

Les fondations

« Le fondement d'un terrain solide, la fondation des murs
et les voutes de caves sont la base d'une maison ».

Germain Boffrand¹

Pour percevoir toute la finesse de l'origine du mot « fondation », il convient de s'attacher à son étymologie.

Au singulier « fondation » reprend le latin médiéval de *fundatio -ionis* (action de fonder et fermeté) et constitue un dérivé du verbe *fundare* (fonder, bâtir, établir) qui s'emploie dès l'origine dans deux sens :

- Un sens propre matériel d'établir sur des fondations, de bâtir, de construire qui est devenu métaphorique biblique et littéraire au XVIIe siècle.
- Un sens figuré signifiant en latin et dès 1160 « instituer, établir une ville, une entreprise », voire dans le domaine abstrait « établir quelque chose sur une base déterminée, comme fonder un raisonnement sur ».

Au pluriel « fondations » reprend le latin classique de *fundationes* employé comme terme d'architecture (fondement, base).

Dans l'art de bâtir, les fondations constituent-elles autant un acte symbolique que technique. Pourtant L. B. Alberti précise que « l'ouvrage de fondation, sauf erreur de ma part, est non pas une partie de la construction, mais bien le lieu et le siège sur lesquels la construction même doit être établie et élevée »². Il ne s'agit pas de construire, mais de préparer le lieu de la construction. Ainsi nous organiserons notre propos autour de ces trois idées : la fondation comme acte préparatoire, les techniques de fondations proprement dite, pour terminer sur les fondations symboliques.

¹ BnF Ms. Joly de Fleury 1326, fol. 117 v°, Projet pour la police des Bâtiments de Paris, [1749].

² L. B. Alberti, *L'art d'édifier*, texte traduite du latin et annoté par Pierre Caye et Françoise Choay, Paris Seuil, 2004, p. 140.

I/- La préparation de l'acte de construire.

Cette opération se déroule en deux temps : celui de chercher un site propice et celui de tracer les fondations

A/- Pour trouver le site adéquat aux fondations, il convient de faire appel à ces sciences que l'on nomme la géologie et la mécanique des sols³. Les différentes catégories de nature du sol ont subi au cours des âges géologiques des transformations susceptibles d'influencer le fondement des bâtisses : roches ignées (granit, porphyre, basalte), sédimentaires (sous forme de roches compactes, de cailloux et matériaux grossiers, de sables et de graviers, de limons, d'argiles, de marne, de terres compressibles) et métamorphiques (marbres, schistes).

Alberti, utilisant l'usage des fondations comme « l'action d'aller au fond » (étymologie latine de *fundatio* de l'expression *itio in fundum*) indique la nécessité de procéder à des fouilles, « quand il faudra, en ouvrant et en creusant une tranchée, rechercher un sol ferme et stable ; opération qui s'impose presque partout ». Il saisit parfaitement la nature du sol opportun pour de bonnes fondations, l'absence d'humidité, un sol rocheux formé de pierres massives aux arêtes vives, de tuf plutôt que de cailloux et de galets. « La fermeté d'un lieu pour faire fondement, se peut voir & cognoistre en diverses sortes, & signamment par la nature des terres »⁴.

Il convient alors d'étudier la résistance mécanique du sol et ses déformations potentielles dans le temps, eu égard aux intempéries (pluies, séismes). Alberti envisage toutes sortes de situations pour conclure : « Nulle part on ne peut se fier d'emblée au terrain que l'on vient de découvrir, sous prétexte qu'il résiste au pic. Il se pourrait qu'un terrain ne soit pas assez ferme, et finissent un jour par causer les plus grands dommages et la ruine de l'ouvrage tout entier... On conseille donc fort judicieusement de commencer par creuser des puits, pour nombre de raisons et notamment pour voir très clairement dans quelle mesure chaque couche du terrain est susceptible ou non de porter le poids de l'ouvrage. En outre, l'eau découverte et les matériaux déblayés à cette occasion offrent de nombreux avantages pour notre entreprise.

³ Y. Gasc et R. Bertin, *Les fondations et reprises en sous-œuvre*, Paris, Eyrolle, 1968 (coll. Traité du bâtiment sous la direction de G. Dubois d'Auberville).

⁴ L. B. Alberti, *op. cit.*, p. 45.

Ajoute encore qu'en ouvrant ainsi des voies de respiration à l'édifice on lui assurera une solidité à toute épreuve contre les ébranlements souterrains que provoquent les exhalaisons de l'air. C'est pourquoi... il... appartiendra de choisir la (couche) la plus propre à recevoir ... [l'] ouvrage... celle qui résiste au pic ou qui en présence d'eau ne se délite pas »⁵. Philibert de L'Orme propose une série de méthodes pour tester la fermeté du sol : la frapper, la mouiller, la « prendre et la manier »⁶. Nous avons maints témoignages de ces pratiques : à Orange par exemple des experts réunis en 1412 dans la fosse de fondation d'une pile de pont, frappent le fond du trou avec une barre de fer pour l'éprouver (*exprobare*).

L'expression coutumière de « bon et solide fond » est même confirmée dans une décision de la Chambre des Bâtiments datant de 1685⁷. Quelque soit la nature des terres (« tuf, roc, sable mêlé de terre, sable mouvant, argile terre grasse ou noire »), le constructeur doit trouver une solution adaptée pour assoir la bâtisse. Ce n'est pas autres choses que nous dit Bullet quand il écrit : « il faut savoir se servir à propos de toutes ces sortes de terrains pour fonder, quand on trouve le solide, ou pour y remédier par art, quand le terrain n'est pas solide. »⁸ A cette fin, il convient d'user des mathématiques.

B/ User des mathématiques, c'est essayer de calculer la résistance du sol : Pour tracer les fondations, sans oublier d'interroger l'histoire du lieu, de « consulter tous les habitants savants et expérimentés ainsi que les architectes du voisinage »⁹, il convient de se servir des mathématiques : « tirer des lignes ... du milieu de la façade de l'édifice à son arrière ; à mi-longueur, [Alberti] fiche en terre un pieu par lequel [il] fai[t] passer, selon les règles des géomètres, une perpendiculaire ». Il prétend utiliser ainsi « ces deux lignes pour mesurer chaque tracé. Tout s'enchaîne à la perfection : les parallèles sont prêtes à être tracées ; les angles sont délimités avec la plus grande certitude ; les parties se répondent et se conforment parfaitement les unes aux autres. »¹⁰ Ces dispositions sont approfondies chez

⁵ L. B. Alberti, *op. cit.*, p. 143.

⁶ Des méthodes identiques se trouvent déjà chez L. B. Alberti, *op. cit.*, p. 143.

⁷ BnF F 13038, « Ordonnons qu'à commencer au premier novembre de la présente année 1685, que tous les murs en fondations depuis le bon et solide fonds, jusqu'au Retz de Chaussée des rues ou courts, seront construits avec moillons et libages de bonne qualités et bien ébouzinés ; les lits et joints piqués et élevés d'arase et liaisons, jusqu'au rez de chaussée : lesquels murs en fondations seront massonéz avec chaux et sable, et d'épaisseur suffisantes pour l'élévation qu'il y aura au dessus : observant d'y mettre des parpins et boutisses le plus que faire se pourra. »

⁸ P. Bullet, *L'Architecture pratique*, Paris, [1690], 1780, p. 249.

⁹ L. B. Alberti, *op. cit.*, p. 143.

¹⁰ L. B. Alberti, *op. cit.*, p. 142.

Philibert¹¹ avec la représentation des outils indispensables, tels que l'équerre et le niveau triangulaire.

Cependant c'est dans la détermination des dimensions des fondations que l'esprit scientifique se développera le plus. Si déjà Vitruve indique que les fondements doivent avoir « plus d'épaisseur que les constructions qu'on doit établir »¹², les autres auteurs jusqu'au XIXe siècle ne donneront pas beaucoup plus de détails. Rondelet le premier en 1805 s'étonnera que les anciens auteurs n'aient établi de relation pour les fondations qu'avec l'épaisseur du mur et non avec la charge de celui-ci : « souvent un mur, ou un massif fort épais, presse moins le terrain en raison de sa grande superficie, qu'un mur beaucoup plus mince, parce que la raison qui détermine à leur donner une plus grande épaisseur, est souvent pour résister à des efforts latéraux, telles que la poussées des terres ou des voutes »¹³. C'est quasiment une définition de ce que l'on nomme aujourd'hui la « contrainte », sans formulation particulière. Pourtant quelques relations sont établies par les auteurs anciens entre la hauteur des fondations et la hauteur de la bâtisse (par exemple, le recueil *Mappae clavícula* du VIIIe siècle avec le rapport allant de ¼ au 1/6^e, Andrea Palladio avec le rapport de 1/6^e). La pratique constructive suit à peu près ces recommandations, sans doute sans le savoir¹⁴. Si les fondations des constructions courantes ne sont constituées que de quelques assises, l'architecture monumentale révèle des fondations très profondes au point que certains auteurs ont pu écrire que « environ la moitié de la pierre employée dans une église construite à grande échelle se trouve cachée sous les dalles, dans les fondations »¹⁵, autrement dit les fondations comme partie immergée de l'iceberg. Il faudra attendre William Rankine en 1862 pour établir une relation entre le poids du m³ de terre, la profondeur des fondations et l'angle de frottement du terrain du à son inclinaison. Même si Rondelet en 1805 révèle pour la première fois la distinction entre le tassement et la poussée, entre la déformation excessive et la rupture par poinçonnement de la fondation, Rankine, puis surtout Karl Tezaghi vers 1910, calculent à l'aide de formules mécaniques les dimensions des fondations au plus juste.

Il faudra prévoir alors une grande diversité de solutions techniques pour répondre à la diversité des sites potentiels choisis pour recevoir des fondations.

¹¹ Ph. de L'Orme, *Architecture*, Rouen, 1648, [rééd. Mardaga, Bruxelles, 1981], p. 31-43.

¹² Vitruve, *De architectura*, Livre 3, chapitre 3.

¹³ J. Rondelet, *Traité théorique de l'art de bâtir*, t. 3, livre 5, p. 36.

¹⁴ A. Salamagne, 1996.

¹⁵ S. Bonde et C. Maines, 1998.

II/- Les techniques de fondations :

Deux sortes de situations sont apparues

- soit le sol est assez résistant à faible profondeur : les fondations seront superficielles.
- soit le sol n'est pas suffisamment résistant à faible profondeur et il faut chercher plus profond : les fondations seront profondes.

A/- Les fondations superficielles :

- Tout d'abord, il arrive que le sol même serve de fondations : à Château-Gaillard, XIII^e siècle ou pour les maisons du *castrum* de Saint-Germain de Calberte (Lozère) ou bien entendu dans le cadre de la maçonnerie rustique (voir les constructions en pierres sèches du Sud de la France). Des fondations existantes lors d'une reconstruction peuvent être également réutilisées comme fondations d'un nouveau bâtiment (église Saint-Jean-des-Vignes de Soissons, Cathédrale de Chartres rebâtie après l'incendie de 1194 sur ses anciennes fondations « tant par piété conservatrice que par souci d'économie »¹⁶).

- La plupart du temps, la fondation est maçonnée par semelles ou radiers : Même pour les maisons en bois relativement légères, les fondations sont réalisées par des poteaux verticaux enfoncés dans le sol ou/et reposant sur des blocs de pierres ou des sablières en bois. Le plus souvent les fondations sont constitués de blocs de moellons durs disposés à sec, plutôt qu'à bain de mortier, enfoncés plus ou moins dans le sol et constituant un empâtement suffisant par rapport au bâtiment qui surplombe la fondation¹⁷. Les normes de l'art de bâtir qui sont élaborées dans les « réductions en art » de certains constructeurs sont assez précises. Jean Beausire en 1694 préconise en général des matériaux solides : que ce soit des pierres de taille, des moellons ou libages, voire en plâtre. Ceux-ci doivent être durs, le cas échéant, ébousinés jusqu'au vif. Vauban et Germain Boffrand à un demi siècle de distance proposent des méthodes identiques : des critères de solidité pour les matériaux, un certain empâtement, refusant « les plateformes et racinaux de bois » qui pourrissent facilement.

¹⁶ L. Grodecki, 1979, p. 110.

¹⁷ Y. Carbonnier, *Le bâti et l'habitat dans le centre de Paris à la fin de l'Ancien Régime*, thèse histoire, Université Paris IV-Sorbonne, 2001, t. I, p. 93.

En dehors de la simple maçonnerie, les fondations peuvent être constituées ainsi de sortes de semelles, désignées comme « filantes », lorsqu'elles sont sous un mur, et « centrées », quand elles soutiennent une pile. En théorie, ces semelles doivent avoir entre une fois et demie et deux fois la largeur de la structure qui les surmontent, mais en pratique cette prescription est rarement respectée. Les usages nous exposent une variété infinie de solutions maçonnées qui lorsqu'elles se révèlent insuffisantes, laissent le bâtiment se fissurer, voire s'effondrer.

Si les fondations ne suivent pas strictement le tracé des murs, elles peuvent prendre l'aspect d'une plateforme de bois ou de maçonnerie (un radier) qui couvre l'ensemble de la surface du bâtiment (église des Augustins d'Aix-en-Provence, 1472).

B/- Les fondations profondes :

Il serait trop onéreux de descendre les fondations si profondément et dans bien des cas cela ne résoudrait rien. Le principe est alors de reporter la charge sur le sol résistant par des points d'appui séparés ou collés entre eux, piles, puits ou pieux. Cette technique est très ancienne. Vauban, habitué à élever des fortifications sur tous types de terrains, préconise le système sur pilots lorsque le fond est constitué de « grosse glaise » ou de marécages. Ainsi dans les terres meubles, bourbeuses ou humides il est indispensable de confectionner un pilotis pour donner une assise stable aux fondations. Ce pilotis est constitué de pilots ou pieux fichés dans le sol avec machine, jusqu'au refus, c'est-à-dire jusqu'au moment où la pièce de bois ne s'enfonce plus sous les coups. La nature du bois des pieux est variable : chêne à Lyon au XIVe-XVe, pin à Marseille en 1465, aulne à York en 1327, orme à Gravesend en 1360. Durcies au feu, les pointes sont parfois munies d'un sabot métallique pour en renforcer la solidité et la pénétration dans le sol. La disposition des pieux varie également. Ils sont néanmoins souvent rassemblés les uns serrés contre autres de manière à constituer une armature stable (sous-sol de Venise, pont de Rochester ou l'ancien pont de la Guillotière à Lyon.). La surface constituée par les têtes des pieux porte directement la bâtisse mais peut être également chargée de gravier et de chaux vive ou d'un plancher en bois uniforme.

Lorsque le terrain est irrégulièrement nivelé, les bâtisseurs ont recouru à un système identique de fondations sur arcades (ou sur piles) que Philibert de L'Orme employa pour bâtir

le château de Saint-Maur-des-Fossés (1541-1563) sur une colline artificielle¹⁸. Lorsque le niveau stable est trop profond, creuser des tranchées risque d'être onéreux et délicat. Les fondations sur piles, constituées de gros piliers reliés entre eux par des arcs, limitent les travaux de fouille et épargnent les matériaux (environ 50 à 60 % d'économie selon les auteurs), la terre enfermant les maçonneries servant de coffrage pour les piles et les arcs. En matière militaire, cette technique procurait un gain de temps précieux.

III/- Ces aspects techniques ne doivent pas faire oublier le caractère symbolique de l'acte de fonder un bâtiment.

Il est indéniable que la dimension symbolique de l'acte de fonder en particulier les bâtiments religieux conserve une résonance spirituelle. Les fondations de l'église, de la cathédrale, du monastère apparaissent comme un rappel symbolique des fondements de la communauté chrétienne. L'image est empruntée par l'exégèse médiévale à la première épître aux Corinthiens : « Selon la grâce de Dieu qui m'a été donnée, tel un bon architecte, j'ai posé le fondement. Un autre bâtit dessus. Mais que chacun prenne garde à la manière dont il bâtit. De fondement, en effet, nul n'en peut poser d'autre que celui qui s'y trouve, c'est-à-dire Jésus-Christ »¹⁹ ou à l'évangile selon saint Matthieu. Précisons que cette référence aux fondements ne se retrouve pas apparemment dans les textes sacrés des autres religions du Livre.

Un rituel de pose de la première pierre s'est mit progressivement en place à la fin du Xe siècle en Occident jusqu'au XIIe siècle²⁰. La cérémonie décrite vers 1293-1295, par exemple, dans le traité de Guillaume Durand, évêque de Mende, voit l'évêque ou son représentant asperger d'eau bénite la tranchée de fondations et placer au fond de celle-ci une pierre marquée de la croix²¹. « La maison du Seigneur est bien fondée sur la pierre ferme » (*bene fundata est domus Domini super firmam petram*) proclame l'auteur, et c'est aussi ce que fit inscrire, vers 1370, au chevet de la chapelle Saint-Michel (*la Parroquieta*) de la cathédrale de Saragosse (construite en brique mais sur une base de pierre) l'évêque Pedro Lopez de Luna, le futur pape Benoît XIII²². La référence aux fondations va se perdre pour faire place au

¹⁸ Ph. de L'Orme, *op. cit.*, p. 45-47.

¹⁹ Bible, 1 Corinthien 3, 10-11.

²⁰ D. Iogna-Prat et G. Binding et S. Linscheid-Buiridich., 2002, p. 169-178.

²¹ G. Binding et S. Linscheid-Burdich, 2002, p. 173.

²² Ph. Araguas, 1992.

symbole de la première pierre qui n'est plus forcément un élément des fondations²³ mais simplement le lieu d'emplacement de l'église, l'endroit de pose la première pierre où il est planté une croix.

Dans certaines civilisations, le rituel des fondations est lié à la gestation d'un être vivant. En Egypte ancienne, par exemple, il existe un parallèle entre le moulage des quatre premières briques crues de fondations du temple disposées aux quatre coins de l'édifice et les techniques d'accouchement à propos desquelles les femmes étaient accroupies sur des briques.

* *

*

Si les conditions techniques des fondations ont de tout temps entretenu l'intérêt des bâtisseurs, et à juste titre, on ne peut pas dire que leur aspects symboliques leurs soient apparus essentiels. Rappelons la phrase d'Alberti : « j'estime que le mieux est de rejeter toute superstition douteuse pour aborder la construction avec piété et religion »²⁴.

²³ *Rituel du diocèse de Meaux*, publié par Mgr Romain-Frédéric Gallard, évêque de Meaux, Meaux, 1836, p. 168-181.

²⁴ Alberti, p. 136.