

CHIMIE DANS LA VILLE



« La Ville est le plus grand système artificiel créé par l'Homme. On peut traiter la Ville comme un système vivant (le métabolisme urbain). Les chimistes sont au cœur des nouvelles manières de rendre vivant et puissant le métabolisme urbain à l'échelle de nos territoires ».

Carlos MORENO – La chimie et les grandes villes – Maison de la Chimie – 9 novembre 2016

CHIMIE DANS LA VILLE



Visibles ou invisibles, les réalisations de l'Industrie chimique sont innombrables dans la Ville. Le dossier qui vous est proposé ne montre que quelques exemples simplifiés que vous pouvez compléter par vos connaissances personnelles.

1- LA CHIMIE DANS LES BATIMENTS ET TRAVAUX PUBLICS

- 1-1 LES CHAUX HYDRAULIQUES NATURELLES
- 1-2 LE CIMENT
- 1-3 LE BETON
- 1-4 LES PEINTURES
- 1-5 LE COIL COATING (TOLES PREPEINTES)
- 1-6 ISOLATION DES BATIMENTS
- 1-7 LES MATERIAUX DE REVETEMENT DES CHAUSSEES
- 1-8 LES MATERIAUX DE COUVERTURE DES BATIMENTS
- 1-9 LA PISTE D'ATHLETISME

2- LES RESEAUX DE DISTRIBUTION (exemples)

- 21- LES CABLES A HAUTE TENSION SOUTERRAINS
- 22- LE RESEAU DE FROID URBAIN
- 23- LA FIBRE OPTIQUE

3- L'AUTOMOBILE DANS LA VILLE

- 31- AUJOURD'HUI
- 32- DEMAIN ?

Thème de l'exposé

Les Olympiades internationales de Chimie seront organisées en juillet 2019 à Paris. A cette occasion et compte tenu de votre grande notoriété, vous avez été contacté(e) par une revue d'urbanisme et d'architecture qui souhaite faire un article sur « La Chimie dans la Ville ».

Vous présenterez aux journalistes venus vous interviewer, des éléments concrets pour rédiger leurs articles et vous vous efforcerez de les convaincre de l'importance de la chimie dans l'environnement urbain.

Durée de votre intervention : 15 minutes. Des questions seront posées par l'auditoire.

1- LA CHIMIE DANS LES BATIMENTS ET TRAVAUX PUBLICS

1-1 LES CHAUX HYDRAULIQUES NATURELLES

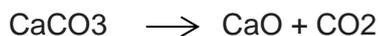
1.1.1 Rappel historique

Les chaux sont utilisées depuis des millénaires. Les Chinois, les Égyptiens, les Mayas ont construit des édifices durables avec des mortiers à base de chaux à caractère hydraulique, obtenues par cuisson des calcaires locaux. Plus près de nous, les Romains ont utilisé les mêmes procédés pour construire des ouvrages et des bâtiments qui font partie de notre patrimoine.

1.1.2 - Qu'est-ce que la chaux hydraulique naturelle ?

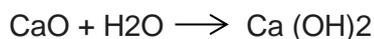
La chaux hydraulique naturelle est obtenue par calcination, à une température supérieure à 900 °C, de roches calcaires qui contiennent des éléments siliceux et alumineux. Au cours de la calcination, il se forme simultanément :

– de l'oxyde de calcium (chaux vive) provenant de la décomposition du carbonate de calcium, constituant principal du calcaire:



Carbonate de calcium → oxyde de calcium + gaz carbonique

– des silicates et des aluminates de calcium provenant de la combinaison d'une partie de la chaux vive avec les éléments siliceux et alumineux. À l'issue de la calcination, les chaux sont hydratées pour éteindre la chaux vive non combinée :



Cette réaction s'accompagne d'un fort dégagement de chaleur et provoque la pulvérisation du produit.

Les chaux éteintes sont généralement broyées. Les silicates et les aluminates de calcium leur donnent la propriété de faire prise et même de **durcir sous l'eau**. C'est à cette propriété qu'elles doivent leur désignation « chaux hydrauliques naturelles ». Elles durcissent également à l'air par carbonatation lente.

Selon la roche ou le constituant d'origine et le traitement subi, on obtient différents types de chaux.

1.1.3 - La fabrication des chaux hydrauliques naturelles

La matière première

La roche calcaire est extraite de carrières à ciel ouvert ou souterraines. Après abattage, elle est concassée et criblée.

La cuisson

La cuisson s'effectue en général dans des fours verticaux à marche continue, dans lesquels sont introduits dans la partie supérieure la pierre calcaire et le combustible. La matière descend lentement, en traversant d'abord une zone de préchauffage, provoquant l'évaporation de l'eau libre et la déshydratation (vers 200 °C). Elle traverse ensuite une zone de calcination où elle est décarbonatée (à partir de 900 °C).

La zone de cuisson proprement dite, où se forment les silicates et aluminates de calcium, se situe à une température variant entre 1000 °C et 1200 °C selon la qualité de chaux recherchée.

L'extinction

La chaux recueillie à la sortie du four passe alors par une extinction contrôlée où, sous l'action de l'eau, la pierre se pulvérise et la chaux vive est éteinte complètement.

Le broyage

Le matériau obtenu est généralement broyé, avec ou sans addition d'autres constituants.



Photo Google Earth

La plus grande unité de production de chaux en Europe se trouve en Allemagne à Flandersbach (région de Düsseldorf) et appartient à la société Rheinkalt GmbH.

1.1.4 - Les emplois des chaux hydrauliques naturelles

Les mortiers de chaux hydraulique naturelle trouvent leurs applications essentiellement dans le bâtiment, où leurs qualités sont appréciées pour les enduits, les menus ouvrages en maçonnerie, la pose de carrelages anciens, le jointoiement et la consolidation de murs, les badigeons et d'une façon générale, pour les travaux de restauration.

Source : Centre d'information sur le ciment et ses applications.

1-2 LE CIMENT

Le ciment est un liant hydraulique, au même titre que la chaux : **mélangé à de l'eau, il durcit et prend en masse**. Après durcissement, les liants hydrauliques conservent leur résistance, ainsi que leur stabilité, même exposés à l'eau.

Le ciment ne prit son acception contemporaine qu'au XIX^e siècle :

- En 1759, l'Anglais John Smeaton produit un mortier aussi dur que de la pierre en mélangeant des chaux hydrauliques et des cendres volcaniques.
- En 1817, le Français Louis Vicat découvre les principes chimiques des ciments et définit les règles de fabrication du ciment hydraulique. Il est considéré comme l'inventeur du ciment moderne.
- En 1824, l'Écossais Joseph Aspdin fait breveter le ciment « Portland », obtenu à partir d'un procédé de calcination combinant la cuisson de calcaire et d'argile dans des fours alimentés au charbon.
- Dès la fin du XIX^e siècle, le béton moderne devient un matériau de construction largement répandu.

COMPOSITION

La composition de base des ciments actuels est un mélange de silicates et d'aluminates de calcium résultant de la combinaison de la chaux (CaO) avec de la silice (SiO₂), de l'alumine (Al₂O₃), et de l'oxyde de fer (Fe₂O₃). La chaux indispensable est apportée par des roches calcaires, l'alumine, la silice et l'oxyde de fer par des argiles. Les matériaux se trouvent dans la nature sous forme de calcaire, argile ou marne et contiennent, en plus des oxydes déjà mentionnés, d'autres oxydes et surtout Fe₂O₂, l'oxyde ferrique.

La composition classique du ciment est de 80 % de calcaire et 20 % d'argile. Les deux éléments sont broyés, cuits à très haute température, puis le résultat (clinker) est à nouveau broyé. Lors du broyage du clinker, **des ajouts peuvent être faits** pour optimiser les caractéristiques de prise et **les caractéristiques mécaniques** du ciment (et par conséquent les caractéristiques du béton lorsque le ciment est utilisé dans sa fabrication).

Lors de la dernière étape de fabrication du ciment, des matières minérales peuvent être utilisées en proportion variable. Ces « ajouts cimentaires » permettent d'obtenir **une gamme de ciments aux propriétés spécifiques**.

1-3 LE BETON

HISTORIQUE

L'ingénieur Bélidor, auteur de L'architecture hydraulique (1737) étudia la composition du béton et introduisit le mot béton dans son sens actuel.

C'est en fait le mariage ciment-métal, appelé ciment armé, puis béton armé, qui va donner au béton son plein essor. Le premier exemple est la barque de Joseph Lambot (1848), le plus significatif, l'immeuble Hennebique à Paris (1898).



Premier immeuble en béton armé de Paris, 1 rue Danton (6ème). Ingénieur François Hennebique.

Au XXe siècle, le béton se développera considérablement et, parallèlement, l'évolution de ses techniques : usage croissant des adjuvants, béton prêt à l'emploi, matériel de mise en œuvre, mise au point du béton précontraint par Freyssinet. Plus récemment, les progrès réalisés dans les

bétons de hautes performances lui donnent ses lettres de noblesse dans le bâtiment, avec une réalisation comme l'Arche de la Défense, ou en génie civil : pont de l'Île de Ré, pont de l'Iroise, pont de Normandie, viaduc de Millau.

QU'EST-CE QUE LE BETON ?

Le béton est un mélange de plusieurs composants : ciment, eau, granulats et le plus souvent, adjuvants qui constituent un ensemble homogène. Les composants sont très différents : leurs masses volumiques vont, dans les bétons courants, de 1 (eau) à 3 (ciment) t/m³; les dimensions de leurs grains s'échelonnent de 0,5 µm (grains les plus fins du ciment) à 25 mm (gravillons). Dans les bétons où une très grande compacité est recherchée (tels que les Bétons à Hautes Performances, par exemple), la dimension des éléments les plus fins peut descendre en dessous de 0,1 µm (fillers, fumée de silice).

Les granulats sont des éléments inertes composés de roches carbonatés (CaCO₃, MgCO₃, CaMg(CO₃)₂) ou siliceuses (SiO₂) qu'on ajoute à un liant pour former une pierre artificielle. Ils constituent dans les conditions normales, le squelette du béton, lui conférant sa compacité et participant à sa résistance mécanique.

La pâte (ciment + eau), élément actif du béton enrobe les granulats. L'objectif est de remplir les vides existants entre les grains. La pâte joue à l'état frais le rôle de lubrifiant et de colle à l'état durci.

Les **adjuvants chimiques** sont de plus en plus utilisés. Ils améliorent les propriétés des bétons auxquels ils sont ajoutés.

Par exemple, l'emploi des plastifiants-réducteurs d'eau et des super plastifiants facilite la mise en place du béton dans les pièces minces fortement armées, ainsi que la réalisation des Bétons à Hautes Performances. Les accélérateurs de prise facilitent le bétonnage par temps froid, tandis que les retardateurs de prise sont utiles pour le bétonnage par temps chaud.

Bon à savoir : chimie et dégradation du béton armé.

Les romains avaient inventé l'ancêtre du béton. Certains de leurs monuments ont plus de 2000 ans...Le béton moderne n'est peut-être pas aussi solide ! Le béton armé contient plus d'eau et est moins compact ce qui crée plus de poches d'air et de fissures.

L'alcalinité élevée du béton assure la protection chimique en recouvrant, selon le phénomène de passivation, les armatures d'un film extrêmement mince d'hydroxyde de fer. Avec le temps, cet environnement perd de son alcalinité. En présence d'eau et d'oxygène, le film protecteur est détruit par différents agents tels que les chlorures, le dioxyde de carbone etc.

La corrosion peut donc apparaître avec comme conséquences la réduction des sections d'acier et formation de rouille, dont le volume, aux moins deux fois supérieur à celui du fer initial, entraînera des fissurations du béton qui accéléreront le processus de corrosion en facilitant la diffusion de l'oxygène et des espèces corrosives (voir photo ci-après).

Poutre de tablier de pont fissurée



1-4 LES PEINTURES

Une peinture est un matériau liquide ou pulvérulent qui, après application en couche mince sur un support, donne, par un processus physique ou chimique, un film mince adhérent protecteur et/ou décoratif.

Les peintures contiennent pratiquement toujours un ou plusieurs liants (filmogènes ou non), le plus souvent des solvants (éventuellement de l'eau), mais aussi des pigments et divers additifs.

- Le liant apporte ses principales propriétés au revêtement. Les peintures sont d'ailleurs classées d'après la nature chimique de leur liant qui est le constituant le plus important.
- Les solvants donnent leur fluidité à la peinture pour permettre la fabrication et l'application. Leur élimination totale permet la formation du film.
- Les additifs modifient certaines propriétés de la peinture ou en apportent de nouvelles (additifs anti-mousse, anti-nuançage, absorbeur UV, fongicide, siccatif, etc...).
- Les matières pulvérulentes :
 - o Les pigments apportent des propriétés optiques (opacité, couleur) ou des propriétés spécifiques (anticorrosion, résistance au feu...).
 - o Les matières de charge jouent souvent un rôle plus simple (renforcement mécanique, contrôle du brillant...).

On classe les peintures selon leur liant principal :

- **Liants naturels** : huiles siccatives naturelles ou gommés produits par des résineux. Très anciennement utilisés, ils sont aujourd'hui employés pour la restauration des peintures et des meubles anciens.
- **Liants dérivés du caoutchouc** : obtenus par modification chimique du caoutchouc naturel (chloration ou traitement thermique). Produits offrant une excellente résistance à l'eau et utilisés en milieu corrosif ou marin.
- **Liants vinyliques et acryliques (Ex : polychlorures de vinyle et polyméthacrylate de méthyle PMMA)** : le choix des monomères permet de s'adapter aux performances recherchées (les dérivés acryliques ont une meilleure stabilité que les dérivés vinyliques). Liants utilisés principalement pour les peintures en dispersion aqueuse.
- **Liants alkydes (glycérophtaliques)** : obtenus à partir d'huiles naturelles plus ou moins modifiées par d'autres substances. Liants durcissant à température ambiante sous l'action du dioxygène ou à chaud par réaction avec d'autres résines.
- **Liants polyesters** : obtenus par réaction entre des polyacides et des polyalcools ne contenant pas de dérivés d'huiles naturelles. Liants durcissant par polycondensation interne.

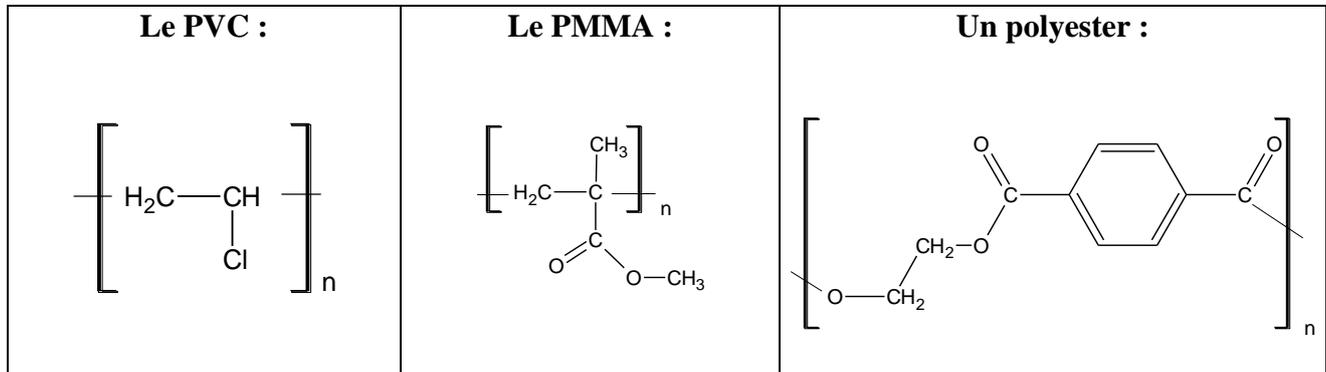
La formation d'un film de peinture continu et adhérent se fait dans un premier temps par un phénomène physique (départ de solvant, fusion d'une poudre) suivi ou non d'une réaction chimique apportant insolubilité du film dans l'eau ou les solvants et le développement des propriétés mécaniques et chimiques du revêtement.

RAPPEL DE QUELQUES DEFINITIONS

PIGMENTS Substances généralement en poudre fine à l'état sec, pratiquement insolubles dans les milieux de suspension usuels, utilisées en raison de certaines de leurs caractéristiques, essentiellement de leur pouvoir opacifiant élevé et accessoirement de leur pouvoir colorant.

LIANT Partie non volatile de la phase liquide des vernis, peintures et préparations assimilées.

SOLVANT Constituant liquide, simple ou mixte, volatile dans les conditions normales d'utilisation, ayant la propriété de solubiliser totalement le liant.



Sources : XXIème OLYMPIADES NATIONALES DE LA CHIMIE (épreuves régionales de l'Académie de Grenoble)

UN EXEMPLE DE PEINTURE POUR FAÇADES : LA PEINTURE SILOXANE

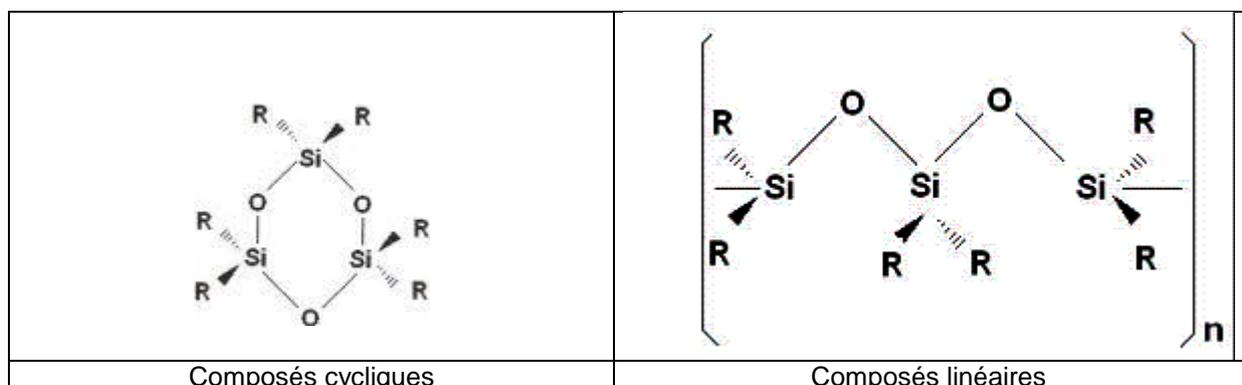
Cette peinture tient son nom de la résine siloxane qui la compose ajoutée à des pigments et différents additifs. Le mot siloxane est dérivé de Silicium, Oxygène et alkane.

Ces composés sont formés de chaînes silicium-oxygène (Si - O) où des groupements organiques viennent se lier aux atomes de silice.

La famille des siloxanes comporte un grand nombre de composés se classant en deux grands groupes résultant de leurs structures:

- les composés cycliques, pour lesquels les liaisons Si-O forment un cycle à l'image des cycles aromatiques (sans double liaison).
- les composés linéaires pour lesquels les liaisons Si-O forment une chaîne plus ou moins longue.

La figure suivante présente un exemple de ces deux types de structure :



Les chaînes organiques confèrent au composé des propriétés hydrophobes alors que la chaîne principale -Si-O-Si-O- est purement inorganique.

Ses caractéristiques :

Il s'agit d'une peinture hydrofuge, qui a donc pour caractéristique principale de résister à l'humidité. Elle est également réputée pour sa grande longévité (plusieurs dizaines d'années de résistance aux intempéries).

La peinture siloxane a deux effets principaux, qui justifient son application :

- Elle est hydrofuge : cette peinture a un effet perlant. Cela signifie que l'eau de pluie n'est pas absorbée dans la peinture, mais forme des gouttes (perles) qui s'écoulent le long de la façade.
- Elle est respirante : perméable à la vapeur d'eau, cette peinture laisse respirer le support et évite les problèmes d'humidité (algues, champignons, etc.).

À savoir : cette peinture est particulièrement recommandée pour les façades exposées à des conditions climatiques extrêmes (par exemple en bord de mer).

1-5 LE COIL COATING (TOLES PREPEINTES)



Les façades des immeubles d'habitation ou industriels (le bardage) peuvent être constituées par des tôles d'acier ou d'aluminium prépeintes.

Les bandes métalliques sont fabriquées en continu et subissent différents traitements chimiques (par exemple : dégraissage alcalin, dérochage acide, protection anti corrosion par conversion chimique, passivation). Ces procédés permettent une meilleure accroche de la peinture, une déformation à froid sans fissuration de surface, une bonne tenue aux intempéries.



1-6 ISOLATION DES BATIMENTS

Rappel : le chauffage est le premier poste de consommation énergétique dans le bâtiment : 70 % de la consommation finale provient du gaz et des produits pétroliers. Dans ce contexte, le parc de logements est très peu efficace sur le plan énergétique.

« La performance énergétique constitue un axe majeur dans les stratégies de recherche et de développement du secteur. Par exemple, les performances de l'isolant le plus couramment utilisé en Europe, la **laine de verre**, ont été améliorées de 20% en à peine une dizaine d'années, avec des garanties encore accrues en termes de santé et de protection de l'environnement. Le liant à base de ressources renouvelables pour laine minérale d'isolation développé par Isover a ainsi reçu le prix Pierre Potier en 2014. Des matériaux et des systèmes nouveaux apparaissent régulièrement : c'est le cas des aérogels opaques, des aérogels de silice, des isolants sous vide ou des verres électrochromes, pour le moment réservés à des applications de pointe, mais qui sont appelés à se démocratiser. »

Références : François Michel, La discrète révolution de la performance énergétique des bâtiments, ParisTech review, Mai 2016.

Des isolants déjà utilisés dans l'électroménager font leur apparition dans le bâtiment : aérogels de silice (voir ci-après), panneaux sous vide. Leurs propriétés isolantes sont 2 à 8 fois supérieures à la laine de verre.

La conductivité thermique est la grandeur physique qui caractérise l'aptitude d'un corps à conduire la chaleur. Elle est symbolisée par la lettre grecque λ (lambda). La conduction thermique est le mode de transfert de chaleur associée à cette grandeur.

Plus la conductivité thermique d'un matériau est élevée, plus celui-ci conduit la chaleur, et donc moins il est isolant. Dans le système international d'unités, la conductivité thermique est exprimée en watts par mètre par kelvin ($\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$). La conductivité thermique dépend principalement de la nature du matériau et de la température mais d'autres paramètres tels que l'humidité et la pression interviennent également.

Quand la température augmente, un isolant perd de sa capacité d'isolation et, à l'inverse, un conducteur perd de sa capacité de conduction.

Exemples:

(données approchées – Température ambiante = 20 °C)

MATERIAUX	CONDUCTIVITE THERMIQUE ($\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$)
Acier inoxydable	26
Aluminium	237
Zinc	116
Brique	0,84
Bois de chêne	0,16
Béton	0,92
Laine de verre	0,030 – 0,040
Air	0,0262

L'Aérogel de silice : le super isolant de demain ?

•L'aérogel de silice est un matériau exceptionnel issu de nombreuses années de recherche. Il s'agit actuellement du meilleur matériau d'isolation thermique ($\lambda = 0,012 - 0,015$). Composé d'une structure de silice amorphe très légère, il contient plus de 95% d'air capturé dans des pores de taille nanométrique. Cette structure aérienne lui confère la plus faible conductivité thermique connue à ce jour.

•L'aérogel de silice est fabriqué à partir de silice amorphe, cette dernière représente 24% de la composition de la croûte terrestre.

Ses performances sont exceptionnelles pour l'isolation thermique, acoustique, de résistance au feu et d'hydrophobie.

Source : ENERSENS



1-7 LES MATERIAUX DE REVETEMENT DES CHAUSSEES

Les enrobés

Un enrobé est un mélange de graviers, de sables, de **liant**, appliqués en une ou plusieurs couches, pour constituer le revêtement des chaussées, des trottoirs, des zones de stationnement...

Le **bitume** utilisé comme liant dans la construction routière provient à environ 90 % des déchets de la production de carburant lors du raffinage du pétrole.

Selon leur origine et leur mode de fabrication, les bitumes sont des mélanges complexes de composés hydrocarbonés de structures chimiques et de masses molaires très diverses. Ils contiennent en moyenne 80 à 85 % de carbone, 10 à 15 % d'hydrogène, 2 à 3 % d'oxygène, jusqu'à 6 % de soufre et 1 % d'azote. Divers métaux sont également présents à l'état de traces, comme le nickel, le vanadium, le fer et le silicium. La présence de ces différents éléments est liée à l'origine du pétrole brut.

Durable et recyclable, le bitume est aujourd'hui le matériau de référence en construction comme en entretien de routes. L'industrie routière a, au fil des années, développé des enrobés bitumineux de plus en plus performants : enrobés acoustiques qui réduisent le bruit de roulement ; enrobés « anti-orniérants » qui permettent de supporter le trafic lourd sans déformation de la chaussée ; enrobés à haute adhérence qui permettent de réduire les distances de freinage ; enrobés colorés ; enrobés intégrant de l'oxyde de titane permettant de catalyser la transformation en nitrates des oxydes d'azote dégagés par les gaz d'échappement, etc.

Si le bitume utilisé est pur dans plus de 90% des cas, dans les 10% restants, des produits lui sont ajoutés, en faible quantité (ex : polymères) pour en modifier les performances et répondre à des contraintes particulières. Le plus souvent de couleur noire, le bitume offre désormais d'autres

teintes comme le rouge ou le vert : ces bitumes sont fabriqués en incorporant des pigments de couleur dans le liant ou en utilisant directement des granulats de couleur.

On pourra enfin observer que bitume est le seul hydrocarbure qui n'est pas destiné à la combustion : valorisé comme matériau de construction, les atomes de carbone le constituant, au contraire de tous les autres hydrocarbures, ne sont pas amenés à être libérés (et donc à finir en CO₂ dans l'atmosphère) ce qui conduit certains auteurs à considérer le bitume comme un stock de carbone... (Source : USIRF).

1-8 LES MATERIAUX DE COUVERTURE DE BATIMENTS

Exemples : l'**ETFE** et le **PVDF**

L'éthylène tétrafluoroéthylène (ETFE) est un copolymère de l'éthylène et du fluoroéthylène. C'est un fluoropolymère thermoplastique de formule brute C₄H₄F₄.

Transparent ou coloré, le film ETFE est utilisé notamment pour réaliser des couvertures ou des façades transparentes avec un design et des caractéristiques techniques et environnementales exceptionnelles.

Beaucoup plus léger que le verre, un revêtement transparent en ETFE permet une réduction importante de la structure de soutien et donc des réalisations « aériennes » avec un coût final largement diminué.

L'ETFE laisse passer environ 90% de la lumière mais absorbe une grande partie de la lumière infra-rouge, ce qui le rend adapté à la couverture d'atriums, de piscines, de centres commerciaux, de restaurants etc.

Le **polyfluorure de vinilidène** (PVDF) fait partie du groupe des thermoplastes fluoritiques dont le représentant le plus connu est le PTFE (la marque la plus connue est « Téflon » créée par Du Pont de Nemours).

Du point de vue de sa structure chimique, le PVDF est apparenté au PVC, mais possède une structure chimiquement plus stable grâce aux atomes de fluor (formule brute : (C₂H₂F₂)_n).

Il supporte les rayons ultraviolets, a une bonne résistance au feu et aux agents chimiques les plus corrosifs et a d'ailleurs été utilisé en premier lieu pour l'isolation électrique.

Remplaçant avantageusement les fils d'acier, son indice de réfraction très proche de celui de l'eau, lui procure une quasi-invisibilité. Sa résistance est supérieure aux fils en nylon grâce à une parfaite imperméabilité. De plus, il amortit parfaitement les chocs et bénéficie d'une excellente résistance à l'abrasion.

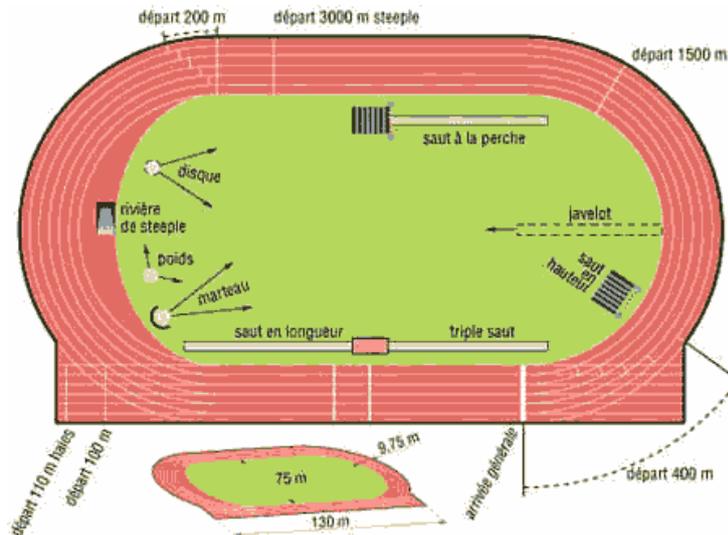
Stade Allianz Riviera de Nice



Membrane en ETFE transparent pour la partie qui recouvre l'arrière des tribunes ainsi que pour l'extrémité du toit des tribunes. Toutefois, la plus grande partie de ce toit est constitué d'une membrane en PVDF translucide ce qui assure la filtration de la lumière naturelle.

1-9 LA PISTE D'ATHLETISME

Cet anneau de forme ovale, ou plus souvent « bi-panier », comporte deux courbes et deux lignes droites, la longueur totale faisant réglementairement 400 mètres.



Vers 1960, la société 3M créa un revêtement plastique à base d'**uréthane**, produit qu'elle connaissait bien pour en faire des éponges abrasives. L'uréthane est le produit issu de la réaction d'un isocyanate et d'un alcool, réaction découverte par le français Adolphe Wurtz en 1849 :



Le premier prototype de revêtement sur environ 100 m fut essayé en 1959 par les chevaux de W. Mc Knight dont l'élevage s'appelait Tartan. Le premier championnat des États Unis sur Tartan eut lieu en 1963 et 3M décrocha la commande des pistes des Jeux olympiques de 1968. En France, la première fut installée à Font-Romeu en 1967.

A partir du moment où la piste était en matière synthétique, les psychologues se mêlèrent de savoir quelle couleur était susceptible d'apporter moins de stress et plus de décontraction aux concurrents. C'est le bleu qui l'emporta, mais aussi le vert. En fait, ce qui reste le plus populaire aux yeux du public c'est le rouge brique.

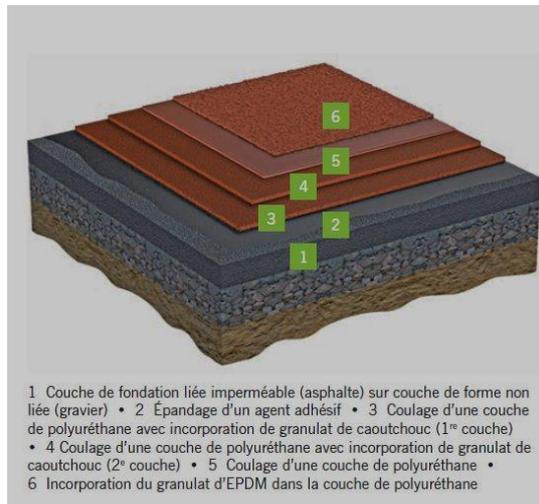
Devant le succès commercial, la société 3M eut rapidement des concurrents, le plus important est sans doute la société italienne Mondo, qui proposa en 1969 la première piste d'athlétisme préfabriquée « sportflex » et décrocha l'attribution de la piste pour les JO de Montréal (1976). Ces pistes sont à base de **résines polyuréthanes** qui lient ensemble des granulés de **caoutchouc** sur une sous-couche de rouleaux en caoutchouc recyclé posée sur un enrobé.

La société Mondo élaborera pour les JO d'Athènes en 2004 le Sport Flex superX. C'est une piste avec un revêtement de 13 mm dont la surface est composée de granulés de 3 à 4 mm d'EPDM (éthylène-propylène-diène monomère), qui forment une couche antidérapante et poreuse liées par la résine. Ces pistes à la fois souples et antidérapantes ont fait merveille puisque depuis leur apparition, plus de 230 records y ont été battus.

La société allemande BSW avait installé à Berlin le revêtement Regupol® Compact. C'est là qu'Usain Bolt établit ses records des 100 et 200 m.

La couche d'usure est en granulat d'EPDM enrobé de polyuréthane, sur couche de base composée de granulat de caoutchouc et/ou d'EPDM enrobé de polyuréthane et coulée en plusieurs épaisseurs.

Sources : d'après Société chimique de France



2- LES RESEAUX DE DISTRIBUTION (exemples)

21- LES CABLES A HAUTE TENSION SOUTERRAINS

Une liaison souterraine est essentiellement composée des éléments suivants :

1. les câbles à haute tension nécessaires au transport de l'énergie (généralement trois, un par phase) ;
2. des jonctions de raccordement entre les différents tronçons de câbles, généralement de l'ordre de 500 à 800 m ;
3. les terminales ou «têtes de câble» pour le raccordement de la liaison aux installations du poste à haute tension.

Un câble électrique à haute tension est composé de différentes parties assemblées de manière concentrique, les principales sont : au centre un **conducteur** permet de transporter l'électricité, ensuite vient une **isolation** électrique pour empêcher le courant de s'écouler vers la terre, le tout est entouré d'une **gaine** métallique afin de confiner le champ électrique à l'intérieur du câble et d'une **protection extérieure** qui assure de bonnes propriétés mécaniques et le protège des agressions extérieures.

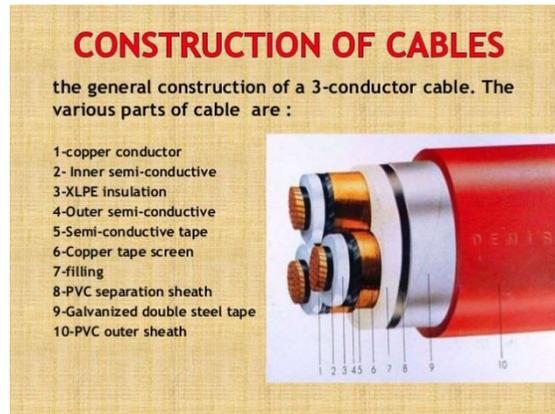
Le passage du courant produit de la chaleur dans l'âme en cuivre ou aluminium du câble. Cette chaleur doit impérativement être dissipée afin de garantir une bonne capacité de transport des conducteurs. C'est pourquoi les sections de câbles sont généralement plus grandes pour réduire leur résistance électrique et la chaleur qui y est produite.

L'isolation a pour rôle de séparer électriquement 2 surfaces aux potentiels très différents : le conducteur d'une part et la terre de l'autre.

Pour les basses tensions, des isolations au caoutchouc naturel, vulcanisé, gutta-percha, PVC peuvent être utilisés mais leurs propriétés sont trop limitées pour la haute tension. Pour les câbles d'une tension supérieure à 10 kV les isolations suivantes sont utilisées en pratique:

- Papier imprégné d'huile (le conducteur tubulaire transporte un liquide sous pression qui imbibe les couches de papier qui l'entourent)
- Polyéthylène à faible densité (LDPE en anglais)
- Polyéthylène à haute densité
- Polyéthylène réticulé (XLPE en anglais)

La gaine ou **enveloppe de protection extérieure** est une garniture continue et uniforme entourant le conducteur ou l'ensemble de conducteurs et assurant la protection de ces conducteurs contre l'humidité et les détériorations d'origine mécanique ou chimique. Elle protège aussi contre les dommages mécaniques et des pertes d'huile provenant du câble. Elle est faite à base de PVC ou de polyéthylène.

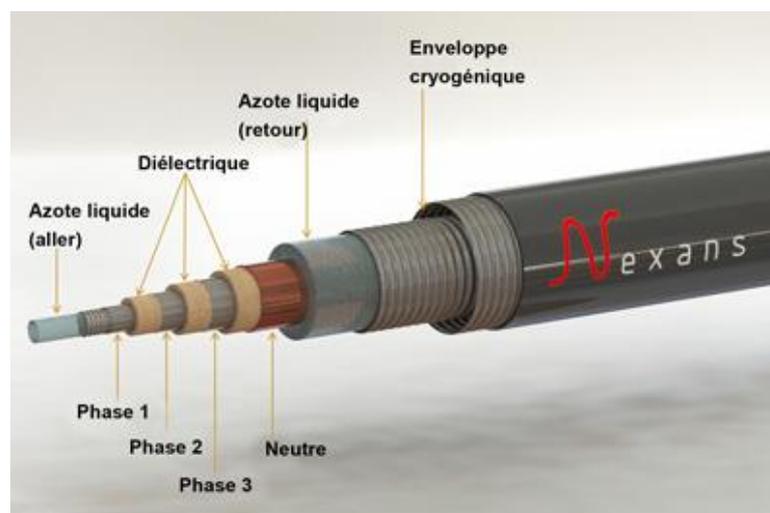


Par ailleurs, des **câbles en supraconducteurs** sont déjà en exploitation à petite échelle sur des projets expérimentaux et devraient se développer dans le futur.

En avril 2014, la ville d'Essen (Allemagne) a intégré dans son réseau électrique le plus grand câble supraconducteur intra urbain au monde (1km). Ce câble supraconducteur est refroidi à l'azote liquide (-200°C).

Le matériau se transforme en un conducteur électrique quasi parfait, capable de transporter au moins 100 fois plus d'électricité que le cuivre.

Source :Nexans



22- LE RESEAU DE FROID URBAIN

Bien plus qu'un élément de confort, le rafraîchissement des bâtiments devient un enjeu d'aménagement urbain.

Le réseau de froid constitue l'alternative durable au développement des installations de climatisation autonomes de climatisation et représente un outil majeur pour les collectivités désirant atteindre les objectifs du Plan Climat.

La production de froid se fait sous forme d'eau glacée (1 à 5 °C) à partir de centres de production frigorifiques de plusieurs dizaines de MW (52 pour la plus importante). Les centrales de production utilisent des fluides frigorigènes comme les hydrofluorocarbures (HFC).

L'eau est ensuite distribuée par un réseau sous-terrain. A Paris, le réseau CLIMESPACE (filiale d'ENGIE) mesure plus de 70 km et fournit des bâtiments officiels, le musée du Louvre, la Philharmonie, le centre commercial Beaugrenelle, des hôtels, des bureaux etc.

Les tuyaux de distribution doivent maintenir les caractéristiques physico-chimiques de l'eau et être opérationnels pendant au moins 40 ans. Source : Climespace



Caractéristiques techniques :

Eau glacée : 4° – 14° C - 16 Bar maxi.

Caloporteur : Tube acier noir soudé

Isolation : **Mousse polyuréthane** –
Lambda < à 0.027 W/(m x K).

Gaine : **Polyéthylène** haute densité.

A noter que dans les tours aéroréfrigérantes des immeubles (systèmes permettant d'évacuer vers le milieu extérieur la chaleur issue de systèmes de refroidissement) on utilise des **biocides** chimiques (par exemple dioxyde de chlore) pour éviter le développement des légionnelles. Des procédés biologiques sont en phase de développement.

23 –LA FIBRE OPTIQUE

(Principes généraux, plusieurs types de fibres étant utilisés)

La fibre optique est un support physique de transmission de données à très haut débit. Fin et souple comme un cheveu, un brin de fibre optique véhicule de manière guidée un signal lumineux qui a la particularité d'atteindre des vitesses élevées sur de grandes distances, en ne subissant ni

affaiblissement ni perturbation électromagnétiques. En septembre 2012, NTT Japon a démontré qu'un seul câble de fibre était en mesure de transférer 1 petabit par seconde (10^{15} bits /s) sur une distance de 50 kilomètres.

Les câbles de fibres modernes peuvent contenir jusqu'à un millier de fibres dans un seul câble, avec une bande passante potentielle dans les téraoctets par seconde.

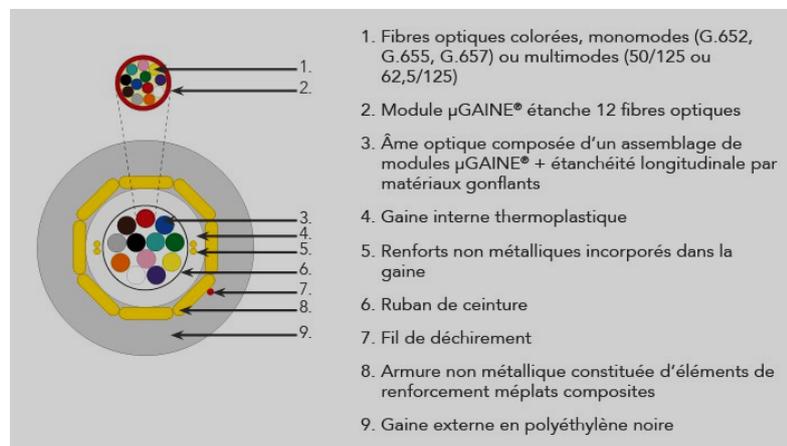
Pour guider la lumière, la fibre comprend un cœur, où l'énergie lumineuse est confinée, et une gaine, dotée d'un indice de réfraction plus faible. Le cœur est constitué d'une silice très pure comportant un minimum d'ions hydroxydes (OH⁻). La gaine optique est, elle, réalisée avec une silice de moindre qualité.

Des substances sont incorporées aux deux éléments afin d'en modifier les propriétés : du germanium et du phosphore dans le cœur pour augmenter son indice de réfraction, du bore et du fluor dans la gaine pour le réduire.

La composition du câble de fibre optique est pour ainsi dire multicouche. La fibre optique est constituée d'un noyau et d'une gaine sélectionnée pour sa réflexion interne totale. La gaine est généralement recouverte d'une couche de polymère d'acrylate ou de polyamide. Ce revêtement a pour but de protéger la fibre. Les fibres formées en rubans ou faisceaux ont alors une couche tampon de résine dure.

Pour la réalisation des structures de réseaux optiques sur de grandes distances on fait appel aux **fibres en verre**. Sur les courtes distances ou en milieu local perturbé (par exemple pour réaliser les circuits de commande-contrôle dans un avion ou dans un métro) la préférence est donnée aux **fibres en matière plastique** (POF) ou encore aux fibres en verre enrobées de plastique (PCF).

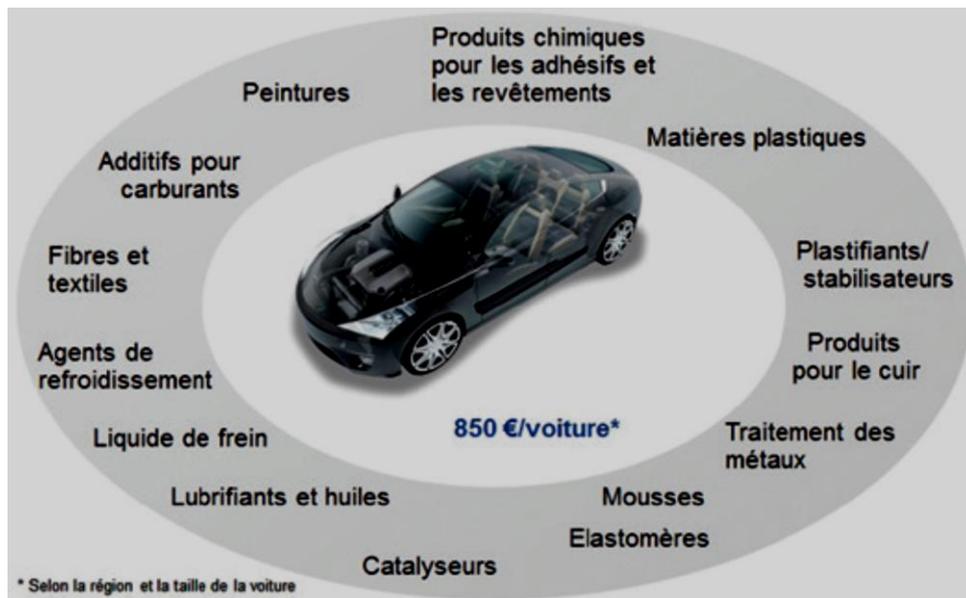
Exemple d'un câble :



3- L'AUTOMOBILE DANS LA VILLE

31- Aujourd'hui

La chimie a déjà contribué très largement à la conception des véhicules conventionnels et prend une part de plus en plus importante dans les innovations liées aux véhicules d'aujourd'hui et de demain. Elle est déjà présente dans de nombreuses parties des véhicules actuels : un grand nombre de composants touche des domaines techniques très variés : les matières plastiques, la peinture, les catalyseurs, les mousses et les additifs.



Source : BASF

Avec l'utilisation de batteries au **lithium** dans les véhicules électriques, la place dévolue à la chimie a franchi un nouveau cap. Les budgets de recherche / développement dans le domaine des batteries a considérablement augmenté au niveau mondial ces dernières années.

Exemple d'un véhicule 100 % électrique : la Renault ZOE version ZE 40



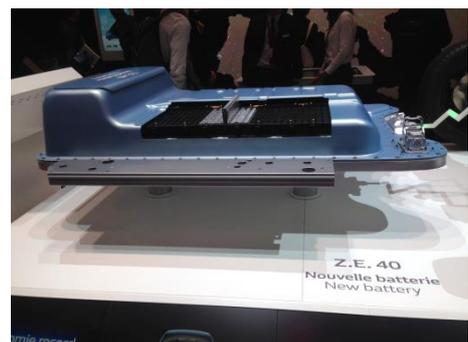
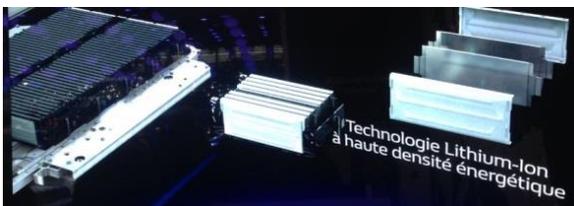
La Renault ZOE est la plus vendue des voitures électriques en Europe (30.000 exemplaires en Europe en 2017).

Autonomie : 400 km en norme NEDC (soit 300 km en usage urbain.)

Temps de recharge : de 1h38 à 20h00 (selon dispositif).

ZOOM SUR LA BATTERIE ZE 40

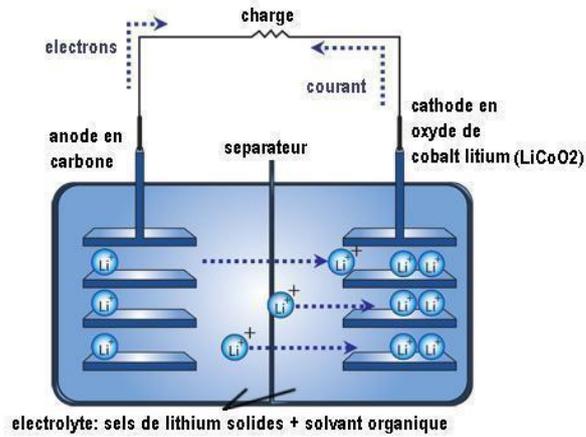
A « HAUTE DENSITE ENERGETIQUE »



Commercialisée depuis 2012 la Renault Zoe a évolué en mars 2015 en adoptant un nouveau moteur, moins gourmand. Ainsi équipée, cette auto 100 % électrique pouvait parcourir jusqu'à 170 km en usage réel.

Depuis la rentrée 2017, elle va beaucoup plus loin puisque Renault annonce 400 km, suivant le cycle NEDC, soit 300 km (en été) et 200 km (en hiver) en usage réel. Son secret ? Une nouvelle batterie développée en partenariat avec LG Chem dont la capacité énergétique est doublée : elle passe de 22 à 41 kWh. Malheureusement, Renault ne détaille pas cette nouvelle recette.

Mecanisme de la decharge d'une batterie Lithium-ion



32- Demain ?

En septembre 2017, le groupe Daimler a finalement livré sa vision de l'avenir des **micro-citadines électriques et autonomes** avec la présentation de la Smart Vision EQ fortwo qui imagine une plate-forme taillée pour la personnalisation et l'autopartage. Le concept Smart Vision EQ disposera d'une motorisation électrique avec des batteries de 30 KWh et pourra trouver tout seul et automatiquement une borne de charge lorsqu'il n'est pas utilisé.

La voiture de demain sera un concentré d'innovations et de chimie.



Concept-car Smart forvision conçu par Daimler & BASF

Olympiades de la Chimie 2019- Académie de Créteil

Correspondant industriel : A. Degenève (France Chimie Ile-de-France)

Mise à jour décembre 2018