

# UN PROBLEME DE MASSE VOLUMIQUE DANS BELIDOR, 1729

## A PROBLEM RELATED TO BULK DENSITY IN BELIDOR, 1729

Jean-David VERNHES<sup>1</sup>, Bassam BARAKAT<sup>1</sup>

<sup>1</sup> UniLaSalle, Beauvais, France

**RÉSUMÉ** – Le professeur en école d'artillerie B. F. de Bélidor, dans son ouvrage *La Science des Ingénieurs*, 1729, est confronté au problème du choix des « pesanteurs spécifiques » des terres ainsi que de la maçonnerie des murs de soutènement qu'il cherche à dimensionner. Alors qu'il est tenant des deux domaines, nous montrons qu'il adopte une approche qui distingue bien la géotechnique de la physique.

**ABSTRACT** – In 1729, the military academy professor B. F. de Bélidor brought out in Paris *La Science des Ingénieurs* (The Knowledge of Engineers). He faces the problem of having to determine the bulk densities of earth as well as that of the retaining wall masonry he is trying to design. Although his works embrace both domains, we show that he chooses an approach typical of geotechnical engineering compared to physics.

### 1. Introduction

Bernard Forest de Bélidor (1698-1761) est un auteur de première importance dès lors que l'on s'intéresse aux origines du dimensionnement géotechnique. Son traité de 1729, *La Science des Ingénieurs*, contient la première démonstration complète et étayée par des principes mécaniques de la stabilité d'un ensemble sol-structure. Elle était destinée aux élèves de l'école d'artillerie de La Fère (Aisne). Son objet est alors le mur de soutènement et son modèle de sol est de type « poussée hydrostatique réduite » (Vernhes et Barakat, 2016). Utilisé dans cette démonstration, objet du Livre I d'un ouvrage qui en compte six, nous mentionnions assez brièvement le choix par Bélidor d'un rapport 2/3 de la masse volumique des terrains rapportée à celle de la maçonnerie – aux fins de ses applications numériques –, et évoquions un tableau de valeurs situé dans le Livre III, ainsi qu'un traité qui précède de quelques années les travaux de Bélidor : Gauthier, 1717. Examinant tour à tour ces documents auxquels nous ajoutons un élément comparatif issu de Bélidor, 1725, nous entendons mettre en évidence un problème de choix de valeurs qui reste aujourd'hui un des défis pédagogiques dans l'enseignement de la géotechnique.

### 2. Formulation du problème dans le Livre I de *La Science des Ingénieurs*

Pour commencer, nous considérerons la formulation du problème telle qu'elle est exprimée dans le texte de Bélidor, 1729. Celui-ci fait l'objet des articles 4 et 5 du Livre I, qui constituent avec deux autres un ensemble de *remarques* visant à circonscrire la démonstration du premier théorème introduit dans *La Science des Ingénieurs*. Ce premier théorème est relatif à la recherche du centre de gravité d'une figure géométrique pesante, qu'il appelle *Plan*, ce qui permettra par la suite d'y faire agir le « vecteur poids » (il n'utilise pas ce terme) pour la vérification d'équilibres mécaniques. Implicitement, le professeur considère un principe de coupe représentative pour résoudre le problème des murs de soutènement « en 2D », problème qui s'y prête bien, et fait comprendre aux articles 2 et 3 que calculer l'aire d'une figure donne une proportion du poids de l'objet représenté.

Sa « *Remarque troisième* » (fig. 1) vise à prendre en compte le fait que si le poids d'une figure représentative d'un volume réel est bien proportionnel à son aire, ce poids dépend aussi de sa densité donc de sa nature. La remarque est appliquée sans préalable

général au cas qui l'occupe, l'ensemble terre-maçonnerie, en l'exprimant au moyen de l'exemple d'une surface de six pieds carrés (environ 0,65 m<sup>2</sup>) dans un réflexe didactique.

*Remarque troisième.*

4. Comme les Plans dont il fera question , représenteront des profils de Maçonnerie ou de Terrasse , il faudra avoir égard non-seulement à leur superficie quand ils tiendront lieu d'une puissance ou d'un poids ; mais encore à la nature des corps dont ils seront la coupe , par exemple si on a un levier dont le point d'appui soit dans le milieu , & qu'un Plan de six pieds quarrés provenant d'une coupe de Maçonnerie , soit suspendu à l'extrémité d'un des bras ; on ne peut pas dire que ce Plan puisse se mettre en équilibre avec un autre de six pieds quarrés provenant d'une coupe de terre ; parce qu'un pied cube de maçonnerie pesant davantage qu'un pied cube de terre , il faut s'imaginer que le premier Plan pèse davantage que le second , dans la raison qu'un pied cube de Maçonnerie pèse plus qu'un pied cube de terre ; or comme nous avons besoin de connoître ce rapport , parce qu'il aura lieu dans cette Mécanique , l'on saura que le poids d'un certain volume de Maçonnerie est à celui d'un pareil volume de terre , à peu-près comme 3 est à 2 , c'est-à-dire , que la terre pèse moins d'un tiers que la Maçonnerie.

Figure 1. Bélidor, 1729, Livre I, article 4 : Remarque troisième à propos du rapport des masses volumiques terre/maçonnerie

On voit cependant que Bélidor ne cherche pas à définir les masses volumiques respectives de chaque corps, ni même à justifier la valeur qu'il se donne pour définir le rapport de ces masses volumiques, fixé par un ratio de 2/3 (ou 3/2), mais présente cette démarche comme une *nécessité* pour résoudre un problème (« nous avons besoin de connaître ce rapport »). La « *Remarque quatrième* » (article 5) ajoute simplement le fait que l'aire de référence pour le calcul des poids sera celle de la maçonnerie. La recherche d'équilibre par le calcul consistera donc, pour prendre en compte le rapport de densités, à appliquer le facteur 2/3 à la terre – ce qui conclut la question.

### 3. Tableau de valeurs du Livre III de 1729

Au moment où il met sous presse son ouvrage paru en 1729, la rédaction des six livres qui le composent, chronologiquement écrits dans cet ordre, est achevée. Cette évidence ne laisse donc guère de doute sur tout le loisir que Bélidor a eu de retoucher son Livre I à partir des prises de conscience et rapprochements divers que le travail de composition de sa connaissance lui permet. C'est à partir de cette remarque que nous prenons maintenant en considération un tableau de son Livre III, qui relaie des connaissances sur les masses volumiques d'un ensemble de matériaux (fig. 2).

Le professeur ne précise pas s'il a réalisé lui-même les mesures, ou une partie au moins. Cela n'a rien d'impossible car on apprend qu'il projette de diriger à l'école de la Fère des *épreuves* (Bélidor, 1725, p. 505 sq.), qu'on appellerait aujourd'hui *expériences* voire *plots d'essai* basés sur des tirs de mine pour tester, en particulier, la résistance des terrains soumis de l'intérieur à une déflagration. Quoi qu'il en soit, nous n'avons aucun détail sur la façon dont les valeurs de masse volumique a été obtenue, pas plus que sur une source bibliographique.

Dans le tableau en question, les matériaux sont listés dans un ordre presque quelconque. En revanche, ils ont dans leur ensemble une raison d'être, qui est de faire

partie des approvisionnements courants dans le domaine de la construction, le Livre III ayant pour objet, dans la conduite des travaux de fortification, « *la connaissance des matériaux, leur propriété, leur détail, et la manière de les mettre en œuvre* ». Les eaux ont quant à elles valeur de référence.

<b>T A B L E</b>			
<b>DE LA PESANTEUR D'UN PIED CUBE</b>			
<i>de plusieurs Matieres.</i>			
Fer. . . . .	580 liv.	Ardoise. . . . .	156 liv.
Cuivre jaune. . . . .	548	Plâtre. . . . .	86
Cuivre rouge. . . . .	648	Pierre de Saint Leu. . . . .	115
Plomb. . . . .	828	Pierre de Liais. . . . .	166
Sable de Terre. . . . .	120	Pierre bleu de Tours. . . . .	125
Sable fort. . . . .	124	Marbres. . . . .	252
Sable de Riviere. . . . .	132	Chaux vive. . . . .	59
Argile. . . . .	135	Bois d'ozier. . . . .	38
Terre grasse. . . . .	115	Bois d'Aulne. . . . .	$37 \frac{1}{12}$
Terre extraordinaire. . . . .	95	Bois de Chêne vert. . . . .	80
Mortier. . . . .	120	Bois de Chêne sec. . . . .	60
Brique. . . . .	130	Eau de Mer. . . . .	$73 \frac{1}{2}$
Thuilles. . . . .	127	Eau Douce. . . . .	70

D

Figure 2. Bélidor, 1729 (éd.), Livre III, p. 25 : table des masses volumiques de plusieurs matières en livres par pied cube.

On peut alors utiliser ce tableau pour apprécier le rapport de 2/3 présenté au paragraphe 3. Regrouper le mortier, la brique, les pierres de Saint-Leu, de Liais et Bleu de Tours permet d'estimer une masse volumique pour la maçonnerie d'un mur de soutènement. Les murs de soutènement sont en effet construits comme les autres murs avec des pierres locales (de taille, ou moellons, absents ici) ou à défaut de la brique, et toujours du mortier. On écarte les sables et la chaux qui sont déjà pris en compte dans la constitution des mortiers. Une moyenne des valeurs associées aux matériaux retenus donne alors une masse volumique d'environ 130 livres par pied cube, estimation indicative pour la maçonnerie sur la base de ce tableau, sans « approche sécuritaire » particulière.

De la même façon, on considère comme un ensemble les sables de terre, fort et de rivière, argile, terre grasse et *extraordinaire*, représentatifs de différents cas de figure de terres exerçant une poussée sur un mur de soutènement. Le calcul de leur moyenne donne 120 livres par pied cube.

Le ratio que Bélidor pouvait estimer sur la base de son propre tableau donne donc 12/13, qui tend à montrer une sous-estimation « non sécuritaire » du rapport des masses volumiques terre/maçonnerie de l'ordre de 40 %.

#### 4. Tableau de valeurs dans Gauthier, 1717

Henri Gauthier, un des premiers membres de l'Inspection des Ponts et Chaussées en 1713 (Skempton, 1985), publia en 1717 une Dissertation sur l'épaisseur des culées des ponts où il produisit une théorie de la stabilité des murs de soutènement, qui resta

cependant en deçà de ce que Bélidor parvint à élaborer durant la décennie suivante, comme nous l'avons souligné en 2016. En page 49 de son traité, Gautier fournit les valeurs de masses volumiques en livres par pied cube de sept matériaux (fig. 3). Elles sont pratiquement identiques à celles que Bélidor fournit quelques années après. Compte tenu de la conclusion forfaitaire que Gauthier donne à la suite du tableau, avec le rapport de densités terre/maçonnerie de 2/3, on peut supposer que l'ingénieur militaire a repris les valeurs de son prédécesseur, ou bien a utilisé la même source que lui, alors restée anonyme dans les deux cas.

Pour l'ordinaire le pied cube de terre pefe	95 livres.
Le fable,	132 livres.
La chaux,	39 livres.
L'eau,	72 livres.
La brique,	130 livres.
Le marbre,	252 livres.
Et la pierre ordinaire,	165 livres.
Tous ces materiaux different en pefanteur qui plus qui moins, suivant les differens Pays où on les trouve. On les reduit ici au Tarif que l'on en donne. Par des experiences particulieres on peut les connoistre plus précisément dans les differens Pays où l'on fera travailler, & où l'on aura des terres à foutenir.	
En general la toife cube de maçonnerie pefe	308 <sup>80</sup> / <sub>100</sub>
Et celle de la terre pefe	205 <sup>20</sup> / <sub>100</sub>
Ce qui donne environ un tiers de difference que la toife cube de maçonnerie pefe plus que celle de la terre.	

Figure 3. Bélidor, 1725, Partie X, Chapitre 1, p. 530 : table de masses volumiques de différentes matières en livres par pied cube.

Notons au passage que Gautier exprime dans sa conclusion les masses volumiques par toise cube – le rapport toise cube / pied cube est de 216. Si les masses sont bien en livres, les valeurs sont aberrantes. Si Gauthier voulait exprimer les valeurs, comme les précédentes, en livres pas pied cube, elles paraissent beaucoup trop élevées. Et il y a cette ambiguïté venant du fait que la livre est aussi bien une unité monétaire que de masse, renforcée par sa mention « *On les réduit ici au tarif que l'on en donne* ». En tout cas, Gautier précise bien que son ratio a une valeur générale et qu'il peut être précisé selon les « *differens Pays* » et donc les différentes natures de terrain – il laisse le soin aux ingénieurs civils de procéder à l'adaptation.

### 5. Tableau de valeurs dans Bélidor, 1725

Au cours de ses premières années comme professeur de mathématique à la Fère, Bélidor travailla à son premier ouvrage, publié en 1725 après avoir reçu les éloges de l'Académie Royale des Sciences sous la plume de Fontenelle, alors Secrétaire Perpétuel de l'institution. Ce livre destiné en premier lieu à des ingénieurs militaires en formation s'intitulait : « *Nouveau cours de mathématique à l'usage des ingénieurs et officiers d'artillerie* », titre où le terme « *mathématique* » a une définition très large qui s'approcherait plus aujourd'hui de « *science* ».

L'ouvrage est divisé en 10 parties. Dans la dernière, « *Qui traite de l'équilibre et du mouvement des liqueurs* » (c'est-à-dire des liquides), au chapitre 1, se trouve une Proposition III qui tire une conséquence de la poussée d'Archimède en termes pratiques, en définissant une procédure de pesée hydrostatique – dont le principe n'a pas varié

depuis. C'est grâce à elle que sont obtenues des valeurs de masse volumique de plusieurs matériaux, métaux pour la plupart mais aussi pierres, bois et autres (fig. 4). Ici encore, nous ne savons pas si c'est Bélidor qui a réalisé les mesures ou quelqu'un d'autre dont il a récupéré les résultats – en tout cas nous ne savons pas quelles sont les caractéristiques des équipements utilisés. Les unités utilisées pour donner les valeurs numériques ne sont pas, comme en 1729, les livres par pied cube mais les onces/gros/grains par pouce cube, unités beaucoup plus fines, indiquant par là des moyens matériels plus proches de ce que nous concevons comme « essais de laboratoire ».

*Poids d'un pouce cube.*

<i>Matieres.</i>	<i>Onc.</i>	<i>Gros.</i>	<i>Gr.</i>	<i>Matieres.</i>	<i>Onc.</i>	<i>Gros.</i>	<i>Gr.</i>
Or.	13	2	17	Marbre blanc.	1	6	0
Mercure.	8	6	8	Pierre de taille.	1	2	24
Plomb.	7	3	30	Eau de Seine.	0	5	12
				Vin.	0	5	5
<i>Matieres.</i>	<i>Onc.</i>	<i>Gros.</i>	<i>Gr.</i>	<i>Matieres.</i>	<i>Onc.</i>	<i>Gros.</i>	<i>Gr.</i>
Argent.	6	5	25	Cire.	0	4	65
Cuivre.	5	6	36	Huile.	0	4	43
Fer.	5	1	27	Chêne sec.	0	4	22
Etain.	4	6	14	Noyer.	0	3	6

Figure 4. Bélidor, 1725, Partie X, Chapitre 1, p. 530 : table de masses volumiques de différentes matières en onces par pouce cube.

Certaines entrées sont communes aux deux tableaux de masses volumiques du même auteur (1725, 1729), comme le fer ou le plomb, mais, après conversion, on voit qu'elles ne correspondent pas « exactement », et sans que cela s'explique par un rapport global entre valeurs, qui traduirait un problème de conversion entre unités. Nous pourrions ne pas nous en étonner, les matériels de mesure, les conditions de mesure et les matériaux eux-mêmes étant autant de sources d'incertitudes. Mais cela indique sans aucun doute aussi que Bélidor n'est pas à l'origine tout à la fois des données communiquées dans le tableau de 1725 et celui de 1729, et donc s'il l'est pour l'un des deux c'est plus probablement celui de 1725.

Il reste à préciser dans quel but opérationnel Bélidor a publié ces valeurs en 1725. Ce but est exposé à la page suivante, dans un paragraphe intitulé « *Application des principes précédens à la Navigation* » : pour entrer dans le calcul de la charge maximum d'un navire, aussi bien en conditions maritimes que fluviales, avec une illustration basée sur le cas du transport de munitions.

## 6. Récapitulation

Dans le tableau de la figure 5, nous avons reporté l'ensemble des entrées de la table de Bélidor, 1729, pivot de la réflexion, celles de son tableau de 1725 directement comparables ou rapportées à titre indicatif (dénominations proches entre les tableaux), celles de Gauthier, 1717, en retenant les sept premières valeurs numériques de sa liste, et enfin celles qu'une brève recherche de valeurs communément admises aujourd'hui a pu donner à titre de rétro-analyse pour quelques matériaux plus ou moins « universels ». Les dernières colonnes fournissent des pourcentages permettant d'apprécier les écarts respectivement des deux tableaux de Bélidor puis chacun d'eux par rapport à ces valeurs récentes. Enfin, l'ensemble des valeurs historiques a été converti en grammes par

centimètre cube. Une lecture *globale* des valeurs avec ces dernières unités montre que seulement peu de données contredisent ce que nous connaissons aujourd'hui.

L'objectif de ce paragraphe est cependant de revenir au choix que Bélidor a fait pour résoudre le problème de la détermination de la masse volumique relative terre-maçonnerie, élément explicitement dimensionnant dans sa théorie de la stabilité des murs de soutènement de 1729.

CONVERSIONS											
1 livre/gramme =	489,5										
1 pied cube / cm <sup>3</sup> =	34 277										
1 l/pd <sup>3</sup> / g/cm <sup>3</sup> =	0,01428										
1 once/gramme =	30,59										
1 pouce cube / cm <sup>3</sup> =	19,84										
1 o/pc <sup>3</sup> / g/cm <sup>3</sup> =	1,542										
Masses volumiques	Bélidor					Gauthier		Références	Ecart		
	1729		1725			1717		"2020"	1729/ 1725	1729/ "2020"	1725/ "2020"
Dénominations Bélidor ( <i>Italiques</i> ) : spécif. Gauthier	livre pied <sup>-3</sup>	g cm <sup>-3</sup>	g cm <sup>-3</sup>	once pouce <sup>-3</sup>	g cm <sup>-3</sup>	livre pied <sup>-3</sup>	g cm <sup>-3</sup>	g cm <sup>-3</sup>	%	%	%
<b>Fer</b>	580	<b>8,28</b>	-	5,17	<b>7,98</b>	-	-	<b>7,86</b>	4%	5%	2%
<b>Cuivre jaune</b>	548	<b>7,83</b>	-	5,81	<b>8,96</b>	-	-	<b>8,92</b>	-13%	-12%	0,4%
<b>Cuivre rouge</b>	648	<b>9,25</b>	-	5,81	<b>8,96</b>	-	-	<b>8,92</b>	3%	4%	0,4%
<b>Plomb</b>	828	<b>11,82</b>	-	7,43	<b>11,45</b>	-	-	<b>11,35</b>	3%	4%	0,9%
<b>Sable de Terre</b>	120	<b>1,71</b>	1,72	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>Sable fort</b>	124	<b>1,77</b>		-	-	-	-	-	-	-	-
<b>Sable (de Rivière)</b>	132	<b>1,89</b>		-	-	132	<b>1,89</b>	-	-	-	-
<b>Argile</b>	135	<b>1,93</b>		-	-	-	-	-	-	-	-
<b>Terre grasse</b>	115	<b>1,64</b>		-	-	-	-	-	-	-	-
<b>Terre (extraordinaire)</b>	95	<b>1,36</b>		-	-	95	<b>1,36</b>	-	-	-	-
<b>Mortier</b>	120	<b>1,71</b>		-	-	-	-	-	-	-	-
<b>Brique</b>	130	<b>1,86</b>	-	-	130	<b>1,86</b>	-	-	-	-	
<b>Thuilles</b>	127	<b>1,81</b>	-	-	-	-	-	-	-	-	
<b>Ardoise</b>	156	<b>2,23</b>	-	-	-	-	-	-	-	-	
<b>Plâtre</b>	86	<b>1,23</b>	-	-	-	-	-	-	-	-	
<b>Pierre de Saint Leu</b>	115	<b>1,64</b>	1,87	1,29	<b>1,99</b>	-	-	-	-17%	-	-
<b>Pierre de Liais (ordin.)</b>	166	<b>2,37</b>		1,29	<b>1,99</b>	165	<b>2,36</b>	-	19%	-	-
<b>Pierre bleu de Tours</b>	125	<b>1,79</b>		1,29	<b>1,99</b>	-	-	-	-10%	-	-
<b>Marbres</b>	252	<b>3,60</b>	-	1,75	<b>2,70</b>	252	<b>3,60</b>	<b>2,70</b>	33%	33%	0,0%
<b>Chaux (vive)</b>	59	<b>0,84</b>	-	-	-	59	<b>0,84</b>	-	-	-	
<b>Bois d'ozier</b>	38	<b>0,54</b>	-	-	-	-	-	-	-	-	
<b>Bois d'Aulne</b>	37,08	<b>0,53</b>	-	-	-	-	-	-	-	-	
<b>Bois de Chêne vert</b>	80	<b>1,14</b>	-	-	-	-	-	-	-	-	
<b>Bois de Chêne sec</b>	60	<b>0,86</b>	-	0,54	<b>0,83</b>	-	-	-	3%	-	
<b>Eau de Mer</b>	73,5	<b>1,05</b>	-	-	-	-	-	<b>1,03</b>	-	2%	
<b>Eau (Douce)</b>	70	<b>1,000</b>	-	0,65	<b>0,996</b>	72	<b>1,000</b>	<b>1,00</b>	0,4%	-0,04%	-0,4%

Figure 5. Tableau récapitulatif des valeurs issues de Gauthier, 1717, Bélidor, 1725 et 1729, avec conversions en g.cm<sup>-3</sup> et comparaison de certaines d'entre elles à des valeurs récentes (« 2020 »)

Le tableau de 1725 montre que Bélidor dispose d'une source d'information sur les masses volumiques dans un contexte où le problème de la représentativité des données se pose peu. En effet, les métaux avec lesquels sont fabriquées les munitions sont des matériaux dont, dans leur état pur ou non, la masse volumique peut être non seulement mesurée mais aussi *définie* avec trois ou quatre chiffres significatifs : les résultats sont donnés au *grain* près (un 20<sup>ème</sup> de gramme environ), pour des valeurs totales dépassant

10 onces (plus de 300 grammes). Il y a bien cohérence entre précision des matériels de mesure et représentativité du résultat.

Cependant, déjà dans ce tableau de 1725 sont fournis des chiffres pour deux espèces de bois et de pierre. On voit bien que les valeurs sont conformes à une gamme de valeurs possibles, mais ne sauraient représenter la gamme elle-même et moins encore faire comprendre le rôle des divers paramètres de nature et d'état dans le résultat fourni.

Le tableau de 1729 donne des valeurs avec un à trois chiffres significatifs, mais c'est pour une raison presque contractuelle : elles doivent permettre aux ingénieurs d'avoir des notions relatives entre matériaux dans le cadre de marchés de travaux – Bélidor renvoie dans le Livre III au Livre VI qui a justement pour but d'entrer dans tous les détails de l'établissement des devis. On peut donc considérer le tableau de 1729 comme tout autant normatif que descriptif.

Bélidor a aussi sûrement conscience du problème de la variabilité des valeurs qu'il doit considérer, question assez distinctive de la géotechnique par rapport aux sciences sur lesquelles elle s'appuie. Cela le conduit, nous le pensons, à ne pas chercher à recourir aux données de ce tableau de 1729 pour sa théorie du Livre I, ce qui l'aurait obligé à introduire un rapport paramétrique de masses volumiques terre-maçonnerie, fonction de la connaissance des matériaux de chaque site et des effets de terrassement, contrairement à ce que pense Gauthier en 1717 dans un cadre civil.

Il reste tout de même une étrangeté, que l'on peut constater aujourd'hui encore : pourquoi Bélidor a-t-il retenu le rapport de 2/3 de Gauthier alors que ce ratio est sous-estimé et surtout non sécuritaire ? La solution réside sûrement dans ce que nous avons remarqué en 2016 (*op. cit.*) : Bélidor cherche à caler son modèle sur les Règlements de Vauban, considéré comme globalement juste mais à améliorer et surtout à justifier. Comme il travaille sur un jeu de facteurs à produit connu, et qu'il s'est senti obligé d'introduire un «  $K_0$  » (fixé à 0,5, pour prendre en compte la *ténacité* du sol) afin de réduire la poussée des terrains et réduire le risque d'un surdimensionnement flagrant, le recours initial au rapport de masses volumiques T/M à 2/3 donnant un bon ajustement, il ne cherche pas à y consacrer plus de temps.

## 7. Conclusion

Dans son ouvrage *La Science des Ingénieurs*, publié en 1729, Bélidor a introduit au Livre I une théorie mécanique pour justifier la stabilité des murs de soutènement maçonnés. Dans cette théorie, il n'est pas de paramètre de la mécanique des sols qui soit explicite et mesurable, à l'exception de la masse volumique des matériaux. On aurait alors pu croire que le tableau de valeurs de « pesanteurs spécifiques » qu'il présente au livre III, incluant des masses volumiques de sols et des roches, l'aurait « logiquement » conduit à un niveau de paramétrisation supplémentaire de sa théorie, afin qu'elle prenne en compte au moins quelques-unes des catégories de sols listées. Dans un contexte où la nuance entre propriétés locales et effet d'un ensemble de propriétés locales pouvait le conduire à des digressions sans arbitrage possible, plus ingénieur que physicien dans son choix, Bélidor écarte cette option. Ainsi, il ne se fait pas trop d'illusions sur la nature particulière des sols et des roches par rapport aux métaux et autres *liqueurs* sur lesquelles il réfléchit aussi, et évite ainsi d'adopter une attitude excessivement normalisatrice à leur égard.

## 8. Références bibliographiques

- Bélidor B. F. de, (1725), *Nouveau cours de mathématique à l'usage des ingénieurs et officiers d'artillerie*. C. Jombert, Paris, 649 p. (Via BNF, Gallica)
- Bélidor (B. F. de) (1729), *La Science des Ingénieurs dans la conduite des travaux de fortification et d'architecture civile*. C. Jombert, Paris, 533 p. | Editions critiques de Navier (Via BNF, Gallica) : F. Didot, 1813, Paris, 593 p., F. Didot, 1830, Paris, 596 p.

- Gauthier H. (1717). Sur l'épaisseur des culées des ponts (...), et sur les profils de maçonnerie qui doivent supporter des chaussées, des terrasses et des remparts, à quelque hauteur donnée que ce puisse être. A. Cailleau, Paris, 85 p. (Via CNAM, Conservatoire Numérique)
- Kérisel J. (1985). The history of geotechnical engineering up until 1700. The Golden Jubilee Book, Part One, pp. 3-95. Proceedings of the Eleventh International Congress on Soil Mechanics and Foundation Engineering, San Francisco. Balkema, Rotterdam.
- Skempton A.W. (1985). A history of soil properties 1717-1927, The Golden Jubilee Book, pp. 95-123. (voir réf. Kérisel, 1985)
- Vernhes, J.-D., Barakat, B. (2016) – Prémices du dimensionnement géotechnique – Journées Nationales de Géotechnique et de Géologie de l'ingénieur, Nancy, 6-8 juillet 2016. Actes du colloque. Article en ligne sur le site du Comité Français de Mécanique des Sols.