

CIMENTS ET BÉTONS : DES INNOVATIONS AU SERVICE DU DÉVELOPPEMENT DURABLE DANS LE GÉNIE CIVIL

Patrick GUIRAUD

CIMbéton

DES INDUSTRIES EN PHASE AVEC LE CONCEPT DE DÉVELOPPEMENT DURABLE

Le souci du respect de notre environnement et de la gestion responsable et optimale des ressources, la volonté d'améliorer le confort de vie, la santé et la sécurité des hommes sont pour les industries du ciment et du béton une source d'inspiration constante pour l'innovation et la recherche de nouveaux produits et de nouvelles solutions constructives.

Les industries du ciment et du béton accompagnent cette nécessaire logique de progrès par une démarche volontaire et pro-active depuis plusieurs années en développement de nombreuses innovations tant sur leurs sites de production que pour la conception, la mise en œuvre ou l'utilisation de leurs matériaux.

Elles s'engagent pour les générations futures et apportent leur contribution au concept du **développement durable** grâce :

- à des procédés industriels optimisés,
- à des milliers de sites de production (cimenteries, usines de préfabrication, centrales de BPE) répartis sur l'ensemble du territoire, au plus près des matières premières et des utilisateurs, préservant ainsi les ressources naturelles et l'énergie, en limitant les transports,
- à des produits innovants et des solutions constructives répondant aux préoccupations contemporaines

Elles permettent, en développant des **matériaux et des techniques innovantes** grâce à une recherche active, la réalisation des constructions indispensables aux hommes pour leur logement, transport, travail, loisirs, activités culturelles ou sportives et respectueuses des principes du développement durable.

Dans le domaine social, les industries du ciment et des bétons contribuent à la **vie locale** en proposant un **emploi stable, pérenne** et peu délocalisable et en mettant en œuvre une forte politique de **formation** du personnel (en particulier dans le domaine de la sécurité) et des **jeunes**.

Elles apportent chaque jour, par des réalisations concrètes, la démonstration que la production du ciment et du béton se fait dans le **respect de l'environnement** avec le souci de la mise au point de **produits de qualité, performants et sains** et qu'il est possible de concilier développement industriel et respect des ressources naturelles en mettant en œuvre des solutions durables et équitables pour la société.

Elles ont, depuis de nombreuses années, mobilisé leur **capacité de recherche et de développement** pour contribuer à la **préservation de la planète** et à la construction d'ouvrages adaptés aux besoins actuels et anticipant ceux des générations futures, en permettant l'amélioration des conditions de vie, du bien-être et du confort de chacun.

Elles s'impliquent dans la santé environnementale. En effet, alors qu'en aval, la construction en béton garantit à chacun d'excellentes conditions sanitaires, elles se mobilisent en amont pour la santé, la sécurité et la prévention des maladies professionnelles. Le développement durable passe par cette prise en compte de la santé et la sécurité de tous les acteurs : riverains, employés de sites de production, ouvriers sur chantier.

Le thème du **développement durable** est aujourd'hui au cœur des métiers du **génie civil**. C'est un stimulateur d'imagination et un catalyseur d'innovation pour :

- l'optimisation des procédés de fabrication des matériaux,
- le développement de nouveaux matériaux,
- l'amélioration des procédés de construction,
- la mise au point de nouvelles solutions constructives.

Le **développement durable** n'est pas une contrainte mais une **source d'opportunités nouvelles** et une démarche de progrès. C'est un mode de croissance pour garantir le progrès économique, social et environnemental sur le long terme.

1. LE CONCEPT DE DÉVELOPPEMENT DURABLE

1.1. Un concept pour préparer l'avenir

La prise de conscience, partagée au niveau mondial, de la nécessité pour préparer l'avenir, de trouver un équilibre entre le développement économique, la protection des ressources naturelles et les enjeux sociaux est apparue à Stockholm, en 1972, à l'occasion d'une réunion des Nations Unies, puis s'est exprimé dans le rapport "BRUNDTLAND". Le concept de développement durable a été pérennisé lors du premier sommet de la Terre à Rio de Janeiro en 1992.

Le **développement durable** (sustainable development) a été défini par la Commission BRUNDTLAND dans son rapport aux Nations Unies ("Notre avenir à tous" - 1987), comme : "un développement qui s'efforce de répondre aux besoins des générations présentes sans compromettre la capacité des générations futures à répondre aux leurs".

Il doit permettre à chacun de s'épanouir dans une société plus humaine et un environnement préservé. Il est devenu un enjeu majeur qui vise à répondre aux multiples défis auxquels nous devons faire face, en intégrant dans les processus de décision, dans un esprit de synergie, les composantes économiques, environnementales et sociales.

L'objectif du développement durable est que l'homme devienne collectivement responsable en apprenant à tenir compte de l'intérêt collectif dans ses choix individuels (de consommation notamment) et ses comportements et qu'il soit solidaire des générations futures. Il ne s'agit pas de préserver uniquement l'environnement lui-même, mais la vie que nous pouvons mener sur la planète.

Chacun doit s'engager en faveur d'un mode de fonctionnement et de développement respectueux du monde présent et futur, plus efficace économiquement, plus humain, plus équitable socialement et plus durable au plan environnemental en utilisant plus raisonnablement les ressources limitées de la planète et en préservant les espèces et les milieux naturels.

1.2. Les composantes du développement durable

Le concept complexe du développement durable revêt de multiples aspects, il repose sur le triptyque :

- **Économie** (Profit) : efficacité et développement économique,
- **Environnement** (Planet) : préservation des ressources naturelles et de la planète,
- **Société** (People) : équité sociale, santé, solidarité et bien être social.

Il se traduit par la recherche d'un équilibre et un savant mélange entre ces trois composantes interdépendantes avec une vision et une dynamique à long terme, à l'échelle de la planète, au service des générations futures.

1.3. Les objectifs du développement durable

Le développement durable vise trois objectifs :

- **l'efficacité économique**

Favoriser une gestion optimale des ressources humaines, naturelles et financières, afin de permettre la satisfaction des besoins de tous.

- **l'intégrité écologique**

Gérer avec parcimonie les ressources limitées de la planète. Préserver l'environnement par des mesures de protection, par la restauration, l'aménagement et le maintien des habitats essentiels aux espèces, par une gestion durable et un usage équilibré des ressources.

- **l'équité entre les nations, les individus et les générations**

Satisfaire les besoins essentiels des communautés humaines présentes et futures et améliorer la qualité de vie.

1.4. Les trois principes du développement durable en terme d'utilisation des ressources naturelles

Le **développement durable** suppose une utilisation réfléchie des ressources naturelles disponibles, de manière à les préserver au maximum pour les générations futures en appliquant les trois principes fondamentaux suivants :

- le rythme d'utilisation des ressources naturelles renouvelables ne doit pas être supérieur à celui de leur régénération ;
- le rythme d'épuisement des ressources non renouvelables ne doit pas dépasser le rythme de développement de substituts renouvelables et d'utilisation de matériaux alternatifs ;
- la quantité de pollution et de déchets ne doit pas dépasser celle que peut absorber l'environnement.

Compte tenu de ces principes, les projets de construction doivent être conçus en considérant comme prioritaire :

- la protection de l'eau, de l'air et du sol,
- l'optimisation de la consommation des ressources naturelles et de l'énergie,
- la maîtrise des déchets et la limitation des rejets,
- la lutte contre les nuisances sonores,
- le respect des paysages,
- la valorisation du patrimoine,
- la préservation de la santé,
- l'amélioration de la sécurité des ouvriers sur les chantiers

en

- optimisant la phase de construction des ouvrages en fonction des impacts environnementaux et des critères économiques,
- maîtrisant la phase d'exploitation et de service en tenant compte des exigences sociales des usagers,
- anticipant la phase de réhabilitation ou de démolition.

2. DES INNOVATIONS POUR LA FABRICATION DES CIMENTS ET DES BETONS

L'industrie cimentière et ses partenaires, conscients de l'enjeu stratégique et universel du développement durable et des exigences et préoccupations légitimes de notre société, contribuent, à leur niveau et avec leurs compétences, avec une démarche volontariste, à l'effort collectif ayant pour but de préserver les ressources naturelles et de réduire les impacts environnementaux.

Réaménagement des carrières, réduction des impacts environnementaux liés à l'exploitation des installations industrielles, utilisation de déchets sélectionnés comme combustibles de substitution pour économiser les énergies fossiles et participer à l'effort mondial de lutte contre l'effet de serre sont autant de mesures qui témoignent concrètement de leur engagement, de leur volonté d'assumer leur responsabilité sociétale et de leur détermination à jouer un rôle significatif dans la recherche et la mise au point de solutions alternatives innovantes.

Ils ont depuis de nombreuses années mis en place des systèmes de contrôle efficaces permettant de garantir des conditions de sécurité sanitaire optimales dans l'environnement proche de leurs sites de production. Une démarche constructive fondée sur le dialogue, la concertation, la transparence et la confiance avec les riverains des sites industriels et les responsables des collectivités locales.

2.1. Des industries écologiquement responsables

L'industrie cimentière française a par exemple investi beaucoup en matière environnementale depuis plusieurs décennies (30% de ses investissements totaux sont consacrés à la réduction des impacts environnementaux liés à ses activités). Elle s'est impliquée dès le début des années 90 dans la réduction des gaz à effet de serre. Elle améliore constamment les performances de ses produits et de ses processus de fabrication, en diminuant les consommations de ressources et les émissions et en optimisant le recyclage des co-produits, tout en répondant aux besoins croissants de ses clients.

Les ressources énergétiques et les richesses naturelles ne sont pas inépuisables. Il faut donc :

- limiter la consommation d'énergie en améliorant l'efficacité énergétique des installations industrielles et en privilégiant les sources alternatives d'énergie,
- optimiser l'emploi des richesses naturelles non renouvelables.

2.2. Des innovations au niveau des process de fabrication des ciments

L'industrie cimentière a mis en œuvre, au niveau des process de fabrication des ciments, un engagement volontaire de réduction des impacts environnementaux et a développé des procédés de production innovants.

Ces procédés permettent de réduire l'utilisation de combustibles fossiles ainsi que la consommation énergétique globale et de diminuer les émissions de CO₂ en privilégiant les sources d'énergies alternatives.

○ La valorisation énergétique

Pour diminuer la consommation d'énergies fossiles, l'industrie cimentière a développé des solutions innovantes qui permettent :

- d'améliorer les procédés existants afin d'augmenter leurs performances énergétiques : passage de la voie humide ou semi humide à la voie sèche intégrale, améliorations des dispositifs d'injection des combustibles dans les fours, optimisation des rendements de la cuisson, préchauffage des matières premières avec les gaz de combustion ;
- de diversifier les combustibles qui alimentent les fours ;
- de remplacer une partie des combustibles fossiles par des combustibles alternatifs (les particularités technologiques des fours de cimenterie permettent de brûler des combustibles très variés).

○ L'utilisation de sources d'énergies alternatives

L'industrie cimentière privilégie les sources d'énergie alternatives pour économiser les combustibles fossiles non renouvelables. Ces derniers (fioul lourd, pétrole) ne représentent plus qu'une faible part des consommations. Elle a largement privilégié les composants lourds : coke de pétrole, CHV, brais

bitumineux et s'est engagée, depuis plusieurs décennies dans une politique de valorisation énergétique des co-produits d'autres industries (pneus, huiles usagées, boues d'épuration, matières plastiques).

Les combustibles alternatifs sont sélectionnés selon un cahier des charges très strict établissant leur compatibilité avec la performance du procédé cimentier, leur absence d'impact sur l'environnement et sur les propriétés du produit final. Leur utilisation fait l'objet de procédures de contrôle très rigoureuses.

Aujourd'hui, plus du tiers de l'énergie utilisée pour la fabrication des ciments provient de la combustion de combustibles alternatifs, ce qui représente l'économie de 500 000 tonnes d'équivalent pétrole par an.

○ La lutte contre l'effet de serre

L'industrie cimentière s'est engagée depuis de nombreuses années à limiter au maximum les émissions de CO₂.

Trois avancées techniques et leviers de réduction y contribuent :

- une meilleure performance énergétique des procédés de fabrication des ciments et le développement de procédés économes en énergie,
- une valorisation énergétique en utilisant des combustibles alternatifs neutres en CO₂ (déchet dont les émissions de CO₂ s'ajouteraient à celles des combustibles fossiles s'ils étaient incinérés par voie traditionnelle, sans valorisation énergétique),
- une valorisation matière en utilisant des matériaux de substitution comme matières premières ou pour la formulation de ciments composés.

L'industrie cimentière a diminué depuis 1990 de 40% les émissions totales de CO₂ générées par la consommation de combustibles fossiles et de 20% les émissions de CO₂ à la tonne de ciment. Elle s'est engagée auprès des pouvoirs publics à poursuivre la réduction de sa consommation d'énergie et de ses émissions de CO₂.

Pour minimiser les émissions de gaz à effet de serre, enjeu planétaire souligné par le Protocole de KYOTO, l'industrie cimentière a été parmi les premières à mettre en œuvre, au niveau national, un engagement volontaire. Elle poursuit cette action à travers l'AERES (Association d'Entreprises pour la Réduction de l'Effet de Serre) fondée en octobre 2002.

○ La préservation de la qualité de l'air

Pour préserver l'environnement immédiat des usines, l'industrie cimentière a mis en place des systèmes performants de filtration des gaz en sortie de cheminée. Ces dispositifs garantissent des niveaux d'émission de poussières extrêmement faibles, nettement inférieurs à la réglementation en vigueur (réduction d'un facteur 100 depuis 40 ans).

Les émissions d'oxydes d'azote (NO_x), générées par la combustion à très haute température dans les fours et réglementées de façon toujours plus strictes ont diminué de 25% ces dix dernières années. Elles ne représentent plus aujourd'hui que 1,5% des émissions totales françaises de ce gaz et respectent largement les nouvelles limitations. Quant au dioxyde de soufre (SO₂), l'industrie cimentière a réduit ses émissions de trois quarts entre 1990 et 2003. Dans la majorité des cimenteries ces émissions n'ont désormais aucun impact environnemental significatif.

Les métaux lourds non-volatiles sont quant à eux capturés dans la structure chimique du clinker lors de sa production et ne s'en échappent plus.

Toutes les cimenteries françaises sont équipées de systèmes de contrôle permettant de piloter et de suivre le fonctionnement des installations avec une parfaite traçabilité. Les émissions de gaz sont mesurées et analysées en permanence et les résultats de ce contrôle continu sont régulièrement communiqués aux DRIRE.

○ La valorisation matière

Traditionnellement, l'industrie cimentière utilise des matières premières abondantes sur la planète, extraites dans des carrières (80% de calcaire et 20% d'argile) pour fabriquer les ciments.

La "valorisation matière" permet de minimiser la consommation de matières premières naturelles non renouvelables pour la production des ciments.

L'utilisation des matériaux de substitution (sous produits d'autres secteurs d'activités) comme matières premières ou en substituts pour la formulation de ciments composés sans transfert de pollution permet

de réduire la quantité de clinker à produire. Ces ajouts permettent aussi de conférer à certains ciments des propriétés particulières.

Il est par exemple possible d'utiliser des cendres volantes (issues des centrales thermiques), des laitiers de hauts fourneaux, du gypse de désulfuration, des boues d'alumine et des fumées de silice.

Cette "valorisation matière", démarche engagée par l'industrie cimentière depuis plusieurs dizaines d'années se fait de façon rigoureuse. Une charte profession a été adoptée et des procédures d'acceptation d'un nouveau co-produit industriel, établies pour toutes les cimenteries.

Pour la composition des ciments, différents types de produits normalisés issus d'autres procédés industriels peuvent se substituer au clinker :

- le laitier de haut-fourneaux : co-produit de la sidérurgie dont la production mondiale annuelle est estimée à 10% de celle de ciment, avec un taux potentiel de substitution pouvant aller jusqu'à 70% dans le ciment,
- les cendres volantes : co-produit des centrales électriques à charbon dont la production mondiale annuelle est estimée à 30% de celle de ciment, avec un taux potentiel de substitution pouvant aller jusqu'à 30%.

Cette valorisation de co-produits est validée sans aucun compromis pour la qualité d'usage des matériaux (propriétés des ciments et performances des bétons). Elle contribue au développement durable en réduisant les prélèvements de matières premières naturelles.

2.3. Des innovations pour l'aménagement des carrières

L'industrie cimentière travaille en concertation avec les autorités et les collectivités locales à mettre en œuvre les solutions nécessaires pour réduire au maximum les impacts, générées par l'exploitation des carrières, préserver le cadre de vie des riverains et anticiper le devenir du lieu.

Chaque ouverture ou extension de carrière est soumise à une étude d'impact environnemental préalable (faune, flore, hydrologie, archéologie, ...). Chaque carrière fait l'objet d'un plan d'exploitation et d'un plan de réaménagement pour préserver et améliorer sa valeur écologique. La carrière n'est qu'une étape dans la vie du site. Durant son exploitation, elle fait l'objet d'attentions particulières destinées à limiter les gênes et les impacts induits par l'extraction : respect des normes de protection concernant les vibrations liées au tir à l'explosif, limitation des émissions de bruits, arrosage des pistes de circulation pour réduire les poussières, utilisation de tapis roulants pour acheminer les matériaux de la carrière et diminuer ainsi le transport et les nuisances sonores, recyclage de l'eau et des boues de lavage. Toute carrière fait l'objet ensuite d'un plan de réhabilitation mis au point en concertation et en toute transparence avec les autorités locales, les élus, les associations spécialistes de la faune et de la flore et les riverains. Le site a ainsi une seconde vie, il est valorisé et bénéficie de projets générateurs d'emplois : remise en culture, reboisement, création de lacs ou de zones humides favorables aux oiseaux migrateurs, de zones de loisirs, de parcs ou de réserves naturelles, de bases nautiques, de refuges de biodiversité ou d'espèces menacées et de sites d'enfouissement de matières minérales inertes.

2.4. Des innovations sur les sites de production du béton

Les constituants des produits en béton sont abondants et essentiellement minéraux. Le ciment est acheminé sur les sites de production en priorité par voie fluviale ou ferroviaire.

Le béton est fabriqué à froid par simple mélange de ses constituants. C'est un matériau minéral, inerte physiquement et chimiquement stable. Il est entièrement recyclable et valorisable en fin de vie sous forme de granulats parfaitement inertes. Il constitue ainsi une importante source potentielle de granulats pour la fabrication de nouveaux bétons ou de nouveaux produits.

Les producteurs de Béton Prêt à l'Emploi et les producteurs de produits préfabriqués en béton ont fait porter depuis de nombreuses années leurs efforts sur la propreté de leurs sites, la réduction des rejets, le recyclage et la limitation des déchets de production.

Les procédés de fabrication sont très peu consommateurs d'énergie (fabrication à froid) grâce à des process en usine de préfabrication ou en centrale de BPE qui facilitent la maîtrise des impacts sur l'environnement et optimisent les consommations. Les éventuels rebuts du process sont recyclés en fabrication. Les excédents de béton frais sont récupérés pour en extraire les granulats qui, après lavage, peuvent être réutilisés. Les eaux chargées de laitance sont recueillies et réinjectées dans le circuit de fabrication.

La répartition homogène des matières premières et la densité du maillage des usines de produits en béton et des centrales BPE sur l'ensemble du territoire évite les surconsommations de ressources fossiles et limite les émissions atmosphériques et les impacts générés par le transport des matériaux.

Le recours privilégié à une main d'œuvre locale constitue l'une des composantes de la contribution sociale des industries du béton.

2.5. L'analyse du cycle de vie et les fiches de déclaration environnementale et sanitaire

La mise au point des produits, les choix initiaux des techniques constructives, la qualité des réalisations ont une influence directe sur la maîtrise des impacts environnementaux pendant toute la durée de service des ouvrages. Il convient désormais de s'assurer que les ressources utilisées ne seront pas prématurément épuisées, que les émissions dans l'air, dans l'eau et dans le sol à toutes les étapes du cycle de vie d'un ouvrage sont sans conséquence pour la sécurité et la santé des utilisateurs.

La qualité environnementale d'un produit ou d'un matériau et son impact sur l'environnement s'apprécient en considérant l'ensemble des étapes tout au long de son cycle de vie : depuis l'extraction des matières premières jusqu'à son recyclage en fin de vie, en passant par la production des constituants, la fabrication et la mise en œuvre des produits et l'exploitation de l'ouvrage dans lequel ils sont incorporés.

Les industries du ciment et du béton se sont engagées dans une démarche volontaire de maîtrise de l'impact environnemental et sanitaire de leurs produits basée sur les Analyses de Cycle de Vie (ACV).

Cette démarche permet :

- d'améliorer les performances environnementales et sanitaires des produits,
- de donner aux utilisateurs des indications chiffrées des impacts environnementaux du matériau dans ses utilisations,
- de permettre une évaluation environnementale et sanitaire des solutions constructives.

Des fiches de déclaration environnementale et sanitaire (FDES), réalisées conformément à la norme NF P 01-010, ont été publiées pour de nombreux produits préfabriqués et pour un mètre cube de béton prêt à l'emploi. Pour chaque produit, l'unité fonctionnelle est définie précisément et les données d'inventaires sont quantifiées. Ceci permet de définir, pour une unité fonctionnelle, les consommations en ressources naturelle énergétiques (énergie primaire, énergie récupérée, énergie renouvelable ou non), les consommations en ressources naturelles non énergétiques, les consommations d'eau, l'énergie et les matières récupérées, les émissions dans l'air, dans l'eau ou le sol et la production de déchets (leur traitement et leur élimination).

Ces fiches permettent aux prescripteurs de choisir les meilleurs produits et solutions constructives dans le cadre de projets soucieux de préserver l'environnement et les ressources naturelles. Les ouvrages peuvent ainsi être conçus et construits en tenant compte de leur impact sur l'environnement pendant toute leur durée d'utilisation.

Nota : L'ACV est un outil d'évaluation multicritère des impacts environnementaux. Elle consiste à évaluer et quantifier les entrants et les sortants (eaux, matières premières, produits, énergies, émissions, déchets) ainsi que les impacts potentiels environnementaux (modification négative ou bénéfique) d'un système de produits au cours de l'ensemble des étapes de son cycle de vie sous forme d'un bilan chiffré. Elle prend en compte la durée de service de l'ouvrage, la maintenance nécessaire et la capacité de recyclage en fin de vie.

3. DES INNOVATIONS RESPECTUEUSES DES PRINCIPES DU DEVELOPPEMENT DURABLE

3.1. Les bétons source d'innovation

Les industries productrices de ciments et de bétons gèrent leurs politiques d'investissement et leur stratégie de développement dans un souci d'efficacité économique, en respectant des impératifs sociaux et en se préoccupant constamment de la protection de l'environnement.

Depuis de nombreuses années, les axes de recherches orientés vers des problématiques environnementales permettent d'offrir des solutions fiables répondant à toutes les exigences en matière de sécurité, de confort et d'esthétique et des matériaux durables optimisant les matières premières.

Un matériau n'est donc plus conçu uniquement pour répondre à des critères économiques ou techniques. Il faut également, lors de sa conception, prendre en compte l'impact environnemental de sa fabrication et de son utilisation dans un ouvrage.

3.2. Les six principes qui guident l'innovation

Six principes fondamentaux guident la démarche d'innovation :

- Assurer la protection des milieux naturels, préserver les ressources naturelles non renouvelables,
- Minimiser les nuisances et les impacts des procédés et des matériaux sur l'environnement et sur la santé,
- Faciliter la mise en œuvre des produits sur les chantiers en améliorant les conditions de travail et la sécurité des ouvriers,
- Limiter la quantité de déchets générés,
- Développer des solutions à long cycle de vie nécessitant peu d'entretien et permettant une gestion et une maintenance aisées des ouvrages,
- Prendre en compte dès à présent les besoins et les attentes du public et des usagers et anticiper pour l'avenir.

L'offre de produits et de solutions constructives qui en découle s'inscrit dans la logique du développement durable.

3.3. Les bétons, des matériaux en constante évolution

Né avec le XX^{ème} siècle, le béton est un matériau jeune qui a connu, ces dix dernières années, une évolution considérable. Il a profité des évolutions de la chimie minérale et organique et de l'amélioration des outils de production. Les recherches sur les nouveaux bétons se sont considérablement accélérées. Elles ont abouti à des solutions innovantes tant en termes de conception, que de mise en œuvre et d'esthétisme et respectueuses de l'environnement à toutes les étapes de la vie des ouvrages.

Multiplés, les bétons offrent un éventail de solutions techniques et d'innombrables possibilités esthétiques et participent à tous les projets de Génie Civil dans des applications aussi diversifiées que les ouvrages d'art, les tunnels, les écrans acoustiques, les ouvrages de soutènement, les réseaux d'assainissement, les ouvrages de prévention contre les inondations...

Les bétons s'adaptent désormais aux exigences des concepteurs, aux contraintes des chantiers, aux agressions climatiques et aux attentes des utilisateurs dans le respect de l'homme et de son environnement. Les propriétés des bétons sont adaptables pour répondre à des utilisations de plus en plus diversifiées, à des résistances toujours plus importantes, à des contraintes esthétiques, à des exigences de mise en œuvre.

- **Rhéologie des bétons frais** - Il est possible d'obtenir des bétons très fluides (béton autoplaçant), pompables sur de longues distances, ...
- **Propriétés mécaniques** - Résistance à la compression, résistance au très jeune âge, résistance en traction, aptitude à résister à la fissuration, ...
- **Durabilité** liée à l'évolution interne du matériau et durabilité liée aux agressions externes dues à l'environnement,
- **Aspects esthétiques** microrugosité de surface, teinte, texture, aptitude aux traitements de surface.

Les avancées spectaculaires en matière de formulation issues des recherches sur l'optimisation des empilements granulaires et les mécanismes de floculation ont permis de bouleverser les connaissances sur la rhéologie des bétons frais et la durabilité des bétons durcis. Elles ont débouché sur la mise au point d'une gamme de bétons aux performances nouvelles, tels que, par exemple, les "BHP", bétons très compacts utilisés pour leurs résistances élevées aussi bien à court terme qu'à long terme, leur très faible porosité, qualités garantes d'une durabilité exceptionnelle.

Les travaux menés sur l'ouvrabilité des bétons ont permis la mise au point des bétons "autoplaçants". Cette nouvelle famille de bétons a été développée afin d'obtenir un matériau facile à mettre en œuvre, sans faire appel à la vibration, ce qui présente de nombreux avantages sur les chantiers et dans les usines de préfabrication, tant au niveau de la sécurité que de la diminution des nuisances sonores et de l'amélioration des conditions de travail.

Les BFUP (bétons fibrés à ultra-hautes performances), aux propriétés mécaniques et à la durabilité extraordinaires, permettent de laisser libre cours à l'imagination des architectes pour concevoir de nouvelles structures.

Les BHP, les BAP et les BFUP sont les bétons de demain. D'ici 10 ans, ils seront utilisés sur la grande majorité des chantiers car leur intérêt ne réside pas uniquement dans leurs performances mécaniques ou physiques, leurs atouts sont aussi d'ordre social (amélioration des conditions de travail sur chantier et en usine de préfabrication, réduction de la pénibilité et des accidents) et environnemental (forte réduction des nuisances pour les riverains).

Les nouvelles performances des bétons répondent :

- aux nouvelles exigences des normes européennes qui mettent en valeur l'importance de la **durabilité des ouvrages** ;
- aux besoins des maîtres d'ouvrage vis-à-vis de la **gestion durable du patrimoine** ;
- à la nécessité des gestionnaires d'ouvrages de limiter les coûts de maintenance et de réparations et de réduire les gênes aux usagers ;
- aux demandes croissantes de nos concitoyens pour l'amélioration de leur **cadre de vie** et de leur **sécurité**.

4. DES PRODUITS INNOVANTS

Les nouveaux bétons sont les matériaux de la modernité, fruits de l'innovation. Ils permettent de révolutionner les techniques et les méthodes de construction et de concevoir des ouvrages pérennes, esthétiques et en harmonie avec le concept de développement durable en utilisant moins de ressources naturelles pour une même fonctionnalité.

4.1. Les bétons autoplaçants

Les bétons autoplaçants (BAP), bétons mis en œuvre sans vibration, constituent l'une des plus importantes innovations de la dernière décennie en matière de construction.

Sur les chantiers comme dans les usines de préfabrication, ces bétons offrent de multiples avantages, liés à leurs caractéristiques exceptionnelles d'écoulement et de remplissage des coffrages :

- facilité de mise en œuvre (en général par pompage),
- atténuation des nuisances sonores (pour les ouvriers et les riverains),
- amélioration des conditions de travail, de la pénibilité et de la sécurité des ouvriers,
- réduction des temps de bétonnage et des délais de réalisation des chantiers,
- amélioration de la productivité,
- amélioration de l'esthétique et de la qualité des parements.

Les BAP sont la réponse à l'évolution :

- des exigences techniques et esthétiques des maîtres d'ouvrage, des maîtres d'œuvre et des architectes,
- des contraintes économiques des entreprises (amélioration de la productivité des chantiers),
- des soucis d'amélioration des conditions de travail et de sécurité sur les chantiers,
- des préoccupations environnementales (limitation des nuisances sonores et vibratoires).

Les BAP affirment leurs performances au fil des chantiers et s'imposent progressivement. Ils remplaceront dans les prochaines années, pour un très grand nombre d'applications, les bétons mis en œuvre par

vibration. Mais ils doivent être appréhendés dans le cadre d'une démarche globale prenant en compte les gains potentiels sur l'ensemble du cycle de réalisation des ouvrages : énergie consommée au cours de la mise en œuvre, réduction des nuisances sonores, diminution de la pénibilité des tâches d'exécution, ...

4.2. Les bétons fibrés à ultra-hautes performances

Les bétons fibrés à ultra-hautes performances (BFUP) sont des matériaux à matrice cimentaire renforcés par des fibres.

Ils offrent des performances exceptionnelles :

- une très grande ouvrabilité,
- de hautes résistances à court terme,
- des résistances caractéristiques à la compression à 28 jours très élevées comprises entre 150 et 250 MPa,
- des hautes résistances en traction,
- une ductilité importante et une ténacité élevée,
- un retrait et un fluage très faible,
- une compacité très importante et une faible perméabilité,
- une grande résistance à l'abrasion et aux chocs,
- des aspects de parements particulièrement esthétiques et une texture de parement très fine,
- une durabilité exceptionnelle.

Les BFUP ouvrent de grandes perspectives d'applications pour les ouvrages nécessitant résistances importantes, durabilité et esthétisme.

Ils répondent aux évolutions majeures de la construction en permettant d'optimiser les dimensionnements (augmentation des portées, réduction des quantités de matériaux utilisés), de réduire les coûts globaux des ouvrages et d'améliorer l'esthétique des parements et la pérennité des structures.

Ils satisfont les exigences et tendances actuelles du secteur de la construction visant à réduire les impacts du chantier et de l'ouvrage sur l'environnement tout en améliorant la sécurité et les conditions de travail des ouvriers.

4.3. Les bétons armés d'inox

Les armatures inox constituent une avancée technologique très intéressante en terme de gestion préventive des ouvrages.

La substitution (partielle ou totale) des aciers au carbone par des armatures inox s'impose :

- pour des ouvrages exposés à des risques de corrosion,
- pour augmenter la durée de service des ouvrages,
- pour réduire la maintenance et l'entretien des structures.

Les armatures inox présentent des atouts :

- **au niveau du dimensionnement :**
 - optimisation du volume de béton (enrobage réduit),
 - optimisation de la quantité d'armatures (performances mécaniques supérieures des inox),
 - optimisation du poids des produits préfabriqués en béton ;
- **en phase de service :**
 - réduction de la maintenance,
 - réduction des frais d'exploitation ;

○ pendant la vie de l'ouvrage :

- pérennité architecturale - les parements, conservent durant toute la durée de service de l'ouvrage un aspect homogène sans altération.

4.4. Les bétons de bois

Les bétons de bois sont constitués de fibres de bois enrobés dans une matrice cimentaire (éventuellement teintés dans la masse par des pigments). Leurs performances (grande porosité) leur confèrent une grande efficacité pour l'absorption de l'énergie sonore.

Ils sont utilisés pour la réalisation d'écrans acoustiques de type absorbants. La variété des textures, des teintes et des formes permet une offre très diversifiée :

- panneaux appliqués sur support béton armé,
- dalles habillant les parois pour la réalisation d'ouvrages neufs,
- dalles ou dallettes habillant les parois pour améliorer les performances d'ouvrages existants réfléchissants,
- panneaux autoportants formant écran,
- dalles habillant les extrémités de tunnels ou de tranchées couvertes.

4.5. Les bétons autonettoyants

Ces bétons fonctionnent selon le principe de la photocatalyse :

- action combinée de la lumière et d'un catalyseur, le dioxyde de titane (TiO₂),
- dégradation par oxydation des composés organiques,
- décollement des salissures organiques au contact du parement, lavage et évacuation par l'eau de pluie.

Ils offrent une solution particulièrement adaptée pour maîtriser la pérennité esthétique des parements architectoniques en béton.

4.6. Les bétons dépolluants

Le procédé est basé sur la réaction de la photocatalyse des oxydes d'azote avec le dioxyde de titane (TiO₂). Il permet de réduire les impacts de la pollution atmosphérique en éliminant les molécules de polluants.

En effet, le dioxyde de titane (TiO₂) incorporé au béton transforme, sous l'action des ultraviolets, les oxydes d'azote (NO_x) en composés azotés stables et non toxiques, élimine l'ozone et dégrade les composés organiques volatiles (COV).

Cette solution est particulièrement adaptée aux écrans acoustiques ou aux parements de tranchées couvertes et aux entrées de tunnels.

5. DES SOLUTIONS TECHNIQUES INNOVANTES

Façonner l'espace, relier les hommes, leur apporter protection et sécurité dans le respect de l'environnement, créer un cadre de vie agréable et accueillant, telle est le défi relevé par le matériau béton et ses extraordinaires possibilités au service des architectes et des ingénieurs.

Toujours plus innovants, le béton, matériau aux multiples facettes ne cesse d'offrir de nouvelles solutions constructives qui répondent aux enjeux de la construction et de l'aménagement et accompagnent les évolutions de notre société en alliant compétitivité économique, durabilité, esthétisme et respect de l'environnement.

5.1. Des solutions pour des chantiers à faibles impacts

Un chantier est source de quelques nuisances locales (bruit, vibration, trafic de véhicules, ...) ou plus globales (production de déchets, consommation de ressources et d'énergie, ...). L'optimisation de sa durée ou de ses impacts acoustiques est donc un des éléments importants sur le plan environnemental. Les

nouveaux bétons et les nouvelles techniques de mise en œuvre permettent de réduire les nuisances sur les chantiers.

Deux solutions :

- **les produits préfabriqués en béton**

Les produits fabriqués en béton simplifient les opérations de mise en œuvre sur les chantiers, réduisent les délais d'exécution et limitent les impacts liés à la production sur le site. L'utilisation de produits finis réduit sensiblement les nuisances sonores et limite la production de déchets. Les déchets sont traités au niveau de l'usine de préfabrication et les impacts sonores sont maîtrisés en usine. Les chantiers sont ainsi plus propres et plus silencieux.

- **les bétons autoplaçants**

La mise en œuvre des bétons sans vibration réduit considérablement l'impact acoustique des chantiers.

5.2. Des solutions qui préservent l'eau

Le béton est présent durablement sur l'ensemble du parcours et du cycle de l'eau :

- pour la collecte et le transport des eaux usées et pluviales (tuyaux d'assainissement, structures réservoirs, caniveaux, ...),
- pour le stockage (réservoirs d'eau, châteaux d'eau, barrages, ...)
- pour le traitement et l'épuration (station d'épuration, séparateur, bassins de décantation, ...)

Les ouvrages d'assainissement en béton permettent de respecter les exigences de la loi sur l'eau et son obligation de recueillir, puis de filtrer les eaux de ruissellement avant de les rejeter dans l'environnement. Les performances mécaniques et la résistance aux diverses agressions chimiques du béton en font, par exemple, le matériau de référence pour la construction d'usine de traitement des eaux (sa formulation pouvant être adaptée à la nature agressive des effluents collectés puis traités).

Lors de fortes pluies d'orage, les réseaux d'assainissement couplés à des structures réservoirs en béton absorbent les eaux précipitées, les stockent temporairement puis les restituent au réseau avec un débit contrôlé. Les ouvrages hydrauliques permettent de protéger l'environnement en canalisant les eaux de ruissellement polluées puis en les traitant avant de les libérer pour qu'elles alimentent les nappes phréatiques.

La capacité hydraulique, l'étanchéité, la résistance structurelle, la pérennité des solutions béton sont autant d'atouts pour éviter tout risque de contamination des sols, des eaux souterraines, des nappes phréatiques et des milieux naturels. La stabilité de la structure minérale du béton en fait un matériau inerte sûr et sain, particulièrement adapté au transport et au stockage de l'eau.

5.3. Des solutions qui résistent aux milieux agressifs

Les bétons utilisés par exemple pour la réalisation de piles de pont ou de structures maritimes, avec des compositions adaptées leur procurant des caractéristiques spécifiques, résistent durablement aux environnements agressifs auxquels ils sont soumis. Ils résistent aussi à des conditions climatiques sévères (cycle de gel/dégel) et à l'action des sels de déverglaçage.

Par nature incombustible, ils résistent au feu et donc assurent la stabilité des structures en cas d'incendie.

5.4. Des solutions qui offrent le calme

Le bruit est aujourd'hui l'une des principales préoccupations des français. La lutte contre les nuisances sonores est devenue une priorité sociale et de santé publique.

Les écrans acoustiques en béton sont la solution reconnue, par traitement à la source, particulièrement efficace, économique, esthétique et pérenne aux problèmes générés par les bruits routiers, autoroutiers et ferroviaires. Les écrans les plus utilisés sont constitués de béton de bois (mélange de ciment et de granulats de bois) qui offrent des performances acoustiques élevées en transmission, en absorption et en diffraction.

La variété des textures, des teintes et des formes du béton permet un traitement différencié entre les deux faces de l'écran (face riverain et face source de bruit) et une parfaite intégration architecturale des écrans dans leur site d'accueil.

5.5. Des solutions qui embellissent notre cadre de vie

Les bétons sont devenus les matériaux essentiels du cadre de vie pour le confort et le bien-être de tous.

Les performances techniques, les qualités esthétiques et les possibilités créatives qu'ils offrent leur donnent une place de choix pour aménager les espaces urbains : places, squares, zones piétonnes, parcs de stationnement, pistes cyclables, ...

Les bétons permettent de structurer les espaces en fonction de leurs usages et de transformer les espaces publics en des lieux de rencontres et d'échanges, où tous les usagers (piétons, automobilistes, cyclistes) cohabitent en harmonie. Ils autorisent la conception d'ouvrages qui s'intègrent parfaitement dans leur environnement.

5.6. Des solutions qui respectent le patrimoine

Les multiples possibilités du béton, matériau rural et urbain, permettent de transformer et moderniser les espaces publics, de revitaliser les centres anciens, de mettre en valeur les monuments historiques et d'embellir les projets architecturaux contemporains.

L'utilisation de granulats locaux pour la confection des bétons facilite l'intégration des nouveaux aménagements et ouvrages avec le bâti environnant.

5.7. Des solutions qui pulvérisent les records

L'histoire du béton est illustrée par la construction d'ouvrages hors du commun.

Ses performances exceptionnelles lui permettent de pulvériser régulièrement des records comme en témoignent par exemple le pont de Normandie et les piles du viaduc de Millau.

Ses qualités en font le matériau de tous les possibles en matière de construction de grands ouvrages. Les BFUP permettent désormais de concevoir de nouveaux ouvrages avec encore plus d'audace, pour relever de nouveaux défis.

5.8. Des solutions qui accompagnent et stimulent la création architecturale

Les bétons armés ou précontraints, préfabriqués ou coulés en place concrétisent grâce à leurs performances multiples, leurs capacités d'adaptation et leur faculté d'intégration les réalisations du quotidien, comme les projets les plus audacieux au service des hommes et de la société. Ils offrent un éventail de solutions constructives qui répondent aux exigences nouvelles et à toutes les aspirations.

Les réalisations contemporaines en béton défient le temps qu'il fait et le temps qui passe. Elles témoignent des avantages tant techniques qu'esthétiques du béton dans le respect de l'environnement, de la santé et de la sécurité. Elles embellissent le patrimoine que nous léguons aux générations futures.