



sont plus collantes et davantage adaptées à la bauge (terre crue à empiler), au torchis (terre crue à remplir) ou à la fabrication d'adobes (briques de terre crue).

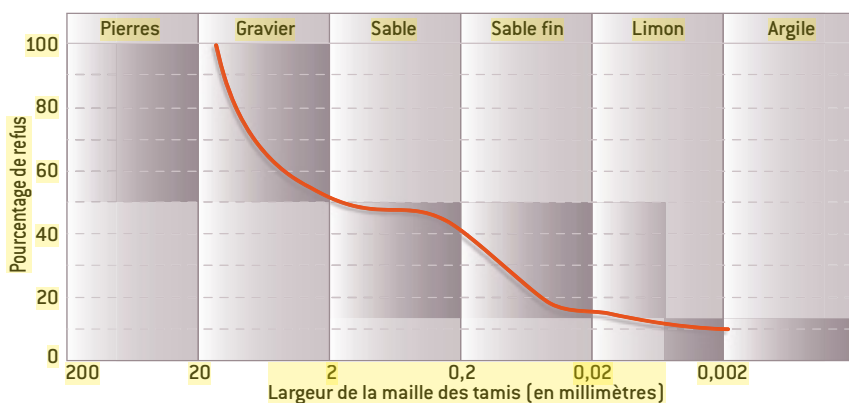
Formée de grains de tailles différentes dont une partie assure la cohésion globale, la terre, surtout sous forme de pisé, fait penser à un béton. En effet, qu'est-ce qu'un béton sinon un mélange de cailloux – de « granulats », en termes techniques – et d'une colle assurant la cohésion de l'ensemble ? Le béton ordinaire – le béton, que nous désignons ainsi sans même y réfléchir – est sans conteste le plus connu. Sa colle n'est autre que le ciment inventé au XIX^e siècle, que l'on dit « de Portland », car sa couleur rappelle celle des falaises de Portland en Grande-Bretagne. Toutefois, la terre aussi peut recevoir le label de « béton » : il faudrait juste préciser que l'on parle de « béton d'argile » plutôt que de « béton de ciment ».

Argiles : des mille-feuilles de silicates

On pourrait penser qu'à l'image de la variété de roches dont elle est issue, la fraction argileuse des sols n'est qu'un kaléidoscope : il n'en est rien. Les conditions dans lesquelles les argiles se forment – par altération à température modérée en présence d'eau – produisent une famille de minéraux ayant deux caractéristiques communes : ce sont des silicates (sels dérivant de la silice, SiO_2) ayant une structure cristalline en couches. En examinant les argiles au microscope, on peut trouver des formes variées (pétales de fleurs, plaquettes empilées, fibres enchevêtrées), mais qui ont toutes la caractéristique d'être plus larges et longues qu'épaisses (voir la figure 4).

Si l'on examine la structure de ces pétales, plaquettes ou fibres, on retrouve toujours une structure en couches formée de feuillets superposés. C'est pourquoi, dans la très vaste famille des silicates, les argiles sont classées dans la sous-famille des phyllosilicates (*phyllo* signifie feuille en grec). Cependant, tous les phyllosilicates ne sont pas des argiles. Certains, tels le talc ou les micas, sont de granulométrie souvent supérieure au seuil des deux micromètres qui définit les argiles.

Un grain d'argile est donc un mille-feuille, mais ce dernier est plus ou moins épais, avec des liaisons plus ou moins fortes entre feuillets. La brique élémentaire de



2. LA GRANULOMÉTRIE ET L'ASPECT DES TERRES sont très variables, comme l'indiquent ces exemples de gravier, sable, limon et argile. La première de ces propriétés peut être résumée par la courbe granulométrique, qui est le tracé du pourcentage de refus (pourcentage de matériau retenu par le tamis) en fonction de la largeur de maille du tamis. Cette largeur de maille indique la taille maximale des grains pouvant passer à travers le tamis. Par définition, les pierres ont un diamètre supérieur à 20 millimètres (deux centimètres), tandis que les grains d'argile ont au plus un diamètre de 0,002 millimètre (deux micromètres).

l'argile est le feuillet. Il s'agit d'un édifice de moins de un nanomètre d'épaisseur, composé de trois ou quatre plans d'anions (ions négatifs) tels que O^{2-} ou OH^- , entre lesquels s'insèrent de petits cations (ions positifs) principalement de silicium, d'aluminium et de magnésium. La charge nette du feuillet dépend des proportions d'anions et de cations.

Dans une importante famille d'argiles, les kaolinites, dont le feuillet est formé de trois plans négatifs, l'équilibre des anions et des cations est strictement respecté et le feuillet est donc électriquement neutre.

Les smectites, qui constituent une famille d'argiles à feuillet de quatre plans négatifs, présentent un déficit de charges positives; leur feuillet porte donc une charge nette négative, compensée par des cations supplémentaires, dits compensateurs, situés à la surface des feuillets et entourés de molécules d'eau.

Une troisième famille d'argiles, les illites, ressemble à celle des smectites, mais a deux caractéristiques particulières: d'une part, le déficit de charges positives y est très élevé et, d'autre part, il est systématiquement compensé par des cations de potassium, K^+ .

Les chlorites constituent une quatrième grande famille d'argiles, assez particulière, car leur structure de base est formée de deux feuillets alternés. Le premier est négatif comme dans les smectites. Le second est positif, de charge juste suffisante pour compenser la charge négative du premier, ce qui conduit à un assemblage neutre.

Le sable humide, un modèle

Kaolinites, smectites, illites et chlorites constituent l'essentiel des argiles que l'on trouve dans les sols. Ce sont elles dont il faut comprendre comment, avec de minuscules quantités d'eau, elles assurent la cohésion de ce béton d'argile qu'est la terre. Deux grandes situations se présentent: celle des argiles à structure élémentaire neutre (kaolinites, chlorites) et celle dont la structure de base porte une charge électrique (smectites, illites). Examinons ces deux situations, mais après avoir fait un bref retour en enfance...

Enfants, nous avons tous été de grands bâtisseurs en sable. Sans formation professionnelle aucune, nous avons facilement réussi à doser correctement le mélange de



3. LA TERRE EST UN BÉTON D'ARGILE, comme le suggère le rapprochement de ces deux images. Ainsi, dans le béton de ciment en usage aujourd'hui (*en haut*), graviers et petites pierres sont liés par une matrice de ciment, tandis que dans le béton d'argile utilisé autrefois (*en bas*), ils le sont par une matrice d'argile.

sable et d'eau et à assurer à ce mélange une cohésion optimale. En réalité, nous n'avons guère de mérite. Il résulte de la physique du sable humide que, sauf dans les états extrêmes de déshydratation ou d'hydratation, la cohésion d'un tel matériau est pratiquement indépendante de sa teneur en eau.

D'où vient cette cohésion, c'est-à-dire la force qui lie les grains humides les uns contre les autres? L'eau n'a pas la réputation d'être une colle particulièrement efficace, mais elle a une propriété que nous connaissons bien: elle mouille, autrement dit tend à s'étaler sur les surfaces. Ce liquide mouille bien le sable (ainsi que d'autres minéraux) grâce aux liaisons faibles que les molécules d'eau établissent avec la surface des grains de sable. Lorsqu'une goutte d'eau est posée entre deux grains de sable, elle tend donc à s'étaler sur les deux grains à la fois.

Mais cette tendance est contrecarrée par la cohésion de l'eau elle-même, liée à l'attraction mutuelle des molécules d'eau. Tout se passe comme si la surface de la goutte d'eau était une membrane élastique, qui empêche la goutte de s'étirer: c'est la tension superficielle, responsable des phénomènes de capillarité.

Pour notre goutte qui cherche à s'étaler mais qui en est empêchée, il en résulte un état d'équilibre, avec une forme caractéristique de diabolo: la goutte s'étire vers les deux grains de sorte que les liaisons entre molécules d'eau sont en tension (*voir l'encadré page 55*). En conséquence, la goutte se retrouve en dépression par rapport à l'air environnant.

C'est le physicien Pierre Simon de Laplace (1749-1827) qui, le premier, a pu établir la relation entre la dépression dans le pont liquide et la courbure du ménisque (la frontière entre l'eau et l'air). Son résultat est très simple: la dépression, dite de Laplace, est proportionnelle à la tension superficielle du liquide et à la courbure du ménisque.

Cette propriété disparaît cependant lorsqu'il y a soit beaucoup d'eau, soit très peu d'eau. Du côté très humide, il existe une limite évidente, atteinte lorsque l'eau est si abondante que les grains sont totalement noyés: à stade, il n'y a plus de ménisque ni aucune frontière air-eau accrochée aux grains, de sorte que la cohésion est perdue.

Du côté très sec, la limite est plus subtile. Elle est liée à la rugosité des grains