

**PUENTES, 1802:
LA RUPTURE DU PLUS GRAND BARRAGE DU MONDE,
OU LE DOUBLE ECHEC D'ANTONIO DE ROBLES
LE RAPPORT BETANCOURT**

Jean-Pierre Chabal, Jean-Louis Bordes
jean-pierre.chabal@coyne-et-bellier.fr
jean-louis.bordes@wanadoo.fr

Le 21 juillet 1802, l'inspecteur général des routes et canaux (inspector general de caminos y canales) Agustín (Augustin) de Betancourt signe son rapport au roi d'Espagne sur la rupture du plus grand barrage alors en service dans le monde.

Survenue trois mois plus tôt dans le Sud-Est du pays, onze ans après fin de la construction, cette rupture fit date¹. Due à la défaillance de la fondation, elle provoqua une brèche dans la maçonnerie et la vidange quasi instantanée de la retenue (fig. 1). Elle causa 608 morts. Elle est considérée comme la première grande catastrophe d'origine anthropique à l'orée de l'ère industrielle.

Le rapport Betancourt, quoique très court au regard de l'importance du sujet, éclaire l'état de la technique à la fin du XVIII^e siècle. Il a été publié il y a quinze ans par Julio Muñoz Bravo². Le présent article en propose une nouvelle lecture. Certains passages en sont cités ci-après, en italiques. Ils résultent d'une traduction en français par les auteurs.

Les principales caractéristiques des ouvrages concernés sont données en annexe.

¹ Sur les leçons tirées de la rupture de Puentes quant à la technique des barrages, voir: COYNE, André (1943) *Leçons sur les grands barrages*, Paris, Ecole nationale des ponts et chaussées; CIGB (1974) *Leçons tirées des accidents de barrages*, Paris, Commission Internationale des Grands Barrages, 24-25.

² BETANCOURT, Agustín de (1802) *Informe dado por D. Agustín de Betancourt sobre los Pantanos y reparos que deben hacerse en Lorca* (1802), publié par MUÑOZ BRAVO, Julio (1993) "Informe inédito sobre una cimentación fallida" in *IV Jornadas Españolas de Presas: Cimentación de las presas: Murcia, 4 y 5 de Mayo de 1993*, Comité Español de Grandes Presas, 594-608. Voir aussi: MUÑOZ BRAVO, Julio (1988) "Betancourt y la rotura de la presa de Puentes" in *XVI simposio internacional ICOTHEC: Madrid, 5-9 septiembre 1988*.



Figure 1.

1.- L'ordre de mission.

Betancourt a été chargé par le roi d'élucider la cause de la rupture du barrage de Puentes. Il doit en décrire l'état actuel. Il doit également porter un jugement sur le barrage de Valdeinfierno (fig. 2), qui avait été construit simultanément plus à l'amont. Il doit enfin se prononcer sur les mesures à prendre par rapport aux irrigations, qui étaient la raison d'être de ces ouvrages³.

Pour poser le cadre de son expertise, Betancourt rappelle en quelques lignes l'origine de la Société royale des barrages de Lorca:

³ Sur l'histoire des barrages de Lorca, voir: BAUTISTA MARTIN, José; MUÑOZ BRAVO, Julio (1986) *Las presas del estrecho de Puentes*, Murcia, Confederación hidrográfica del Segura; MULA GÓMEZ, Antonio J., HERNÁNDEZ FRANCO, Juan; GRIS MARTÍNEZ, Joaquín (1986) *Las obras hidráulicas en el Reino de Murcia durante el reformismo borbónico: Los Reales Pantanos de Lorca*. Murcia, Colegio de Ingenieros; CHABAL, Jean-Pierre (1990) *Hydraulique, économie, société à Lorca (Sud-Est de l'Espagne), 1785-1802*: DEA, Paris, EHESS; GIL OLCINA, Antonio (2005) "Hiperembalses dieciochescos de Puentes y Valdeinfierno" in *La cultura del agua en la cuenca del Segura*, Murcia, Fundación Caja Murcia, 279-309.



Figure 2.

“Les terres de Lorca sont irriguées depuis longtemps et au bénéfice de beaucoup [...]. Sa majesté Charles III décida le 11 février 1785 la construction de deux barrages pour l’irrigation, à l’imitation de celui d’Alicante et aux frais du Trésor royal. Une fois reconnus par l’Architecte M. Juan de Villanueva les sites où devaient être construits les barrages, et examinés et approuvés les plans, l’exécution des ouvrages fut confiée à l’Architecte M. Gerónimo Martínez de Lara [...]”⁴.

Betancourt ne va pas jusqu’à préciser le contexte naturel et historique de l’aménagement. Les éléments de ce contexte sont brièvement présentés ci-après.

⁴ “Regar los campos de Lorca ha sido el beneficio de muchos hombres y de largos tiempos [...]; resolvió el Sr. D. Carlos III en 11 de Febrero de 1785 se construyesen dos pantanos para el mencionado objeto, a imitación del de Alicante y a costa de la Real Hacienda. Reconocidos los sitios donde se habían de construir dichos pantanos por el Arquitecto D. Juan de Villanueva, y examinados y aprobados sus planos se encargó la ejecución de las obras al Arquitecto D. Gerónimo Martínez de Lara [...]”. BETANCOURT (1802), 597.

2.- Le cadre géographique.

La ville de Lorca (fig. 3) est implantée au débouché de la rivière Guadalentín sur une large vallée alluviale. La région a été décrite par Guy Lemeunier comme une "langue présaharienne sur le rivage Nord de la Méditerranée"⁵. Le climat y est en effet semi aride. C'est ainsi que sur la période 1948-1968, le bassin versant du Guadalentín n'a reçu qu'environ 300 mm de pluie par an⁶. Au début du XX^e siècle, la vallée rappelait au géographe Jean Brunhes la plaine algérienne du Chélif, mais "en plus aride, en plus grisâtre"⁷.

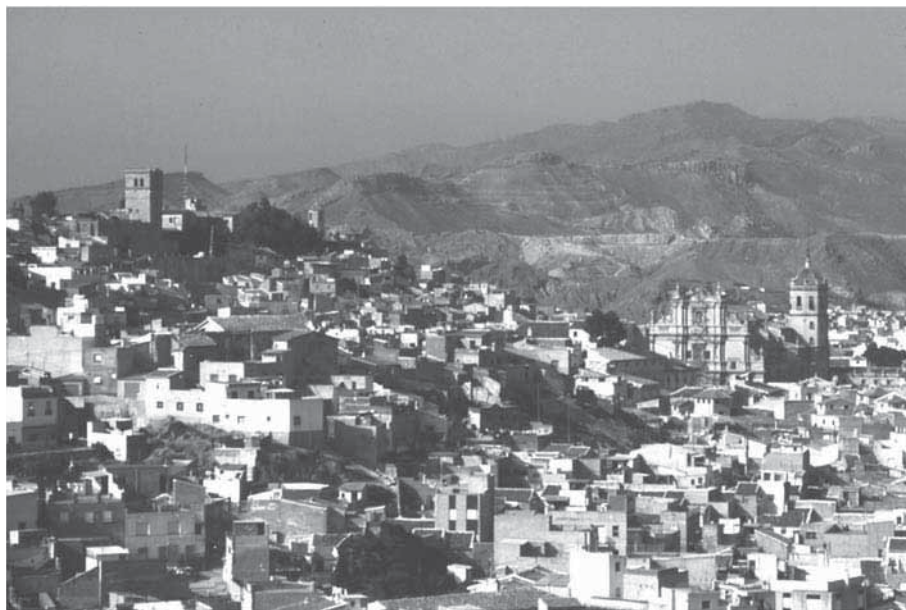


Figure 3.

- 5 LEMEUNIER, Guy et Maria-Teresa (1983) "Pouvoir hydraulique et conjoncture économique: La gestion des eaux intérieures dans l'Espagne aride (1500-1900)" in *XV Settimana di Studio "Le acque interne: secc. XII-XVIII"*, Prato, Instituto Internazionale di Storia Economica Francesco Datini.
- 6 HERIN, Robert (1980) *Les huertas de Murcie: Les hommes, la terre et l'eau dans l'Espagne aride*. Edisud, p. 30.
- 7 BRUNHES, Jean (1902) *Etude de géographie humaine: L'irrigation, ses conditions géographiques, ses modes et son organisation dans la Péninsule ibérique et dans l'Afrique du Nord*, Paris, C. Naud, 86.

Le Guadalentín, qui à Lorca draine 2 380 km², n'est autre que le *wad-altín* des Musulmans, la "rivière de boue"⁸. Il fonctionne comme un oued nord-africain, avec un débit permanent limité. Ses bienfaits à l'agriculture ont longtemps été liés tout autant aux alluvions fertiles qui accompagnaient les crues qu'à des apports liquides aussi médiocres qu'irréguliers. Dûment répartie par des seuils en rivière, une crue pouvait en effet apporter à la plaine sept centimètres d'alluvions, "donnant ainsi l'impression de semer sur une terre nouvelle"⁹.

Il s'agissait là d'un système d'épandage de crues, à ne pas confondre avec l'agriculture de décrue. Dans l'agriculture de décrue, typique de grands fleuves africains comme le Niger ou le Chari, une rivière pérenne déborde ses rives pour submerger la plaine alentour. L'épandage de crue consiste au contraire à dériver les eaux de rivières à écoulement sporadique, de façon à arroser de vastes territoires et à les fertiliser. On trouve ce système sous les climats semi-arides: Corne de l'Afrique, Maghreb, certaines régions de l'Asie du Sud, etc¹⁰.

Au XVIII^e siècle, le système agraire de Lorca comportait une zone d'irrigation permanente d'environ 2 500 hectares située à proximité de la ville, ainsi qu'une étendue de l'ordre de 10000 hectares arrosée par épandage de crues¹¹. Le dispositif hydro-agricole y était semblable à ce que nous observons aujourd'hui dans certains oasis présahariens.

Peu favorisée par l'hydrologie, la région a par ailleurs été fortement marquée par l'histoire.

3.- Le contexte historique.

Du milieu du XIII^e à la fin du XV^e siècle, le territoire de Lorca a constitué une marche militaire castillane face au royaume de Grenade. Cette situation

⁸ Sur la rivière Guadalentín et sur la plaine de Lorca, voir: GIL OLCINA, Antonio (1968) "El régimen del río Guadalentín", *Cuadernos de Geografía* (Valencia), n° 5, 163-181; GIL OLCINA, Antonio (1971) *El campo de Lorca: Estudio de geografía agraria*. Valencia, Departamento de Geografía, Facultad de filosofía y letras.

⁹ MUSSO Y FONTES, José (1876) *Historia de los riegos de Lorca, de los ríos Castril y Guardal o del Canal de Murcia y de los Ojos de Archivel*. Murcia, reimpr. por la Agrupación Cultural Lorquina, 1982, 156.

¹⁰ UNDP-FAO (1987) *Spate Irrigation: Proceedings of the Sub-Regional Expert Consultation on Wadi Development for Agriculture in the Natural Yemen: 6-10 December 1987*, Aden.

¹¹ GIL OLCINA, Antonio (1990), Introducción a *Lorca 1755 según la Respuestas Generales del Catastro de Ensenada*, Madrid, Tabapress, 19 (Colección Alcabala del Viento, n. 17).

a longtemps correspondu à une très faible densité de peuplement. Favorisée par les défrichements et le drainage des zones humides, la population de la Murcie tripla cependant au XVIII^e siècle¹².

Début 1785, Lorca vit le lancement d'un plan de développement comportant la construction des barrages de Puentes et de Valdeinfierno, ainsi que celle d'un port maritime. Antonio de Robles Vives, haut fonctionnaire originaire de la ville et beau-frère du premier ministre Floridablanca, fut nommé par Charles III à la tête de la Société royale des barrages de Lorca créée à cet effet.

Outre l'ambitieux programme de travaux, Robles Vives engagea une réforme du régime des droits d'eau. En effet, et sauf pour de petites zones proches du centre urbain, la propriété de la terre à Lorca n'entraînait pas la jouissance de l'eau d'irrigation. L'essentiel des droits d'eau y était propriété privée, même si concomitamment la Ville se proclamait "seigneur de ses eaux". L'eau d'irrigation faisait l'objet d'une vente aux enchères quotidienne, attestée depuis le XV^e siècle. Le chapitre collégial comptait parmi les principaux propriétaires de droits d'eau. Robles Vives entreprit d'exproprier ces ayants droit. Il entendait en effet supprimer la vente aux enchères et répartir l'eau stockée dans les retenues des deux barrages en fonction des nécessités culturelles. Devant les résistances locales, il dut en 1790 se résoudre à une demi-mesure, où ne seraient stockées que les eaux qui autrement auraient été perdues¹³.

Il fut démis de ses fonctions en 1792, en même temps que son protecteur Floridablanca était congédié par le roi. Avant même la rupture, l'entreprise de la Société royale des barrages de Lorca avait donc déjà été quelque peu mise à mal. C'est cependant essentiellement cette rupture que l'ingénieur Betancourt s'attache à expliquer.

¹² LEMEUNIER, Guy (1997) "Environnement et croissance agraire dans l'Espagne aride: XVI^e-XVIII^e siècles", *Histoire, Economie et Société*, an. 16, n° 3, 392. Sur l'histoire de la Murcie, voir aussi: PEREZ PICAZO, María-Teresa; LEMEUNIER, Guy (1984) *El proceso de modernización de la región murciana: siglos XVI-XIX*, Murcia, Ed. regional (Biblioteca básica murciana, Extra 1); LEMEUNIER, Guy (1985) "El reino de Murcia en el siglo XVIII: realidad y contradicciones del crecimiento". In: *España en el siglo XVIII*, Barcelona, Crítica, 289-341.

¹³ GIL OLCINA, Antonio (1985) "La propiedad del agua en los grandes regadíos deficitarios del sureste peninsular: el ejemplo del Guadalentín", *Agricultura y sociedad*, n. 35, Abril-Junio, 216.

4.- L'explication de la rupture par Agustín de Betancourt.

Betancourt rappelle que le barrage de Puentes, un ouvrage du type poids en maçonnerie d'une hauteur de 50 m (fig. 4-5), avait été conçu à l'imitation de celui de Tibi. Ce dernier barrage (fig. 6) contribuait alors depuis deux siècles à l'alimentation en eau des irrigations d'Alicante. Il ajoute que

*"La cause [de la rupture] est que la fondation ne devait pas être réalisée là où elle le fut, et que les règles qui furent suivies sont celles convenant à une fondation en eaux vives, sans se rendre compte que le cas présent était très différent"*¹⁴.

Betancourt n'est guère plus explicite. Il fait allusion aux meilleurs auteurs, mais sans les nommer. Il se réfère aux avertissements qui ont été formulés

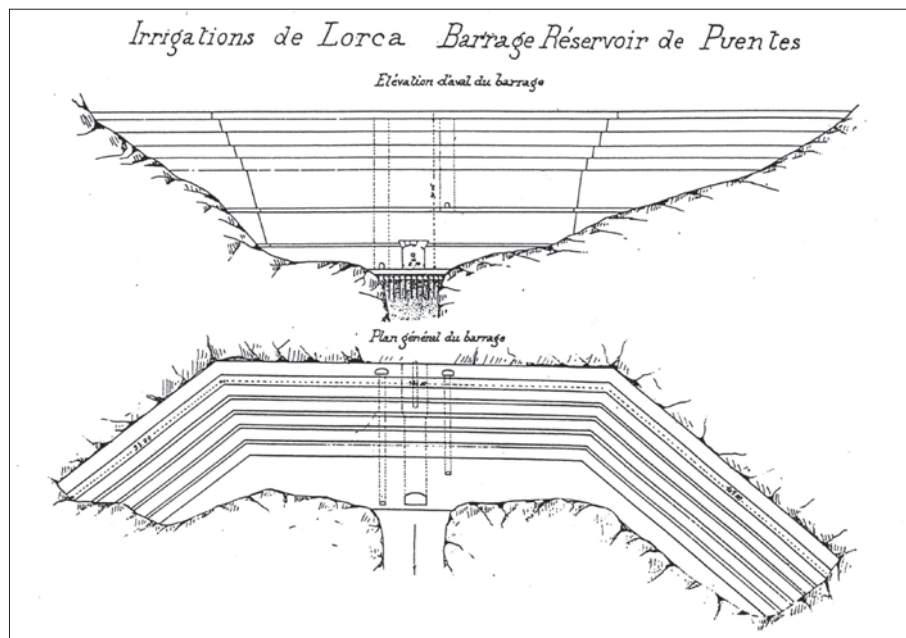


Figure 4.

¹⁴ "La causa ha sido que el cimiento no debió de fundarse donde se hizo, y se procedió a ello por las reglas observadas por fundar en agua corriente, sin atender que era muy distinto el caso de que se trataba." BETANCOURT (1802), 597.

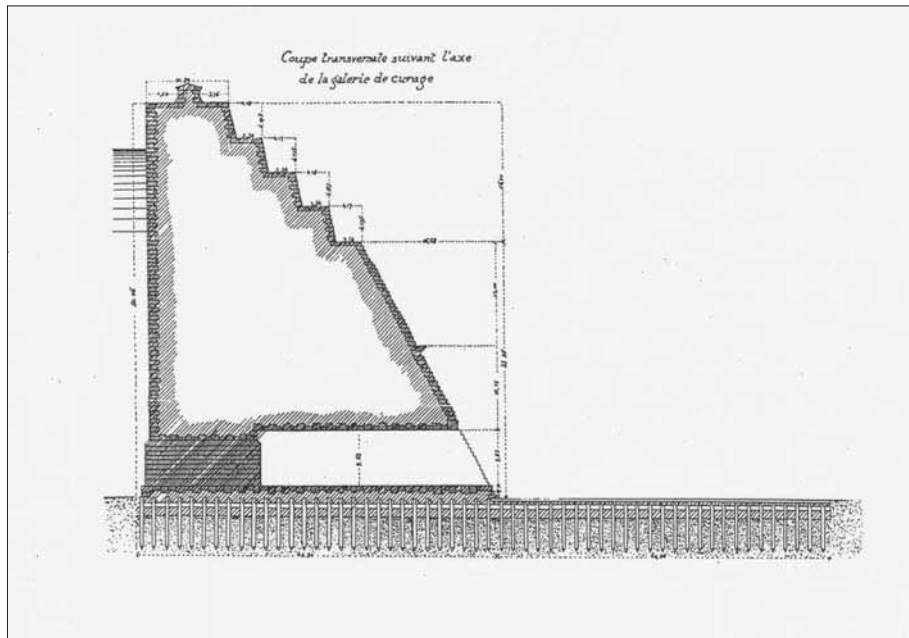


Figure 5.



Figure 6.

par l'ingénieur militaire Joaquin Ibarguen, d'abord pendant les travaux de construction, puis un an après mise en service du barrage. Ces avertissements étaient cependant peu clairs, du moins tels que les rapporte Betancourt.

En conclusion de la partie de son rapport consacrée à la rupture, Betancourt ajoute ceci:

"[...] mais rien de tout cela n'aurait causé la ruine du Barrage, s'il n'avait pas été fondé sur un banc de sable, et dont l'épaisseur n'a pas été reconnue au moment de sa fondation, suivant ce que m'a dit le même architecte Lara parce qu'il ne savait pas qu'il existait des instruments pour faire ces opérations avec facilité et certitude. Il se contenta du bref essai d'épuisement d'une excavation, essai qui ne fut pas suffisant pour s'assurer de la solidité des appuis pour y fonder le mur, et se décida à la construire sur des pieux et sur un radier sans tenir compte des lois de l'Hydraulique à appliquer en pareil cas; en somme le défaut d'instruction a été la cause de la rupture qui est survenue. Et ceci manifeste que les connaissances et la pratique qui sont très suffisantes pour exécuter certains ouvrages ne le sont pas pour d'autres, et la différence qu'il y a entre les connaissances nécessaires pour déterminer ce qu'il convient de mettre en œuvre et celles qui suffisent pour exécuter ce qui a été décidé"¹⁵.

Martínez de Lara avait en effet constaté l'existence d'un sillon alluvial de 17 mètres de large, rempli de sable et gravier, et dont il ne put reconnaître la profondeur. Il avait alors pris le parti de fonder l'ouvrage sur pieux (fig. 5). Il en avait réuni les têtes par un quadrillage de poutres noyé dans une maçonnerie, constituant ainsi un radier sur lequel reposait la partie centrale

¹⁵ "[...] pero nada de esto hubiera causado la ruina del Pantano, si no se hubiese fundado sobre un banco de arena, y cuya profundidad no se reconoció al tiempo de su fundación, según me dijo el mismo Arquitecto Lara, por no tener noticias de que existían instrumentos para hacer estas operaciones con facilidad y certeza. Se contentó con intentar un corto desagüe en un excavación que emprendió y no siendo suficiente para seguir a buscar la solidez de los montes, para fundar sobre ellos la pared o muralla, determinó construirla sobre estacadas y emparrillado, sin tenerse presentes las leyes de la Hidráulica y la aplicación que de ellas se debía hacer en aquel caso, en suma la falta de instrucción ha sido la causa de la ruina que se ha experimentado; y eso manifiesta que los conocimientos y práctica que son muy suficientes para ejecutar ciertas obras no bastan para otras, y la diferencia que hay entre los conocimientos necesarios para resolver lo que se ha de ejecutar, y los que bastan para ejecutar lo que esta resuelto." BETANCOURT (1802), 601.

du barrage. Lara encourait ainsi le risque de désorganisation mécanique de la fondation par érosion interne.

Betancourt, l'expert commis par le roi pour expliquer la rupture, avait-il beaucoup plus que Martínez de Lara les moyens d'en comprendre les mécanismes? Il convient pour l'établir de rappeler l'état des connaissances à l'époque.

5.- L'état de la technique à la fin du XVIII^e siècle.

Betancourt connaissait certainement l'œuvre de Bélidor. Dès 1740, celui-ci écrivait dans son *Architecture hydraulique*:

“Il était tout simple que ceux qui ont les premiers construits des écluses, songeassent à garantir les extrémités de leur radier des dégradations que l'action de l'eau ne manquerait pas d'y causer; peut-être aussi que ce n'a été qu'après une fâcheuse expérience qu'ils en ont senti la nécessité. Quoi qu'il en soit, il est certain que dans tous les cas où elle peut le trouver, elle ne cesse d'agir pour s'ouvrir un passage, aux dépens des corps qui lui font obstacle. Si elle est courante, elle fouille et dégrade ce qui s'oppose à son passage avec d'autant plus de force que son cours est plus rapide: si au contraire elle est dormante, celle du fond fait effort en tous sens pour s'échapper de la contrainte où la met le poids de celle dont elle est chargée; et si elle rencontre quelques fentes dans les jonctions des pièces de charpente, des lézardes dans la terre ou dans la maçonnerie, elle devient un furet des plus actifs, et elle délave et sépare les parties qui paraissaient les plus unies; de là elle continue à faire du progrès tant qu'elle soit parvenue à trouver une issue pour fuir. Alors le dommage qu'elle cause se fait avec une rapidité capable de tout détruire, si on n'y apporte un prompt remède; ce qui devient quelque fois impossible”¹⁶.

Bélidor décrit donc ci-dessus deux mécanismes possibles de l'action de l'eau. Le premier mécanisme voit les “eaux courantes” agir par arrachement, ou érosion, des particules du sol. Dans le second, les “eaux dormantes” agissent dans le cœur des massifs par infiltration sous la pression de la charge

¹⁶ BELIDOR, Bernard Forest de (1773) *Architecture hydraulique*, Paris, C.A. Jombert, pt. II, livre I, ch. VII, 142.

d'une retenue. Il s'agit, dans ce dernier cas, du phénomène dit de "renard", connu de longue date pour avoir entraîné la rupture de nombreuses digues en terre. Betancourt avait connaissance de ce risque. Compte tenu de l'état de l'art à son époque, il lui était cependant impossible de le quantifier. Même l'épaisseur de la fondation alluviale lui aurait été impossible à déterminer. Lorsqu'il affirme que Martinez de Lara aurait eu les moyens de reconnaître cette épaisseur, il s'avance trop. Ne connaissant pas lui-même cette épaisseur, laquelle en réalité était de l'ordre de 20 m, il n'aurait en effet pas dû affirmer que cette reconnaissance était possible. C'est seulement vers 1820 que le progrès des techniques a permis, non sans difficulté, de sonder les remplissages alluviaux sur des profondeurs de cet ordre.

6.- La progression ultérieure des connaissances et les explications actuelles.

Comme Maurice Aymard le souligne dans son analyse de la catastrophe, publiée au milieu du XIX^e siècle, le barrage de Puentes avait tenu plus d'une décennie à mi-charge, avant de se rompre au premier remplissage complet: "La fondation n'était pas fondamentalement vicieuse, et eut résisté indéfiniment si le barrage avait eu une moindre hauteur, 20 à 25 m par exemple"¹⁷. Un tel barrage de moindre hauteur aurait effectivement pu tenir s'il avait eu la même épaisseur au niveau du sol, et sous réserve qu'il n'y ait pas eu d'érosion interne en évolution lente dans la fondation, ce que nous ne savons pas. Lorsqu'Aymard porte son jugement sur la fondation, les facteurs concourant au mécanisme qui a emporté Puentes ne sont toujours pas identifiés. La fondation avait bien un vice caché pour l'époque, qui devenait mortel dès lors que l'on dépassait une certaine charge.

Le phénomène qui s'est développé dans la fondation de Puentes ne sera mieux précisé que dans les années 1901-1902, aux Indes, par Clibborn et Beresford. C'est encore plus tard qu'il sera totalement expliqué¹⁸. Y contribueront en 1854 la découverte de la loi de Darcy, en 1914 la mise au point par Forcheimer des réseaux d'écoulement que cette loi permet de tracer et enfin en 1940, les travaux de Terzaghi et Bertram sur les filtres.

¹⁷ AYMARD, Maurice (1864) *Les irrigations du Midi de l'Espagne*, Paris, E. Lacroix, 257.

¹⁸ BORDES, Jean-Louis (2005) *Les barrages-réservoirs du milieu du XVIII^e siècle au début du XX^e siècle en France*, Paris, Presses de l'ENPC, 307-311.

7.- Les dangers liés à l'imitation et à l'extrapolation.

A la fin du XVIII^e siècle, et en l'absence de toute connaissance scientifiquement fondée de la plupart des phénomènes en jeu dans un barrage, le seul mode de conservation et de transmission du savoir était la description des ouvrages existants et de leur comportement. La méthode de conception des ouvrages était fondée sur l'imitation des précédents et sur leur extrapolation.

Cette méthode est risquée, car on peut reproduire des erreurs. André Coyne écrivait en 1930 dans le *Journal du Génie civil*:

“Quel que soit le soin que l'on prenne pour se documenter, il faudrait se garder d'en conclure qu'on sera à l'abri de tout risque, si l'on copie ce qui s'est fait ailleurs. Il est toujours très difficile de connaître exactement ce qu'ont fait les autres, et l'on risque de copier les fautes: S'inspirer uniquement des précédents conduit, en matière de barrages aussi bien que pour les autres ouvrages hydrauliques, à de lourdes erreurs”¹⁹.

De surcroît, les paramètres naturels diffèrent d'un site à l'autre, qu'il s'agisse de la structure géologique, de la résistance des terrains de fondation ou de leur perméabilité.

Plus dangereuse encore que la simple imitation est la tendance à extrapoler. Dans l'extrapolation, on s'expose en effet à changer d'échelle, et donc à faire face, sans en être conscient, à des phénomènes physiques de nature différente. Or, Puentes constitue par rapport à Tibi, sous bien des aspects, une extrapolation avec changement d'échelle.

Il est maintenant possible, en se référant aux règles de Lane, d'évaluer la charge limite approximative qu'aurait pu supporter le barrage. D'après sa description générale, la fondation peut être grossièrement caractérisée comme constituée de graviers fins. Le barrage présentait à sa base une épaisseur de 47 m, épaisseur à laquelle il convient d'ajouter les 40 m qui correspondent à la prolongation dans le lit du fleuve du radier disposé sous le barrage. Sur ces bases, la hauteur d'eau limite ressort à environ 25 m.

¹⁹ COYNE, André (1930) “Les barrages, différents types et construction”, *Le Génie civil*, numéro spécial du cinquantenaire, Novembre, 202-205.

8.- Le cas du barrage de Valdeinfierno.

Le rapport traite alors du barrage de Valdeinfierno (fig. 2), situé quelque 13 km à l'amont de Puentes. Les caractéristiques principales de cet ouvrage figurent dans le tableau en annexe. La qualité des fondations, la forme arquée du barrage ainsi que son épaisseur recueillent à juste titre l'assentiment de Betancourt. Ses remarques portent sur le fonctionnement des prises d'eau pour l'irrigation. Betancourt constate le fonctionnement défectueux de la prise de fond en principe destinée à l'évacuation des dépôts limoneux:

"Il en résulte que le limon ou la vase qui entre dans la Retenue, laissant les Champs sans cet engrais tant réclamé par les habitants de Lorca et au manque duquel ils attribuent la mauvaise qualité acquise par plusieurs de leurs terres"²⁰.

Il s'agit là d'une considération essentielle qui pose le problème, quand bien même ils auraient tenu, de l'utilité des barrages.

9.- L'utilité du barrage de Puentes vis-à-vis des irrigations.

Betancourt synthétise en une phrase ce que l'on peut considérer comme le double péché originel du barrage de Puentes, cause du double échec de l'entreprise:

"On ne peut douter que si le Barrage de Puentes avait eu la solidité nécessaire, et que si on avait disposé ses organes de façon à relâcher des eaux chargées ou des eaux claires suivant ce dont les Paysans avaient besoin, il aurait été de la plus grande utilité pour la prospérité des fertiles terres de Lorca, et il aurait contribué au bonheur de ses habitants [...]"²¹.

²⁰ "De aquí resulta que todo el légamo o tarquín que entra en el Pantano dejando a los Campos sin este abono por el que tanto han clamado los habitantes de Lorca, y a cuya falta atribuyen la mala calidad que han adquirido varios de aquellos terrenos." BETANCOURT (1802), 602.

²¹ "[...] ni se puede dudar que si el Pantano de Puentes hubiese tenido la solidez que necesitaba, y si se hubiese dispuesto su mecanismo para poner las aguas turbias, o claras según lo necesitasen los Labradores hubiera sido de la mayor utilidad para la prosperidad de los feraces campos de Lorca, y hubiera contribuido a la felicidad de aquellos naturales [...]" BETANCOURT (1802), 603-604.

D'une part, comme expliqué plus haut, la structure n'était pas solidement fondée. D'autre part, elle ne permettait pas de relâcher à l'aval les sédiments nécessaires à la fertilisation des terres.

Charles III avait en 1785 donné l'ordre que les deux barrages de Lorca fussent construits "à l'imitation de celui d'Alicante"²². Le barrage de Tibi, qui donnait satisfaction depuis près de deux siècles, semblait en effet s'imposer comme la référence. Haut de 43 m, il était situé à moins de 140 km de Lorca²³. Pourquoi ne pas construire Puentes et Valdeinfierno à son imitation?

Une étude plus attentive du contexte naturel aurait sans doute permis de discerner que le précédent de Tibi ne pouvait être brutalement transposé, et cela pas plus quant à l'utilité pour les irrigations qu'en ce qui concerne la tenue mécanique. Le volume des sédiments charriés par le Guadalentín, ainsi que leur utilité dans la fertilisation des sols, interdisaient en effet le succès à Lorca des dispositions qui avaient réussi à Alicante.

D'une part en effet, comme on le constatera dans le tableau annexé, le bassin versant du barrage de Puentes était trois fois et demie plus étendu que celui du barrage de Tibi. D'autre part, la nature géologique de la partie sud de ce bassin versant, celle qui correspond à la rivière Velez, en faisait la source d'apports solides bien plus abondants. On y trouve en effet, comme c'est le cas dans la zone de la rambla de Chirivel, des formations du Carbonifère et du Permotrias, très érodables. On a d'ailleurs retrouvé dans la plaine de Lorca trace de canaux musulmans d'irrigation maintenant enfouis à huit mètres de profondeur²⁴, ce qui atteste de l'abondance des apports solides.

Lors de la rupture de 1802, c'est-à-dire quatorze ans après la mise en eau du barrage, l'épaisseur des sédiments amassés dans la retenue de Puentes était déjà de 13 m²⁵. La retenue de Valdeinfierno n'était pas en reste. En effet, Jean Brunhes put écrire au début du XX^e siècle que "le Pantano de Valdeinfierno [...] s'est si rapidement et si complètement envasé qu'il n'a aujourd'hui d'autre effet que de déterminer au moment des hautes eaux une superbe chute d'eau"²⁶.

²² "A imitación del de Alicante [...]". BETANCOURT (1802), 597.

²³ ALBEROLA ROMA, Armando (1984) *El pantano de Tibi y el sistema de riegos en la huerta de Alicante*, Alicante, Instituto Juan Gil-Albert.

²⁴ GIL OLCINA (1968), 176.

²⁵ AYMARD (1864), 258.

²⁶ BRUNHES (1902), 89.

10.- Sur les barrages-réservoirs en milieu semi-aride.

L'expérience des XIX^e et XX^e siècles de l'exploitation de barrages-réservoirs en milieu semi-aride a montré que les opérations de relargage de sédiments à l'aval des barrages sont rarement efficaces²⁷. Elles ne peuvent l'être que si l'abondance des apports liquides autorise la perte de grands volumes d'eau pour emporter les alluvions avec eux. C'est le cas des fleuves suffisamment puissants, comme le Nil. Dans d'autres contextes, comme ceux par exemple du Maghreb ou du Pakistan, on doit dans le meilleur des cas se contenter d'éviter le colmatage des organes de vidange, à l'exclusion de toute restitution d'un volume significatif de sédiments à l'aval. Les alluvions ne peuvent donc que se déposer dans les retenues, ce qui conduit à leur comblement plus ou moins rapide.

Lorsque le système cultural traditionnel repose sur l'épandage de crues, on ne peut donc en général construire de barrage-réservoir à l'amont sans prévoir de simultanément transformer les pratiques agricoles. C'est maintenant possible, pour autant que les moyens soient mis en œuvre, grâce aux engrais artificiels. Ce ne l'était pas dans la Lorca du XVIII^e siècle. Avoir voulu des barrages "à l'imitation de celui d'Alicante", c'était donc, dans le domaine des conséquences sur l'agriculture, comme dans celui de la tenue mécanique de l'ouvrage, aller à l'échec.

Dans sa thèse sur l'irrigation, Jean Brunhes déplorait la reconstruction à la fin du XIX^e siècle d'un barrage réservoir à Lorca, là où les digues transversales destinées à épandre des crues lui auraient paru plus conformes aux contraintes de la géographie. Il remarqua qu'à partir de 1899 "tous s'efforcent –inconsciemment– d'annihiler le rôle du réservoir" puisque "lorsque les eaux sont troubles à la suite d'averses, les vannes du barrage [sont] ouvertes" et le flot s'échappe librement dans la plaine à la disposition de tous. Il conclut que "malgré l'établissement de réservoirs coûteux, malgré la complication d'une réglementation de plus en plus embrouillée [...], les conditions géographiques sont plus fortes que les hommes"²⁸.

La thèse de Brunhes concernait la Péninsule ibérique et l'Afrique du Nord. Des conditions géographiques similaires à celles de Lorca prévalent cepen-

²⁷ CHABAL, Jean-Pierre (2006) "Management of the Downstream Impacts of Dam Operation". In: *General Report, 22nd International Congress on Large Dams*, Barcelona, 538, 546.

²⁸ BRUNHES (1902), 106.

dant aussi dans d'autres régions du monde. C'est le cas par exemple dans la région de Dera Ismail Khan, au Pakistan. Cette zone est arrosée par la rivière Gomal, un affluent de l'Indus dont le bassin versant draine 33.000 km². Ce bassin versant intéresse d'une part l'Afghanistan, et d'autre part les provinces pakistanaises du Baloutchistan et de la Frontière du Nord Ouest (NWFP). La rivière Gomal fertilise l'un des plus grands périmètres d'épandage de crues du monde, avec 100.000 hectares. Un barrage réservoir de 130 m de haut y est projeté. Il a fait l'objet de critiques du fait de son probable rapide envasement, ainsi que de ses impacts prévisibles sur les activités agricoles à l'aval²⁹. Ces critiques sont identiques à celles que le projet d'Antonio de Robles avait encourues à Lorca. Dans le cas de la rivière Gomal, il est à craindre que les sédiments ne commencent à réduire la capacité utile du réservoir, moins de 30 ans après la construction du barrage. Moins de 30 nouvelles années, et celui-ci pourrait être totalement comblé, laissant la plaine sans arrosage ni protection.

11.- Le double échec de Puentes: une leçon partiellement tirée?

La leçon de Puentes a en partie été tirée, dès 1802, par la création de l'École espagnole des routes et canaux (*Escuela de caminos y canales*)³⁰. Elle l'a été en partie seulement, puisque seuls les aspects de l'échec liés au génie civil ont ainsi fait l'objet d'attention. La problématique agricole n'a pas été concernée par cette réforme. Il y avait là en germe la répétition des mêmes erreurs. Peut-être la création de l'école, en fondant la puissance d'un grand corps peu féru de sciences naturelles, humaines et sociales, a-t-elle même sous cet aspect aggravé la situation.

En ce début de XXI^e siècle, la quête de l'énergie hydro-électrique est mondiale et frénétique. Puisse-t-elle ne pas conduire à s'abstraire à nouveau des conditions de la géographie, qu'il s'agisse de géographie humaine comme de géographie physique ! Faute en effet de ménager les sociétés locales, ou faute de tenir compte des données naturelles, les aménagements hydrauliques

²⁹ ANONYME (2003) *Spate Irrigation in North West Frontier Province of Pakistan*, Quetta (Pakistan), April, 24 p. Texte disponible en 2008 sur le site Internet: www.spate-irrigation.org.

³⁰ ARENAS DE PABLO, Juan José (2005) "Ingeniería y obra pública civil en el siglo de las luces". In: *Técnica y ingeniería en España*, vol. III: *El siglo de las luces*, SILVA SUAREZ, Manuel (ed.), Zaragoza, Prensas Universitarias, 415.

échouent à procurer les bénéfiques qui en sont attendus. La mise en garde de Jean Brunhes, vieille de plus d'un siècle, reste d'actualité³¹.

Barrages de Tibi, Puentes et Valdeinfierno. Principales caractéristiques initiales.

	Tibi	Puentes	Valdeinfierno
Dates de construction	Terminé en 1594	1785-1791	1785-1792
Type	Poids arqué	Poids	Poids
Hauteur	42,7 m	50,1 m	30 m
Charge d'eau au niveau de la fondation	39 m (?)	46,5 m	
Epaisseur à la base	33,5 m	46,9 m	47,7 m
Epaisseur en crête	20 m	10,9 m	12,5 m
Longueur de la crête	65 m	282 m	
Volume de la retenue (millions de m ³)	5,4	52	29,5
Superficie du bassin versant	279 km ²	990 km ²	
Nature de la fondation	Rocher	Rocher, sauf sillon alluvial de 17 m de large	Rocher

Sources: *Registre mondial des grands barrages*, Paris, Commission Internationale des Grands Barrages. AYMARD, Maurice (1864) *Les irrigations du Midi de l'Espagne*, Paris, E. Lacroix; SMITH, Norman F. (1992) *The Heritage of Spanish Dams*, Madrid, Colegio de ingenieros de caminos, canales y puertos (Colección de ciencias, humanidades e ingeniería, n. 5).

Le barrage de Tibi a été surélevé en 1697, 1728 et 1941 pour atteindre 46 m de hauteur. Il demeura jusqu'en 1866 le plus haut barrage du monde. Il est toujours en service. Le barrage de Valdeinfierno a été surélevé en 1806, 1892 et 1897, jusqu'à atteindre une hauteur de 51 m.

³¹ Les auteurs sont reconnaissants à Bernard Goguel, à Guy Lemeunier et à María-Teresa Pérez Picazo d'avoir bien voulu relire le présent texte et formuler des commentaires.