnement mathématique dans ses fonctions basiques de mesurer, de calculer, d'approcher. Mais ils n'ignoraient pas le fait que cet universel de la raison mathématique se déclinait de façon différente selon le contexte socioculturel, puisque les résultats espérés en termes de développement et de progrès, de prestige et d'ascension sociale grâce à la science ou d'obtention de bénéfices dans les métiers et les professions qualifiées, n'étaient jamais comparables dans les puissances impériales et les républiques émergentes. Malgré cette iniquité structurelle et l'inquiétude produite par un milieu au comportement de plus en plus imprévisible, ces pionniers persévérèrent dans leurs efforts de développer en tant que projet intellectuel, une raison mathématique culturellement diverse.