

1 – Le béton

Le béton est un matériau présentant une importante hétérogénéité, qui induit son comportement mécanique particulier lorsqu'il est soumis à des sollicitations. On peut identifier deux phases principales :

- Pâte de ciment : matrice cimentaire du matériau, elle assure le rôle de liant et confère au matériau ses propositions de résistance et de rigidité. Elle occupe environ 30% du volume total.
- Granulats : inclusions, ils assurent les performances mécaniques. Ils occupent environ 70 % du volume total

Ce matériau composite présente également une zone sensible à l'interface granulats-pâte de ciment : on l'appelle auréole de transition. Cette zone pourra représenter un point faible lors des sollicitations mécaniques ou de séchage. Cette zone est généralement caractérisée par une porosité plus élevée. En jouant sur les proportions, le choix de composition de phases, il a été possible d'établir le panel de bétons connu aujourd'hui (Béton Ordinaire BO, Béton Haute Performance BHP, Béton Auto-Plaçant BAP,...), qui présentent des hétérogénéités différentes, ce qui complexifie l'étude du matériau béton.

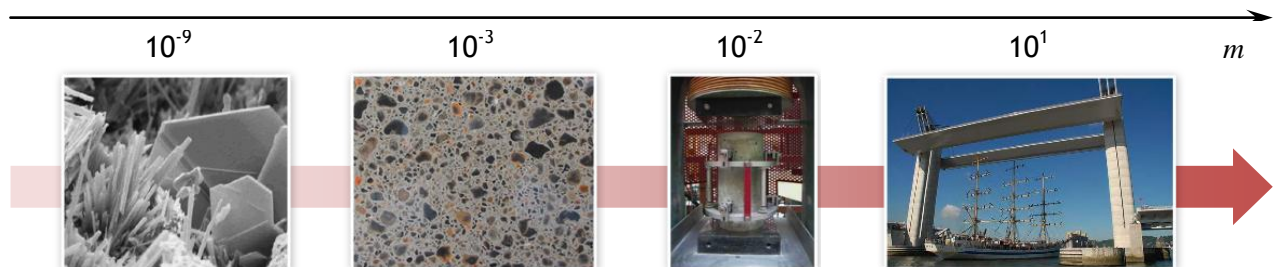


Figure 1 : Différentes échelles d'observation d'un béton classique

2 – La pâte de ciment

La pâte de ciment résulte du phénomène d'hydratation du ciment anhydre avec l'eau. Le ciment anhydre est composé de poudres minérales, ayant subi plusieurs étapes de cuisson et de broyage. Une fois la réaction d'hydratation ayant eu lieu, on identifie plusieurs espèces principales : les silicates de calcium hydratés (C-S-H), la portlandite (ou hydroxyde de calcium, $\text{Ca}(\text{OH})_2$) et l'ettringite (ou aluminates de calcium hydraté, $3\text{CAO}-\text{A}_2\text{O}_3-3\text{CaSO}_4-32\text{H}_2\text{O}$).

Les C-S-H, silicates de calcium hydratés, représentent 50 à 70% de la pâte de ciment, ils assurent l'adhérence entre les éléments du béton. Les propriétés mécaniques du béton dépendent beaucoup de cette espèce. On recense de nombreux modèles pour décrire la structure des C-S-H, le plus communément repris est celui proposé par Feldman et Sereda [1] : un monocristal

lamellaire (figure 1). Les molécules de C-S-H se présentent sous la forme de lamelles enroulées sur elles-mêmes. Chaque lamelle présente plusieurs feuillets, arrangés irrégulièrement. Ces derniers peuvent avoir des mouvements relatifs réversibles ou non, lors de départs et d'entrées d'eau dans les espaces interfoliaires. Ce phénomène explique donc les variations de volume observables lors de la vie du matériau (en fonction du temps et des sollicitations).

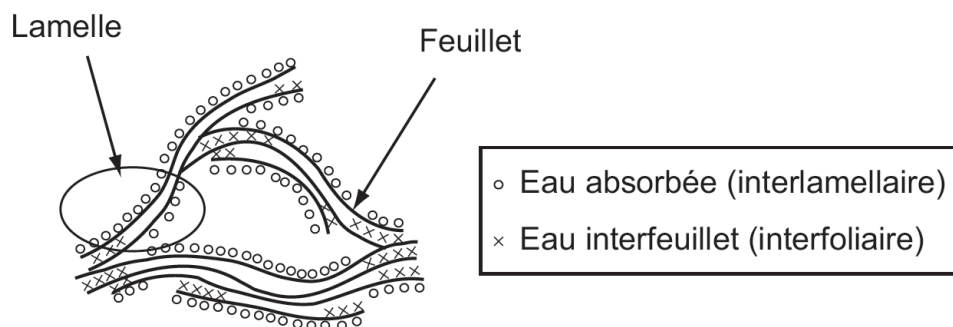


Figure 1 : Représentation de la microstructure du gel de C-S-H [1]

2.1 - Porosité de la pâte de ciment

La porosité de la pâte de ciment varie de façon importante d'une formulation de béton à l'autre autant en quantité (de 5% pour le BHP et 15% pour les BO) qu'en dimension et répartition des rayons des pores. La porosité conditionne en partie la durabilité des bétons. A l'aide de mesures au porosimètre à mercure, il a été possible d'identifier deux grands types de porosité :

- **La porosité capillaire** : elle correspond aux pores de grands diamètres, i.e. de l'ordre du micromètre. Elle est directement liée au rapport E/C : la dimension des pores augmente avec celui-ci, mais aura tendance à diminuer lors du vieillissement du béton.
- **La porosité liée aux C-S-H** : elle correspond aux pores de petits diamètres, i.e. de l'ordre du nanomètre. La dimension des pores dépend peu du rapport E/C et des conditions d'hydratation.

2.2 - L'eau dans la pâte de ciment

L'eau est un élément essentiel de la pâte de ciment. Elle lui assure les propriétés de maniabilité et de résistance mécanique, mais dans un même temps, est responsable, entre autre, des transports d'agents agressifs, de l'augmentation de la porosité, des phénomènes de retrait et de fluage, ... On distingue trois classes différentes de liaisons entre l'eau et la pâte de ciment hydratée [2] :

- **L'eau libre** : elle se trouve majoritairement dans les macropores ($> 10 \mu\text{m}$), elle n'est pas soumise aux forces d'attraction des surfaces solides, et est la première à migrer lors d'un séchage.
- **L'eau liée** : elle assure la réaction d'hydratation du ciment et rentre dans la composition des hydrates [3] [4].
- **L'eau absorbée** : elle se fixe aux surfaces solides, de façon physique ou chimique selon l'énergie des forces de liaisons.

3 – Les granulats

Le choix des granulats aura un impact direct sur les performances mécaniques du béton. En effet, les granulats présentent de meilleures caractéristiques mécaniques que la pâte de ciment (e.g. module d'Young de 70 GPa pour les granulats vs 15 GPa pour la pâte de ciment). Afin d'obtenir un béton de bonne qualité, il est nécessaire de contrôler [5] [6] :

- **Les caractéristiques géométriques** : la forme des granulats va influencer la compacité du mélange granulaire, et leur rugosité va influencer l'interface granulat-pâte de ciment
- **L'origine / la minéralogie** : les granulats peuvent être naturels, artificiels ou recyclés. On citera en particulier deux types de granulats naturels : silicieux et calcaires, souvent rencontrés pour les compositions classiques de béton. Il est essentiel de connaître la minéralogie des granulats afin de prédire le comportement vis à vis de l'alcali-réaction ou la réaction sulfatique interne.
- **La granulométrie** : c'est la distribution statistique des tailles de granulats utilisés dans la composition d'un béton. Une bonne distribution induit une réduction des volumes des vides ainsi qu'une optimisation de la compacité du béton.

Références :

[1]: Feldman et Sereda, A model for hydrated Portland cement paste as deduced from sorption-length change and mechanical properties, Materials and Construction (1968)

[2]: Regourd, Le béton hydraulique, Presse de l'ENPC (1982)

[3]: V. Baroghel-Bouny, Caractérisation des pâtes de ciment et des bétons. Méthodes, analyse, interprétation. Thèse de doctorat, Ecole Nationale des Ponts et Chaussées (1994)

[4]: T. Hansen, Physical structure of hardened cement paste, A classical approach, Materials and Structures (1986)

[5]: G. Dreux, Guide pratique du béton, Collection de l'ITBTP (1970)

[6]: F. De Larrard, Structure granulaire et formulation des bétons, LCPC (2000)

Ressource publiée sur EDUSCOL-STI : <http://eduscol.education.fr/sti/si-ens-cachan/>