

UNIVERSITE ABOUBEKR BELKAID

FACULTE DES SCIENCES DE L'INGENIEUR

DEPARTEMENT DE GENIE CIVIL

**SCIENCE DES MATERIAUX
DE CONSTRUCTION**

Responsable: Dr. GHOMARI Fouad

PRODUITS NOIRS.

Il s'agit effectivement de produits noirs (ou brun foncé), riches en carbone et en hydrogène naturels ou obtenus en général par distillation de matières organiques. Ces matériaux sont connus depuis l'Antiquité, surtout comme liants (les briques de la tour Babel étaient hourdées au bitume), constituent des matières de base pour réaliser divers produits commerciaux intéressant de plus en plus la construction, particulièrement dans le domaine de l'étanchéité et celui de la technique routière.

Les liants hydrocarbonés différent des liants hydrauliques. Ils se présentent soit comme liquides visqueux soit encore sous la forme de solides demi-mous.

On distingue deux grandes classes :

- les produits naturels : bitumes et asphaltes qui ont subi ou non après extraction certains traitements : raffinage, broyage, etc.,
- les produits pyrogènes : les brais et goudrons divers essentiellement ceux qui proviennent de la distillation de la houille et du pétrole.

Ces produits sont, en général, trop visqueux dans leur état naturel, pour pouvoir être employés directement. Il faut diminuer cette viscosité ou les liquéfier par différents procédés (chauffage, dissolution dans des solvants volatils, émulsions dans l'eau), pour pouvoir les utiliser à la place qui leur est destinée. Il est indispensable que ces traitements n'altèrent pas leurs caractéristiques essentielles à savoir leur souplesse, plasticité, imperméabilité, ductilité et adhésivité. De ces caractéristiques dépend l'emploi du liant ainsi que la méthodologie pour sa mise en oeuvre.

Les qualités prédéfinies sont utilisées par la manière suivante:

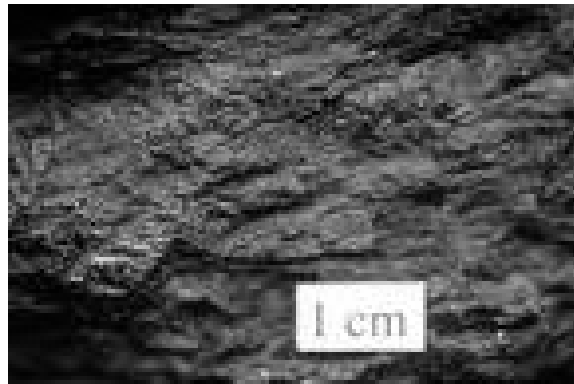
- souplesse, plasticité d'où leur emploi en chape souple ou en écran étanche,
- une imperméabilité à l'eau et à l'air remarquable d'où leur utilisation comme revêtement d'étanchéité, de couverture, de cuvelage,
- ductilité, résistance à l'usure ce qui les destinent aux revêtements de chaussées, de pistes,...à la réalisation de mortiers et de bétons hydrocarbonés où ils jouent le rôle de liants,
- une adhésivité remarquable et un pouvoir pénétrant offrant ainsi une bonne tenue à l'eau,
- ils possèdent néanmoins des défauts (faible résistance mécanique, fragilité, ramollissement à la chaleur) auxquels on remédie par une mise en oeuvre appropriée.

PRINCIPAUX LIANTS.

Les goudrons et brais de houille.

Ils proviennent de la distillation, en vase clos et en atmosphère neutre (non oxydante), de diverses variétés de charbons et notamment de charbons gras. On obtient ainsi un sous-produit très important, le goudron brut de houille. Ce dernier soumis à la distillation pour en retirer des huiles donne un résidu résineux que l'on appelle le "brai de houille".

Ce brai de houille, plus ou moins plastifié par les huiles qui s'y trouvent, ou qu'on y ajoute, peut servir soit à la fabrication de bétons goudronneux (brai mou), soit à la fabrication de goudrons reconstitués, appelés simplement goudrons, qui sont utilisés en technique routière pour le répandage superficiel et les imprégnations.



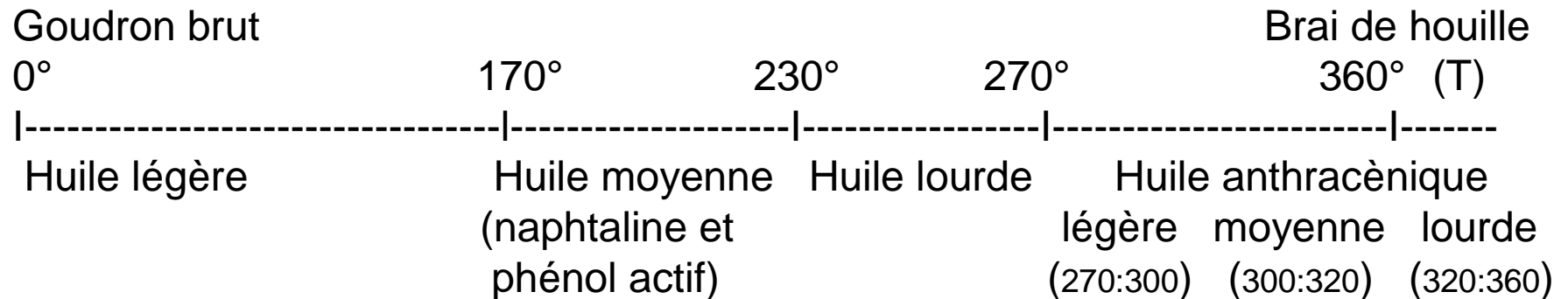
Les goudrons et les brais de houille sont obtenus par distillation du goudron brut à une température généralement supérieure à 1000 °C ($\approx 1100\text{ °C}$).

Le goudron brut.

liquide noir et visqueux, de composition chimique très complexe : mélange de carbures d'hydrogène (benzols, phénols, anthracène) et de carbone en fines particules. C'est un sous-produit de la fabrication du gaz d'éclairage ou du coke métallurgique.

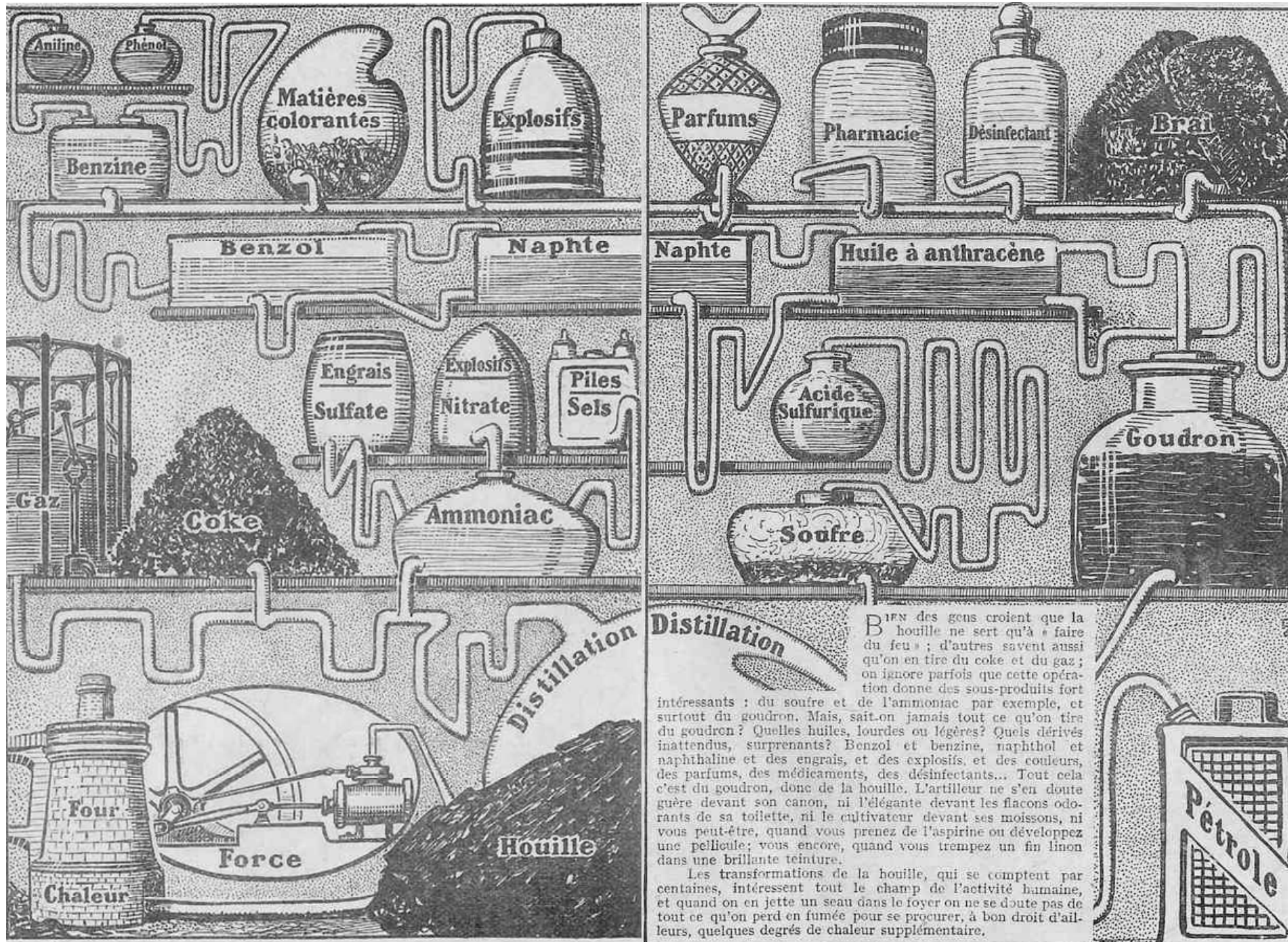
Le goudron brut provient en général de houille distillée à haute température ($1000 < T < 1300\text{ °C}$); il y a toutefois des goudrons de moyenne température ($T = 800\text{ °C}$) et de basse température ($T = 600\text{ °C}$).

Voilà comment on passe du goudron brut au brai de houille :



Le goudron reconstitué ou goudron routier.

Sont reconstitués à partir de brais et d'huiles épurées de différentes viscosités afin de fluidifier le liant et le rendre facilement utilisable par un chauffage approprié. Ces huiles sont destinées à faciliter la mise en oeuvre et à offrir la souplesse, la cohésion et l'adhérence au liant et pour que ce dernier ne resse pas par temps chaud et ne devient pas cassant et fragile par temps froid.



Distillation

Bien des gens croient que la houille ne sert qu'à « faire du feu » ; d'autres savent aussi qu'on en tire du coke et du gaz ; on ignore parfois que cette opération donne des sous-produits fort intéressants : du soufre et de l'ammoniac par exemple, et surtout du goudron. Mais, sait-on jamais tout ce qu'on tire du goudron ? Quelles huiles, lourdes ou légères ? Quels dérivés inattendus, surprenants ? Benzol et benzine, naphthol et naphthaline et des engrais, et des explosifs, et des couleurs, des parfums, des médicaments, des désinfectants... Tout cela c'est du goudron, donc de la houille. L'artilleur ne s'en doute guère devant son canon, ni l'élégante devant les flacons odorants de sa toilette, ni le cultivateur devant ses moissons, ni vous peut-être, quand vous prenez de l'aspirine ou développez une pellicule ; vous encore, quand vous trempez un fin linon dans une brillante teinture.

Les transformations de la houille, qui se comptent par centaines, intéressent tout le champ de l'activité humaine, et quand on en jette un seau dans le foyer on ne se doute pas de tout ce qu'on perd en fumée pour se procurer, à bon droit d'ailleurs, quelques degrés de chaleur supplémentaire.



En fait, il y a deux catégories de goudrons :

- les goudrons à vieillissement normal, dénommés A,B,C,D et E en allant du plus fluide au plus visqueux,
- les goudrons à vieillissement lent, appelés goudrons T.R.S. (Température de ramollissement superficiel).

Les goudrons les plus fluides sont utilisés pour l'imperméabilisation par imprégnation; puis viennent les goudrons destinés aux épandages superficiels par période normale; des goudrons plus visqueux sont utilisés pour épandage superficiel par temps chaud ou pour les enrobages (enduits d'usure pour chaussée à forte circulation). Les goudrons les plus visqueux sont uniquement destinés aux enrobages d'agrégats destinés à être agglomérés par compactage sur le chantier routier.

Les bitumes et cut-backs.

bitumes.

les bitumes ont une origine et une composition chimique différente de celles des brais et goudrons de houille. Les bitumes peuvent être d'origine :

naturel : (Iles des Bermudes et de la Trinité); sont souvent mélangés de fillers fortement imprégnés (bitume de Trinidad : 44% de filler et 56% de bitume très pur),

artificiel : produit de distillation de pétrole brut de nature, sous vide, asphaltique ou semi-asphaltique (pétrole mexicain : 70% de bitume; celui du Venezuela 60% et les pétroles Roumains et Russes présentent 20% de bitume).

Ils peuvent aussi être oxydés ou soufflés, s'obtiennent en faisant passer de l'air à 200 °C à travers de l'huile de bitume asphaltique. Ces derniers sont moins ductiles que les bitumes de distillation mais vieillissent mieux (emploi pour l'étanchéité).

Les bitumes sont classés, selon leur degré de dureté, en différentes catégories. Les plus couramment utilisés en technique routière sont :

bitumes demi-durs : sert à fabriquer les goudrons, bitume, enrobés denses et les bétons bitumineux,

bitumes demi-mous : réservé à la fabrication des émulsions.

Quelques définitions.

fluxer un bitume dur c'est le mélanger à un bitume plus mou pour obtenir un bitume de dureté intermédiaire,

fluidifier un bitume c'est ajouter à un bitume dur ou mou des huiles relativement volatiles de manière à former des cut-backs.

Cut backs.

ce sont des bitumes fluides, c'est-à-dire coupés par des solvants relativement volatils. Ils correspondent aux goudrons, alors que les bitumes correspondent plutôt aux brais mous.

Caractères qui différencient les bitumes et les goudrons.

Constitution chimique.

le goudron contient des hydrocarbures cycliques non saturés, dérivés du benzène; traité à l'acide sulfurique bouillant il donne, des produits de sulfonation,

le bitume comprend surtout des hydrocarbures cycliques saturés dérivés des cyclanes, il ne donne pas des dérivés sulfonés,

le bitume pur est entièrement soluble dans le sulfure de carbone alors que le goudron se trouve floclulé par ce solvant,

les résines du goudron sont insolubles dans les huiles de bitume ou de pétrole. Les résines de pétrole sont au contraire, solubles dans les huiles du goudron.

Caractéristiques physico-chimiques.

- il existe à viscosité égale, une différence de tension superficielle (≈ 10 dynes/cm) entre les huiles de pétrole et les huiles de goudron,
- au point de vue des propriétés essentielles des bitumes pour leur emploi, il y a lieu de les envisager sous le même angle que les goudrons : viscosité, adhésivité, aptitude au séchage, résistance au vieillissement, susceptibilité:
 1. les bitumes sont plus adhérents que les goudrons et plus stables,
 2. le goudron est plus susceptible aux variations de température vieillit plus vite que le bitume,
 3. le goudron est de densité >1 ; insoluble dans l'eau, mais soluble dans l'acide sulfurique. Chauffé à $80\text{ }^{\circ}\text{C}$, il déborde des récipient et s'enflamme. Au contact du gaz carbonique de l'air, il durcit et devient cassant,

4. le bitume de densité voisine de l'unité, augmente la résistance du revêtement. En revanche, le goudron ne constitue qu'un liant élastique sans accroître la résistance.
5. le mélange du goudron de houille et du brai de pétrole assez dur et non fluide donne un produit assez stable au stockage tant que le mélange ne contient pas plus de 15% en moyenne de bitume pour les goudrons-bitumes et pas plus de 25% de goudron pour les bitumes-goudrons. Il est à noter qu'il ne faut jamais mélanger un goudron avec un cut-back; il y a en général floculation même si la teneur en bitume fluide est de 1% .
6. un bitume-goudron mis en place sur la route sous la forme de goudronnage superficiel ou sous forme d'enrobage a partiellement les avantages d'un goudron (au point de vue de l'adhésivité) et partiellement les avantages du bitume (résistance au vieillissement),

7. un goudron-bitume utilisé en revêtement finit par se recouvrir en surface d'une mince pellicule de bitume pur décanté qui protège la fraction du goudron située sur cette pellicule et l'empêche de s'oxyder et de perdre ces huiles plastifiantes aussi rapidement que si le bitume était absent,

En choisissant les liants et en utilisant un mode de préparation approprié, on parvient actuellement à faire des mélanges stables en toutes proportions. Autrefois, on utilisait des mélanges de goudrons et fillers ainsi que les bitumes au caoutchouc.

Quand on ne disposait que de goudrons bruts (très fluides), l'ajout de fillers (calcaire, chaux, charbon pulvérisé ou de schistes bitumineux cuits et broyés) à un pourcentage d'au plus 25% épaissit fortement le goudron. Cette méthode a pratiquement disparue avec l'apparition de goudrons à forte viscosité.

Le cut-back peut être mélangé à des poudres de caoutchouc ; ça présente un certain nombre d'avantages, notamment en rendant les bitumes plus élastiques et moins susceptibles. Le caoutchouc gonfle en absorbant les huiles du cut-back et les restitue ensuite très lentement, ce qui diminue le vieillissement.

Il y a intérêt de préparer des pâtes de caoutchouc avec des huiles de goudron ou de bitume car les pâtes se dispersent plus aisément que les poudres au sein des liants.

Asphaltes.

C'est une roche sédimentaire calcaire ou siliceuse imprégnée de bitume naturel (7 à 18%). Il existe des gisements en France, Suisse, Italie, Syrie, ...etc. La roche poreuse a absorbé le pétrole des couches inférieures qui avaient été poussées vers la surface par une pression de gaz. Au contact de l'air, diverses transformations chimiques se produisent (oxygénation, polymérisation, blanchissement de la peau).

La roche extraite soit à ciel ouvert, soit en galeries souterraines est broyée, pulvérisée et déshydratée pour obtenir une poudre brun-chocolat de granulométrie très graduée.

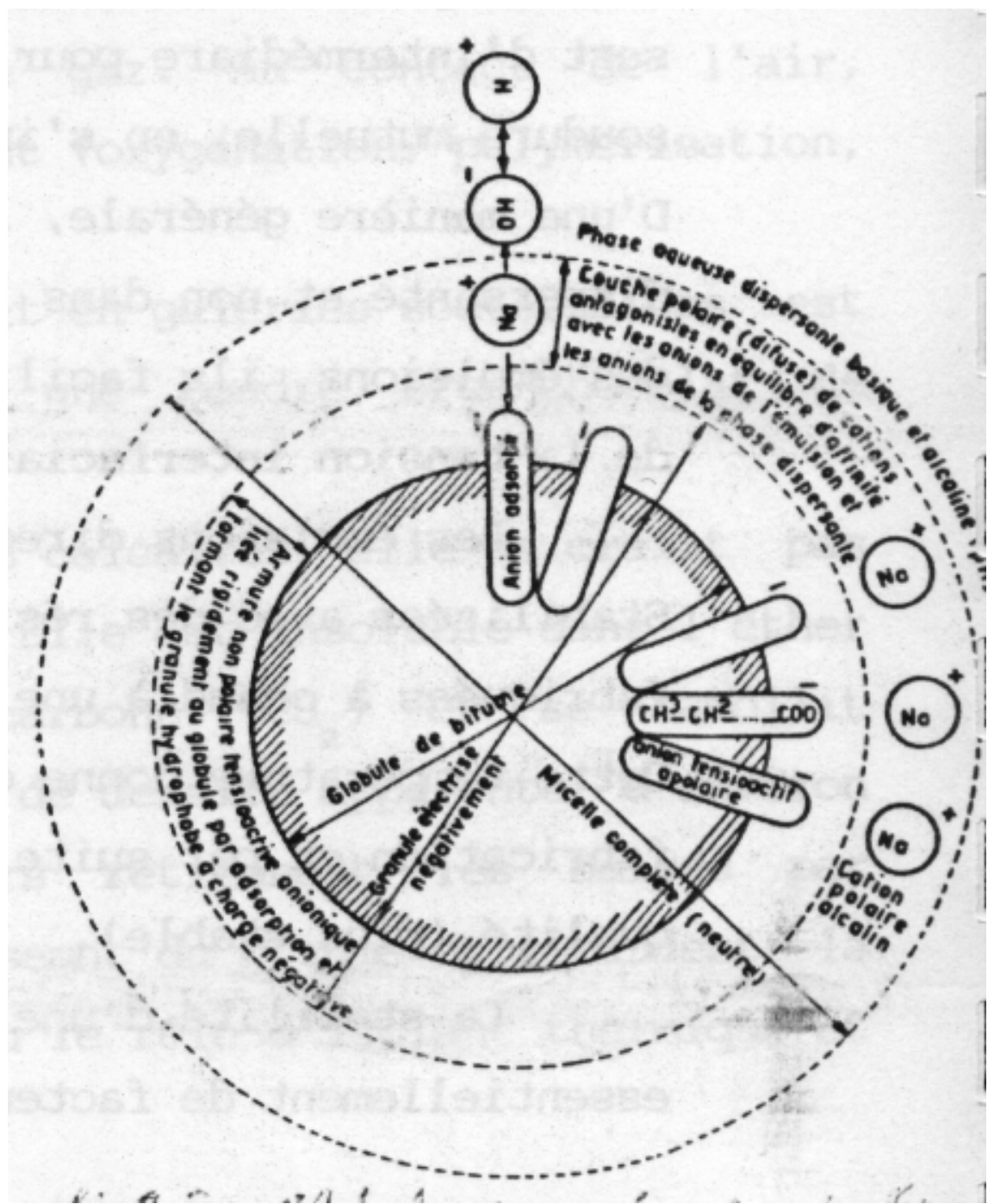
L'asphalte lorsqu'elle provient de roches calcaires, elle ne craint pas la chaux, mais plutôt le ciment et les acides. Elle est insoluble dans l'éther de pétrole mais se dissout dans le sulfure de carbone (CS₂) et se ramollit sous l'action de la chaleur à 50°C.

L'asphalte de densité apparente d'environ 2, correspond à un bitume fillérisé. Les fillers retiennent les huiles par adsorption et de ce fait empêchent le vieillissement du bitume et retardent la pénétration de la chaleur reçue en surface d'où le rôle d'isolant thermique et d'étanchéité, en outre incombustible.

Emulsions.

Emulsion alcaline.

une émulsion est une dispersion plus ou moins fortement stabilisée d'un liquide et/ou même d'un solide dans un autre liquide non miscible au premier. Il y a deux sortes d'émulsions :
émulsion de type direct (émulsion oil-water) : le bitume se trouve dispersé sous forme globulaire à l'intérieur d'un milieu aqueux alcalin (pH = 9 :11),
émulsion inverse (émulsion water-oil) : émulsion d'eau dispersée dans le bitume qui se trouve ainsi plu mou. Une émulsion inverse en contact avec une émulsion directe provoque une floculation mutuelle.



Dans une émulsion on distingue deux phases :

- la phase dispersée (phase globulaire),
- la phase dispersante (phase continue),
- à l'interface de ces deux derniers se trouvent des corps stabilisants connus sous le nom d'émulsifs.

Les émulsifs utilisés en technique routière pour la dispersion des globules de bitume de l'eau et leur maintien à l'état stable sont généralement des savons alcalins (oléate de soude) ou des produits moins coûteux (résinate de soude) ou encore le lignosulfate de sodium.

L'émulsif sert d'intermédiaire pour réaliser la protection des globules contre leur soudure mutuelle, en s'interposant dans les chocs dûs au mouvement Brownien.

D'une manière générale, l'émulsif se trouve toujours situé dans la phase dispersante et non dans la phase globulaire. Outre leur rôle de stabilisation des émulsions, ils facilitent la mise en émulsion du bitume par la diminution de la tension inter faciale qui règne entre le bitume et l'eau.

Les émulsions directes de bitume sont de beaucoup les plus employées. Stabilisées avec des résinates et des lignosulfates de sodium, elles sont fabriquées à chaud à une température voisine de 100 °C dans des émulseurs. Cette température donne des produits beaucoup moins visqueux lors de la fabrication et par suite, la mise en émulsion est facilitée et de meilleure qualité (plus stable).

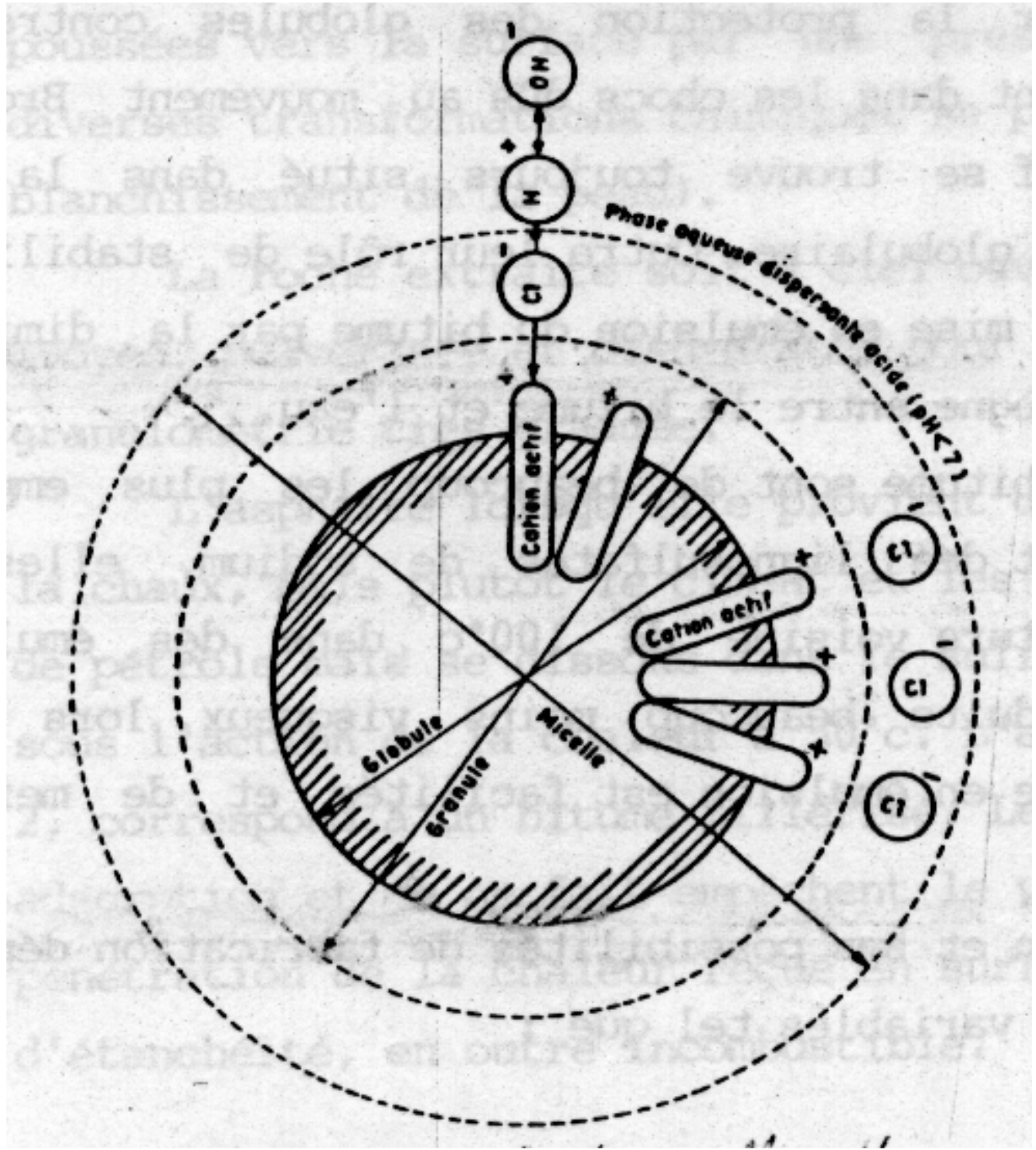
L'émulsibilité d'un bitume peut être caractérisé par le degré de finesse des globules (D_{moy} des globules). Ce dernier est en relation avec le pH de la phase aqueuse ainsi que la stabilité.

La forte teneur en acides organiques naturels apparaît comme un facteur favorable à une bonne émulsibilité du bitume en émulsions alcalines.

Les émulsions directes de bitume sont utilisées, pour les enduits superficiels, les revêtements, les enrobés et bétons bitumineux contenant peu de fillers (au plus 1 ÷ 2%). On les utilise aussi pour le colmatage des joints de pavés et certaines émulsions sont utilisées dans les méthodes de stabilisation du sol (type colsol).

Emulsion acide.

On les appelle aussi "émulsions positives", du fait que les globules d'émulsion sont protégés par des cations et non pas par des anions comme c'est le cas pour les émulsions alcalines.



Dans un globule d'émulsion protégé par des cations (émulsion cationique), la protection est complétée par des ceintures d'anions qui se détachent du globule et le protègent contre les chocs et la floculation avec les globules voisins. De plus, il se trouve dispersé dans une phase à pH acide (pH = 5,5 : 6). Il est à noter qu'une variation du pH engendre une floculation progressive de l'émulsion, c'est-à-dire la rupture d'équilibre par la soudure mutuelle de tous les globules de bitume dispersés. Les émulsifs utilisés sont en général des sels d'amines (acide minéral et amine grasse).

Les émulsions cationiques réalisées en technique routière permettent d'utiliser aussi bien des matériaux siliceux (acides) que des matériaux calcaires (basiques). Le matériau siliceux qui en phase aqueuse est anionique, adhèrera mieux au bitume d'une émulsion cationique et inversement pour les calcaires.

Comme dans la nature, les matériaux siliceux sont les plus abondants et constituent des matériaux de choix en raison de leur dureté, les émulsions cationiques possèdent à ce point de vue un avantage sur les émulsions alcalines. Néanmoins au point de vue industriel, la fabrication des émulsions cationiques pose plus de problèmes que les émulsions alcalines.

Les émulsions cationiques peuvent conduire à résoudre des problèmes de stabilisation des couches de base ou des couches de fondation des chaussées, grâce à la diminution de l'hydrophilie des sols argileux utilisés à ce point de vue et par suite les rendre moins sensibles à l'action de l'eau et par contrecoup à l'action du gel.

Stabilité des émulsions.

Le degré de stabilité des émulsions est une caractéristique essentielle de celles-ci; ce degré diffère selon qu'il s'agisse d'émulsions destinées à être stockées pendant longtemps ou en période froide ou d'émulsions à être rapidement mise en oeuvre.

Il diffère également selon la destination : revêtements superficiels ou enrobages (sables et fillers). La qualité d'une émulsion est d'être stable au stockage (*ne pas flocculer ni décanter ni présenter de phénomène de coalescence*) et suffisamment rapide dans sa rupture lors de sa mise en oeuvre. Un excès de rapidité dans la rupture peut être préjudiciable à la bonne répartition du bitume autour des grains d'agrégats et notamment des grains de sable. Une lenteur, au contraire, dans la rupture peut être préjudiciable à la bonne tenue du mélange bitumé.

Principe de fabrication des émulsions.

De ce qui précède, nous savons qu'il s'agit de deux phases : une phase liant et une phase aqueuse.

i., phase liant : Elle s'obtient à partir du bitume et du fluxant. Il s'agit de bitume de pénétration 40/50 ou 80/100 ou 180/220. Le fluxant est constitué de bitume de faible viscosité. Le mélange s'effectue dans des malaxeurs et la viscosité est de l'ordre de 200poises.

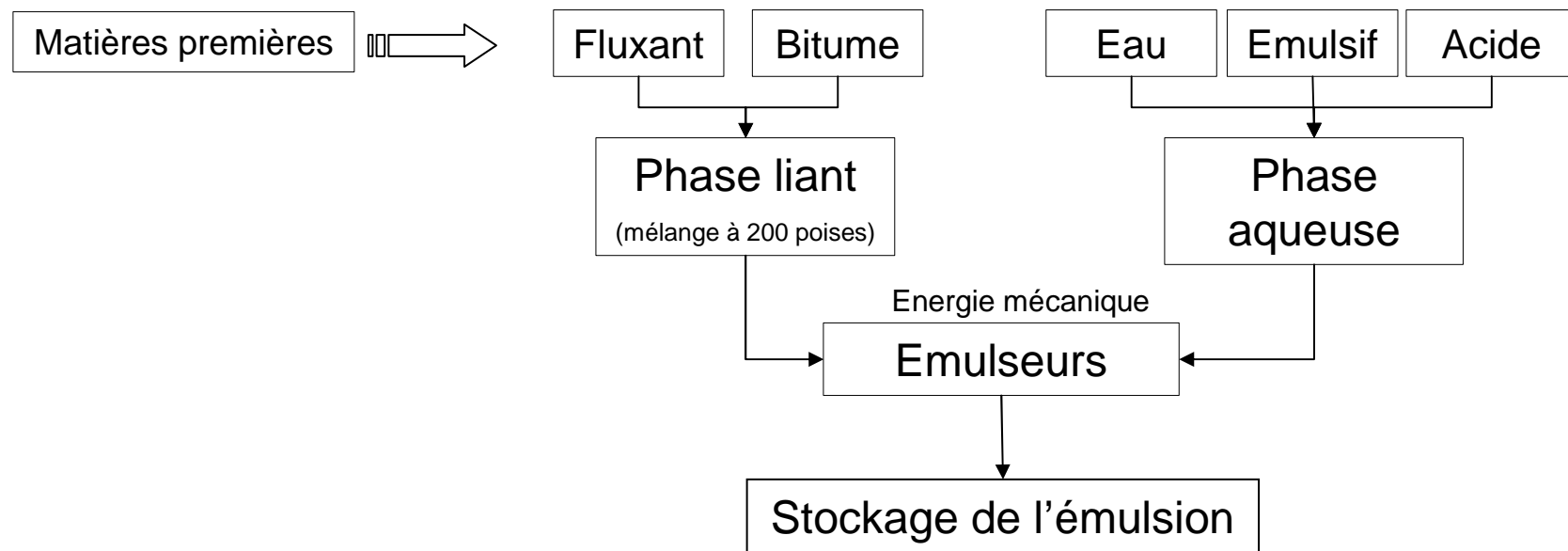


Schéma de principe de fabrication d'une émulsion de bitume cationique.

ii., phase aqueuse : cette phase est préparée à partir d'eau, émulsif et acide chlorhydrique.

Le mélange des 2 phases (liant et aqueuses) se fait de manière mécanique en utilisant des émulseurs (turbo malaxeurs).

CARACTERISTIQUES DES LIANTS HYDROCARBONES.

Viscosité.

On distingue deux sortes de viscosité : cinématique et dynamique. La viscosité cinématique est mesurée par le temps mis pour le passage d'un fluide au travers d'un orifice de calibre déterminé, elle est transcrite en stockes. Elle s'obtient aussi en divisant la viscosité dynamique par sa masse spécifique ($\nu = \eta/\rho$).

L'appareil utilisé est le B.R.T.A. également appelé S.T.V. dont l'orifice a soit 10 mm de diamètre soit 4 mm (utilisé seulement pour les goudrons fluides et les cut-backs destinés à l'imprégnation).

Il y a un rapport de 30 environ entre les durées d'écoulement au travers des deux orifices de diamètres successifs 4 et 10 mm (ce dernier donnant un écoulement beaucoup plus rapide). On énonce ainsi la viscosité : B.R.T.A. ou S.T.V. de tant de secondes pour l'orifice de 10 mm ou de 4 mm selon le cas.

Pour les émulsions, on utilise un viscosimètre différent qu'on appelle viscosimètre "Engler"; son orifice a pour diamètre 2,8 mm. Le degré Engler est le rapport entre les durées d'écoulement de l'émulsion à la température où l'on effectue la mesure et la durée d'écoulement d'un égal volume d'eau à 25 °C. Ce viscosimètre peut aussi être utilisé comme un B.R.T.A. ou un S.T.V. quand il s'agit de goudrons ou cut-backs très fluides pour lesquelles même un orifice de 4 mm serait trop grand (précision dans la mesure).

La viscosité variant fortement avec la température, il en résulte, dans la gamme des utilisations courantes, une corrélation de la forme suivante :

$$\eta = \eta_0 e^{-kt}$$

Au lieu d'utiliser cette formule, on utilise des abaques donnant la viscosité en centistokes en fonction de la température en °C.

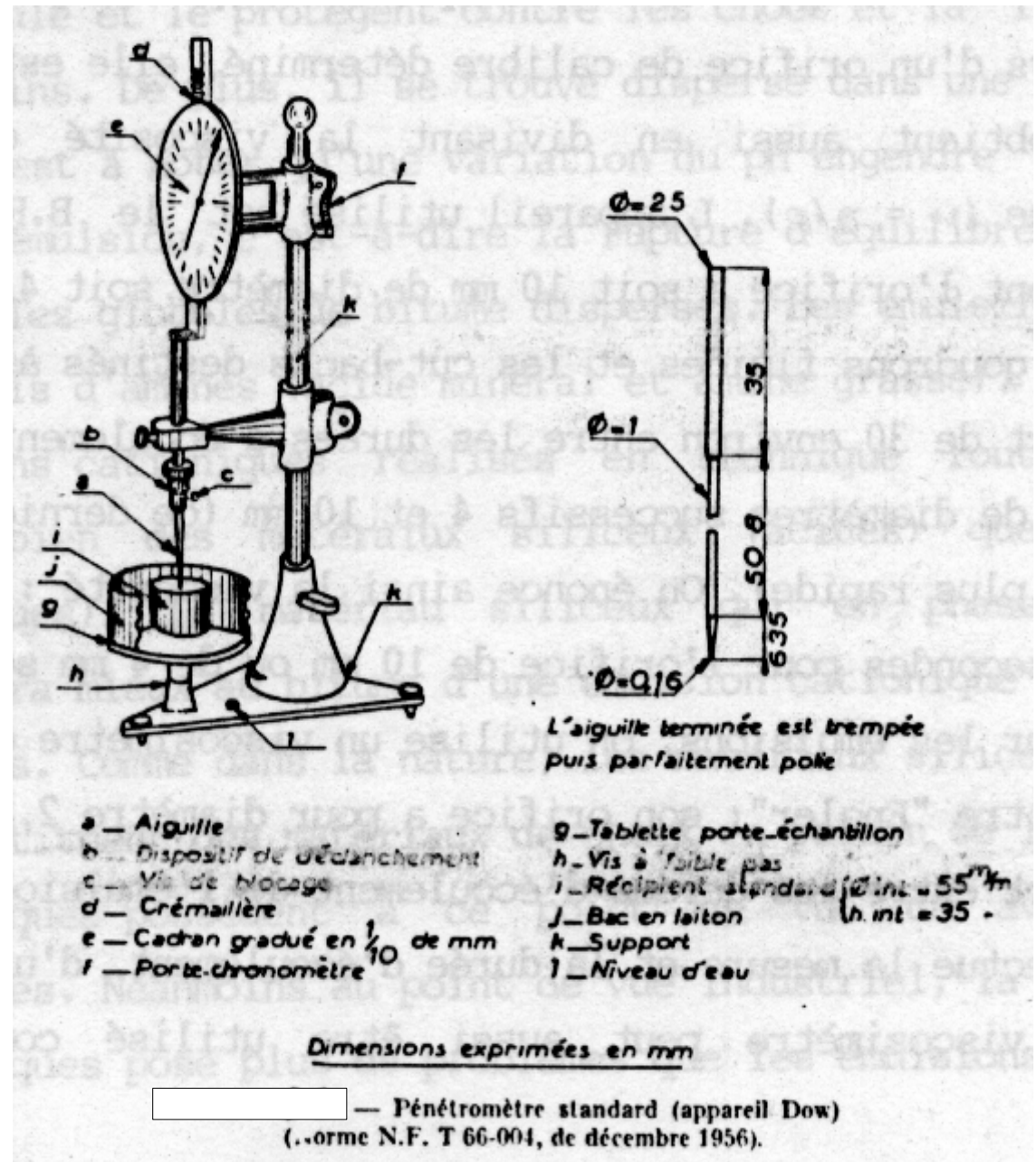
Pénétration à l'état de solides demi-mous .

Pour les liants solides, on ne peut caractériser la viscosité par une durée d'écoulement. A cet effet on emploie deux méthodes :

Mesure de la pénétration standard.

est la pénétration à 25°C (ou parfois à 15°C ou 0°C), d'une aiguille normalisée, chargée de 100 g et abandonnée durant 5 secondes. La pénétration s'évalue au 10^{ème} du mm.

La mesure se fait avec un appareil appelé pénétromètre "Dow". Le liant est renfermé dans un récipient cylindrique lequel est plongé dans de l'eau maintenue à 25 °C. La pénétration croît rapidement avec la température. Entre la viscosité η d'un liant en kilopoises et sa pénétration exprimée au 10^e du mm, on a sensiblement la relation suivante : $\eta = (a \cdot 10^6) / p^2$; $a \approx 10$



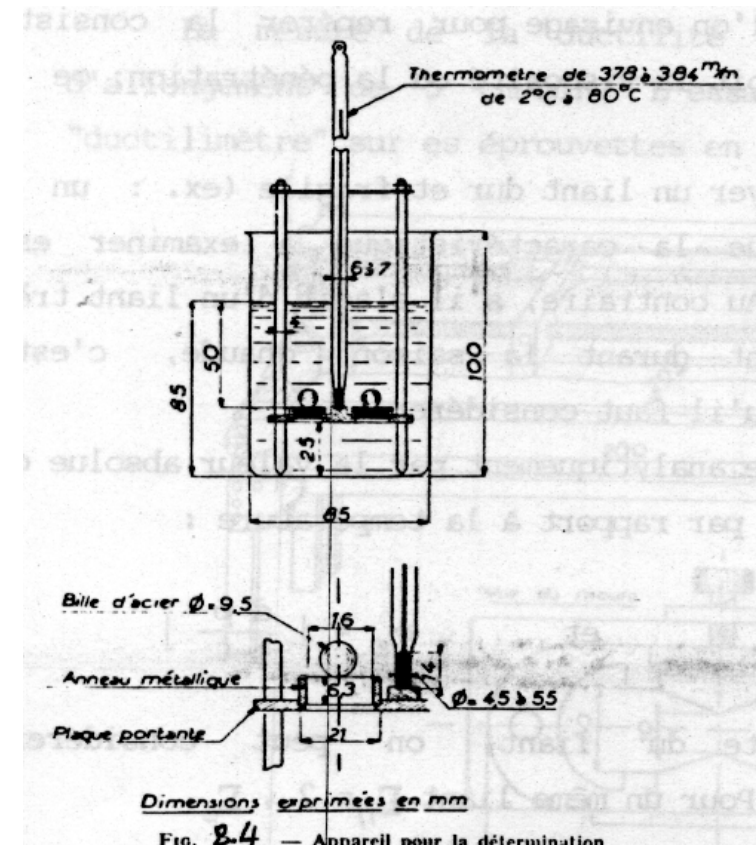
Point de ramollissement.

La pénétration standard d'un liant caractérise en effet son état de viscosité à 25 °C; mais pour les brais et bitumes très durs de pénétration < 20 par exemple, le procédé n'a plus de sensibilité.

Au contraire, pour les liants très mous, de faibles variations dans la viscosité entraînent de très fortes variations dans la pénétration; le procédé n'a donc plus de précision (pénétration maxi. Dow = 300). Il est vrai que l'on peut dans le cas de liant très dur, mesurer la pénétration à une température beaucoup plus élevée (ex. : 35 °C). Par contre pour les liants très mous, on peut mesurer la pénétration à une température plus faible (15° ou 0 °C). Il reste préférable de déterminer un point de ramollissement du liant, c'est-à-dire une température où le liant réalise une consistance repérable et déterminable.

Le point de ramollissement le plus utilisé est le B.A. (bille-anneau ou ring & ball), il est désigné comme étant la température à laquelle une bille d'acier, après avoir traversé la matière testée (coulée dans un anneau), atteint le fond d'un vase standardisé rempli d'un liquide que l'on chauffe progressivement et dans lequel on a plongé l'appareil

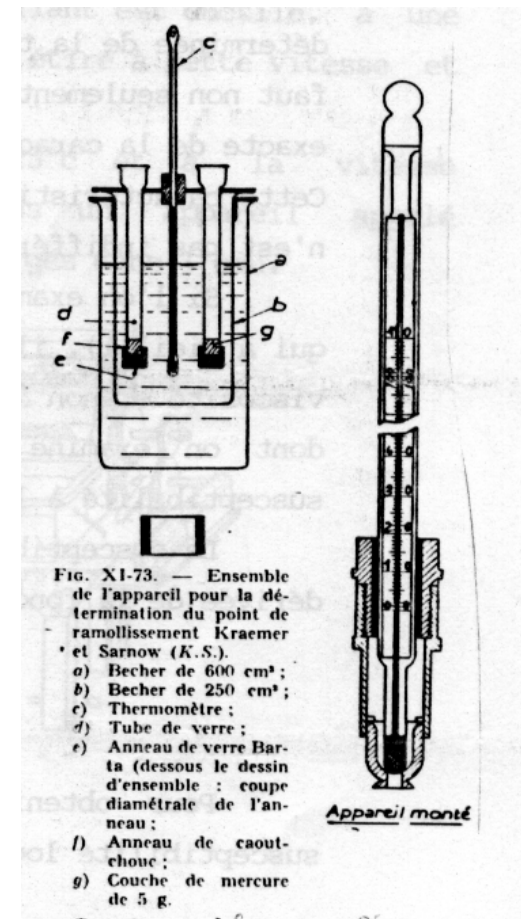
Le point de ramollissement B.A. marque un stade de viscosité déterminée de la matière. Ce point de ramollissement correspond à une pénétration fictive du bitume de 900.



On utilise aussi un point de ramollissement dénommé point de Kramer et Sarnow. Ce point sert surtout à étudier les brais de houille et les produits d'étanchéité. Le produit à tester se trouve, quand il est à son point de ramollissement K.S., dans un état de viscosité plus élevé que pour le point B.A. En moyenne, un liant à sa température K.S. possède une pénétration d'environ 250.

On définit le point K.S. par la température à laquelle 5 g de mercure placés dans un tube fermé par un anneau de brai ou de bitume de 10 mm d'épaisseur, traversant cet anneau et atteignent le fond d'un vase standardisé, rempli d'un liquide chauffé progressivement. L'écart entre le point K.S. et le point B.A. est variable; en moyenne le point B.A. dépasse le point K.S. de :

13 ÷ 14 °C pour les brais de goudron,
11 ÷ 12 °C pour les brais de pétrole.



Susceptibilité.

C'est la caractéristique qui marque l'aptitude d'un liant hydrocarboné à varier plus ou moins de consistance pour une variation déterminée de la température; il faut alors bien préciser cette dernière. Il faut non seulement préciser la température mais préciser également la nature exacte de la caractéristique que l'on envisage pour repérer la consistance. Cette caractéristique peut être soit la viscosité ou la pénétration; ce choix n'est pas indifférent.

Si l'on examine durant l'hiver un liant dur et fragile (ex. : un liant qui a vieilli), il est certain que la caractéristique à examiner est la viscosité et non la pénétration. Au contraire, s'il s'agit d'un liant très mou dont on examine le comportement durant la saison chaude, c'est la susceptibilité à la pénétration qu'il faut considérer.

La susceptibilité est définie analytiquement par la valeur absolue de la dérivée de la fonction considérée par rapport à la température :

$$\sigma_{\eta} = |d\eta/dt| \quad \text{et} \quad \sigma_p = |dp/dt|$$

Pour obtenir une constante du liant, on peut considérer la susceptibilité logarithmique Σ . Pour un même liant $\Sigma_{\eta} = 2 \times \Sigma_p$

Cohésivité et ductilité.

La cohésivité d'un liant hydrocarboné est caractérisée par sa résistance à la rupture, principalement par cisaillement ou par traction et ceci dans des conditions de vitesse de déformation par allongement ou cisaillement déterminées; ou encore dans des conditions de mise en charge fixées. Il s'agit donc de liants constitués par des solides demi-mous ou plus ou moins durs et non pas de liquides visqueux.

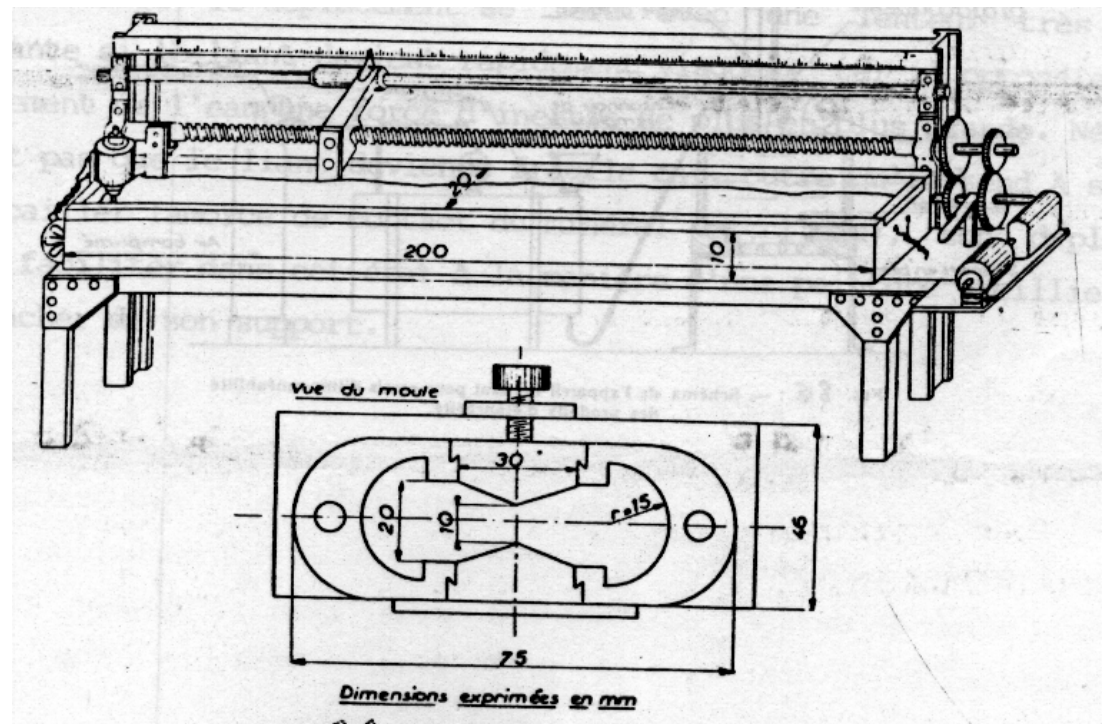
La cohésivité est fonction de la viscosité et croît avec celle-ci. Ceci n'est exact que quand le liant n'atteint pas un certain stade de dureté ou de fragilité. En surface se sont les fissures non parallèles à la direction de l'effort qui facilitent la décohésion par fragilité ou par déchirement.

Pour un corps de dureté ou de fragilité déterminée, l'aptitude à la décohésion est fonction de la vitesse de déformation ou plus exactement de la vitesse de mise en charge. Tout corps peut se comporter comme un corps fragile si la vitesse de mise en charge est portée à une valeur suffisamment grande.

La cohésivité est une qualité qui est mise en parallèle avec son adhésivité. Elle correspond à la rupture du liant dans sa masse sous certaines natures d'efforts. Cette rupture dans la masse s'oppose au décollement du liant de la paroi des corps (agrégats) que ce liant est chargé d'agglutiner.

Aussi la cohésivité qui, est fonction de la viscosité du liant, s'examine sous l'angle de la ductilité. Cette dernière est en somme l'aptitude au fluage d'un liant dans des conditions fixées. Un liant est ductile, à une certaine vitesse de déformation, lorsqu'il peut être étiré à cette vitesse et à une certaine température sans se rompre.

La mesure de la ductilité s'effectue à 25 °C et à la vitesse d'allongement de 5 cm/min. L'essai se fait dans un appareil appelé "ductilimètre" sur des éprouvettes en forme de 8 immergés dans l'eau.



Adhésivité aux granulats.

Beaucoup de revêtements sont défailants par suite d'une adhésivité du liant inférieure à celle de l'eau, ce qui se manifeste quand l'eau reste en contact prolongé avec ce revêtement. L'adhésivité au sens général, est l'effort qu'il convient d'exercer uniformément sur l'unité de surface d'un enduit pour le détacher de son support; l'adhésivité a la dimension donc d'une contrainte.

Au sens physique, l'adhésivité représente pour un liant ayant mouillé un minéral, la faculté de ce liant de résister au déplacement ou au décollement sous l'effet de possibles actions extérieures. Si la cohésivité ou pouvoir de cohésion, dépend surtout de la viscosité du liant, l'adhésivité ou le pouvoir d'adhésion est une question d'interface; ce qui engendre une étroite relation entre l'adhésivité et le mouillage.

L'adhésivité est donc une caractéristique d'affinité d'un corps pour un autre. Pour que cette affinité d'ordre moléculaire puisse se manifester, il faut que l'un des corps soit suffisamment fluide pour que ces molécules puissent se déplacer et entrer en contact dans le champ des forces de cohésion, avec des molécules du corps rigide.

Si un liant a mouillé un minéral sec, il se trouve dans une certaine mesure, dans une position privilégiée vis-à-vis de l'eau qui entrerait en contact ultérieurement. L'eau peut parvenir à déplacer le liant du minéral pour mouiller ce dernier préférentiellement; ceci est dû au fait que l'énergie de mouillage de l'eau vis-à-vis du minéral est généralement supérieure à l'énergie de mouillage du liant pour ce même minéral. Le déplacement se fera dès que l'eau peut entrer en contact avec la paroi nue du minérale par quelque point, notamment par quelque fissure ou quelque défectuosité dans la continuité de la pellicule que forme le liant, qui apparaîtront ça ou là.

Toutefois, le déplacement se fera avec une lenteur très rapidement croissante si le liant devient rapidement visqueux car il opposera ainsi au déplacement de l'eau une force d'inertie de plus en plus grande. Néanmoins, il ne faut pas que le liant devienne fragile car, outre qu'il tend à se fissurer et s'écailler (amorce de contact du minéral et l'eau), son déplacement se trouve faciliter dans cet état à la manière d'une peinture vieillie qui tend à se détacher de son support.

L'adhérence d'un liant pour un minéral c'est d'une manière pratique, la faculté pour un liant ayant mouillé le minéral de résister au déplacement par l'eau. Ainsi envisagée, l'adhésivité sera mieux conservée :

- d'autant que l'énergie d'adhérence du liant pour le minéral sera plus élevée,
- que le liant sera plus visqueux,
- que l'épaisseur du liant d'enrobage sera plus importante

Comme il s'agit de l'adhésivité préférentielle d'un liant hydrocarboné pour un agrégat en présence d'eau, il apparaît comme essentiel en pratique de considérer deux processus distincts :

- le liant et l'agrégat sont seuls au cours du mouillage, l'eau n'apparaît qu'ensuite. Dans ce cas, le liant bénéficie de la position du premier occupant et même si l'affinité de l'agrégat vis-à-vis de l'eau est plus importante, le liant peut résister longtemps au désenrobage grâce à sa viscosité d'abord et la perfection de l'enrobage ensuite. A ce titre, une fois l'enrobage effectué, le liant a intérêt à devenir rapidement visqueux pour éviter son déplacement par l'eau ou même sa mise en émulsion grossière sous le trafic,

- le liant et l'agrégat doivent entrer en contact alors que l'eau est déjà présente. Le liant ne pourra manifestement mouiller le minéral et y adhérer qu'en présence de "dopes" ou par suite d'une composition spéciale donnant au liant une affinité particulière pour la nature de l'agrégat utilisé (ex. : le bitume riche ou enrichi en acides naphthéniques est mis en présence de certains agrégats). Les liants, qu'ils s'agissent de produits goudronneux ou bitumineux, par la présence de certains acides notamment sont anioniques en présence d'eau. Pour les goudrons se sont les phénols qui produisent cet effet et pour les bitumes se sont les acides naphthéniques en particulier. Ces corps ont donc de l'affinité pour les matériaux qui mouillés par l'eau, ont une surface cationique (ex. : calcaire). L'affinité des cations pour les anions provoque la soudure normale des liants à l'agrégat grâce à la mobilité des molécules du liant.

Vieillessement des liants.

Une fois que le liant a mouillé l'agrégat et qu'il y adhère, l'adhésivité et la cohésivité de ce liant vont croître progressivement en même temps que le liant se met à durcir. Ce stade de la prise et du durcissement est souvent impliquable à l'évaporation des huiles fluidifiantes, mais aussi à la polymérisation et à l'oxydation. A partir d'un certain stade de dureté, le liant n'a plus rien à gagner par durcissement complémentaire, au contraire il peut devenir fragile sous l'effet de la circulation ou des abaissements de température et il risque de ce fait, de conduire à la fissuration et à la dégradation des revêtements.

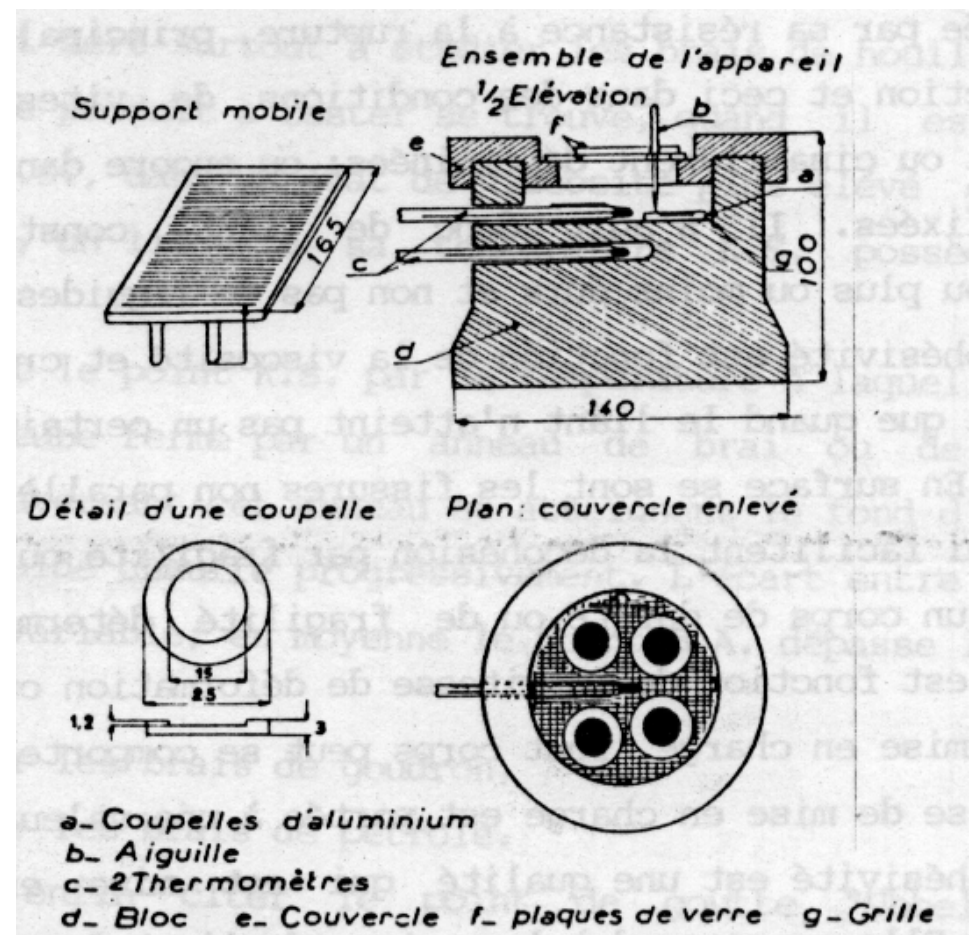
Les bitumes vieillissent moins vite que les goudrons; mais le vieillissement existe néanmoins. C'est ce qui a amené Leroux à imaginer un essai de température de ramollissement superficiel (T.R.S.) pour les goudrons.

Cet essai permet de prévoir à l'avance, les qualités de séchage et de vieillissement d'un goudron. On prépare pour cela quatre échantillons de goudron placés dans des coupelles cylindriques évidées en aluminium. Ces dernières sont légèrement chauffées et placées dans un support couvert.

L'appareil est mis dans une étuve durant 30 minutes ou 2 heures. Deux conditions sont imposées :

la T.R.S. à 30 min. à 125 °C ne doit pas dépasser 15 °C,
 la T.R.S. à 2 heures à 125°C ne doit pas être supérieure de 35 °C.

La tolérance est par ailleurs de 3 °C.



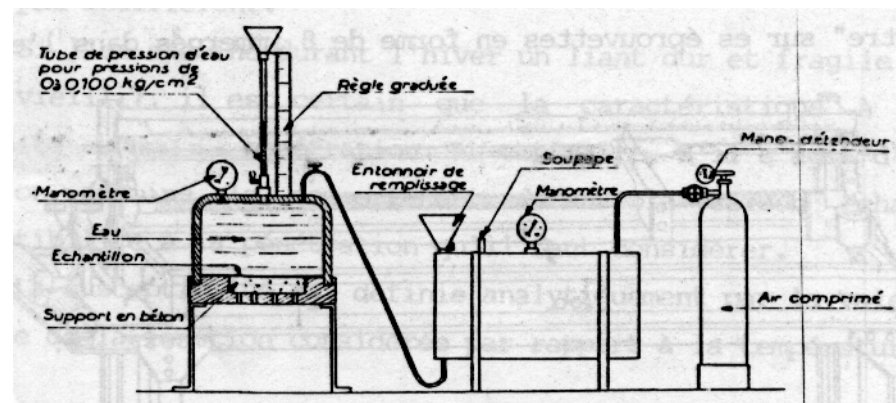
La T.R.S. d'un échantillon est inférieure à 15°C si la pointe du crin (substitué à l'aiguille du pénétromètre Dow) posé très légèrement sur la surface du goudron, y adhère par son extrémité et entraîne, lorsqu'on la relève, un petit cône de goudron. La T.R.S. serait supérieure à 15°C, si l'extrémité du crin posé sur surface provoque une légère dépression sans coller; aucun entraînement du liant ne se produit lorsqu'on relève l'aiguille. Pour la T.R.S. à 35°C, on procède de la même façon.

Rechercher une T.R.S. c'est en somme rechercher à quel moment il se forme en surface d'un goudron une peau qui ne permet plus l'adhérence. La formation de cette peau est basée sur la volatilité des huiles fluidifiantes et plastifiantes du goudron et en même temps sur l'état plus ou moins gélifié du goudron soumis à l'essai. La formation de la peau est le résultat d'un déséquilibre entre la quantité d'huile évaporée en surface et l'afflux des huiles venant de l'intérieur vers l'extérieur par le phénomène de diffusion à travers la masse gélifiée.

La T.R.S. à 30 minutes correspond à la période de séchage du goudron. En revanche, la T.R.S. à 2 heures mesure une caractéristique du liant parvenu à un stade de vieillissement représentant trois années d'exposition en plein air sous des climats froids à tempérés. Il faut qu'à cette époque le liant ne soit pas devenu trop sec par perte d'huiles. Plus l'écart entre les 2 T.R.S. est grand, plus le liant vieillit vite.

Imperméabilité des liants.

l'imperméabilité est la condition primordiale d'une étanchéité convenable. On effectue l'essai en opérant sous diverses pressions. L'appareil est mis au point par Pernault. L'échantillon à examiner est posé sur un évidement plan d'une plaque support en béton poreux;



le tout recouvert d'une cloche maintenue d'une manière étanche sur l'échantillon. Pour la mesure des faibles pressions, la cloche est surmontée d'un tube de verre gradué de 0 à 100 g/cm . Pour les pressions élevées, elles sont mesurées au manomètre de 100 g à 10 kg/cm² et réalisées en fermant le bas du tube surmontant la cloche. Celle-ci est remplie d'eau, on la met en communication, au moyen d'un tube latéral dans sa partie supérieure, avec une autre cuve hermétique contenant de l'eau. Cette dernière est elle même comprimée par de l'air sous pression provenant d'une bouteille à air comprimé et passant dans un mano-détendeur.

Tous les essais relatifs aux liants hydrocarbonés utilisés dans le domaine routier s'appliquent aussi pour les produits d'étanchéité.

PRODUITS COMMERCIALISES UTILISES SUR CHANTIER.

Produits routiers.

Liants hydrocarbonés : à partir des produits de base (goudron, bitume) on fabrique pour l'utilisation directe :

* bitumes mous et fluides : bitumes raffinés, naturels ou artificiels, dont on accroît la viscosité par adjonction :

- de solvants, produits plus légers provenant de la distillation du pétrole,
- de fondants (flux) : huiles de goudron,
- de goudrons de houille.

Cette fluidification facilite leur mise en oeuvre sur le chantier : malaxage avec les granulats, épandage à froid. On distingue :

les cut-backs : bitumes fluidifiés à l'aide de diluants plus ou moins volatils (kérosène, white-spirit, pétrole, huile de goudron). Ils doivent être chauffés avec modération, sans flamme directe car à température trop élevée, le dégagement de gaz inflammables formerait un mélange détonnant dans la cuve.

Les températures de chauffe à ne pas dépasser sont :

pour le cut-back spécial à séchage rapide	35 °C,
pour le cut-back 0/1	50 °C,
pour le cut-back 10/15	75 °C,
pour le cut-back 150/250	125 °C,
pour le cut-back 400/500	140 °C.

le road-oil : mélange de bitume avec des produits moins volatils (gaz-oil, fuel-oil), ce qui rend le durcissement moins lent. Les bitumes employés sont classés en fonction de leur viscosités en 20 qualités, groupées en 5 catégories :

- 5 qualités de bitumes purs,
- 5 qualités de bitumes fluidifiés, à solvants pétroliers,
- 2 qualités de bitumes fluidifiés à séchage rapide, à solvants pétroliers,
- 5 qualités de bitumes fluxés,
- 3 qualités de bitumes-goudrons, fluidifiés avec au moins 5% de goudron de houille.

émulsions de bitume : on met dans l'eau à l'état d'extrême dispersion (49 à 49,5%) de bitume mou ou de brai de pétrole pur, sous forme de globules grâce à un émulsif (alcali, carbonate de soude) et un stabilisant (gomme ou résine 0,5 à 1,5%). Il existe divers types selon la destination :

- instables pour les épandages superficiels,
- demi-stables ou stables pour des mélanges par malaxage, à haute viscosité,
- surstables ou contenant 70% de bitume pour les revêtements de sols.

Les émulsions se différencient également par :

- le signe de la charge électrique des globules de bitume,
- la nature du liant incorporé : bitume pur, fluidifié ou fluxé,
- un ensemble de caractéristiques physiques (viscosité, adhésivité, stabilité au stockage, vitesse de rupture, etc.).

Ces produits possédant l'avantage d'être utilisables à froid, applicables sur des surfaces humides et très adhérents aux supports poreux (enduit d'imprégnation à froid : E.I.F.).

enrobés à chaud et à froid : il s'agit de mortiers et de bétons hydrocarbonés réalisés avec des granulats de rivière ou concassés, de granulométries variables suivant la destination, dont l'enrobage s'effectue avant mise en oeuvre sur les routes ou les pistes à froid ou à chaud par malaxage.

Les liants utilisés sont des émulsions surstabilisés de goudron ou de bitume. Les granulats doivent présenter les mêmes caractéristiques que ceux des bétons hydrauliques (propres, durs) et en outre être secs pour permettre une bonne adhérence. Le dosage en liant doit être précis à 1% près (dosage optimal 7%).

Les mortiers et bétons bitumineux sont répandus à chaud ou à froid et sont classés selon leur capacité :

pour les enrobés à chaud : les denses (D.C.) ayant moins de 8% de vides, les demi-denses (S.C.) de 8 à 12% et les enrobés ouverts (O.C.) plus de 12% de vides,

pour les enrobés à froid : les demi-denses (S.F.) moins de 12% de vides et les enrobés ouverts (O.F.) plus de 12% de vides après compactage.

Enrobé à chaud

Approvisionnement du finisseur



Répartition de l'enrobé sur toute la largeur de travail



Nivellement et pré-compactage de l'enrobé



Compactage final



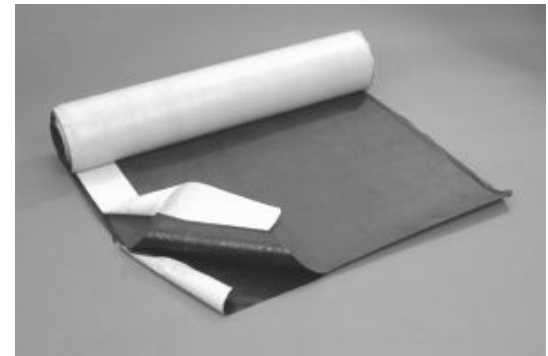
Enrobé à froid



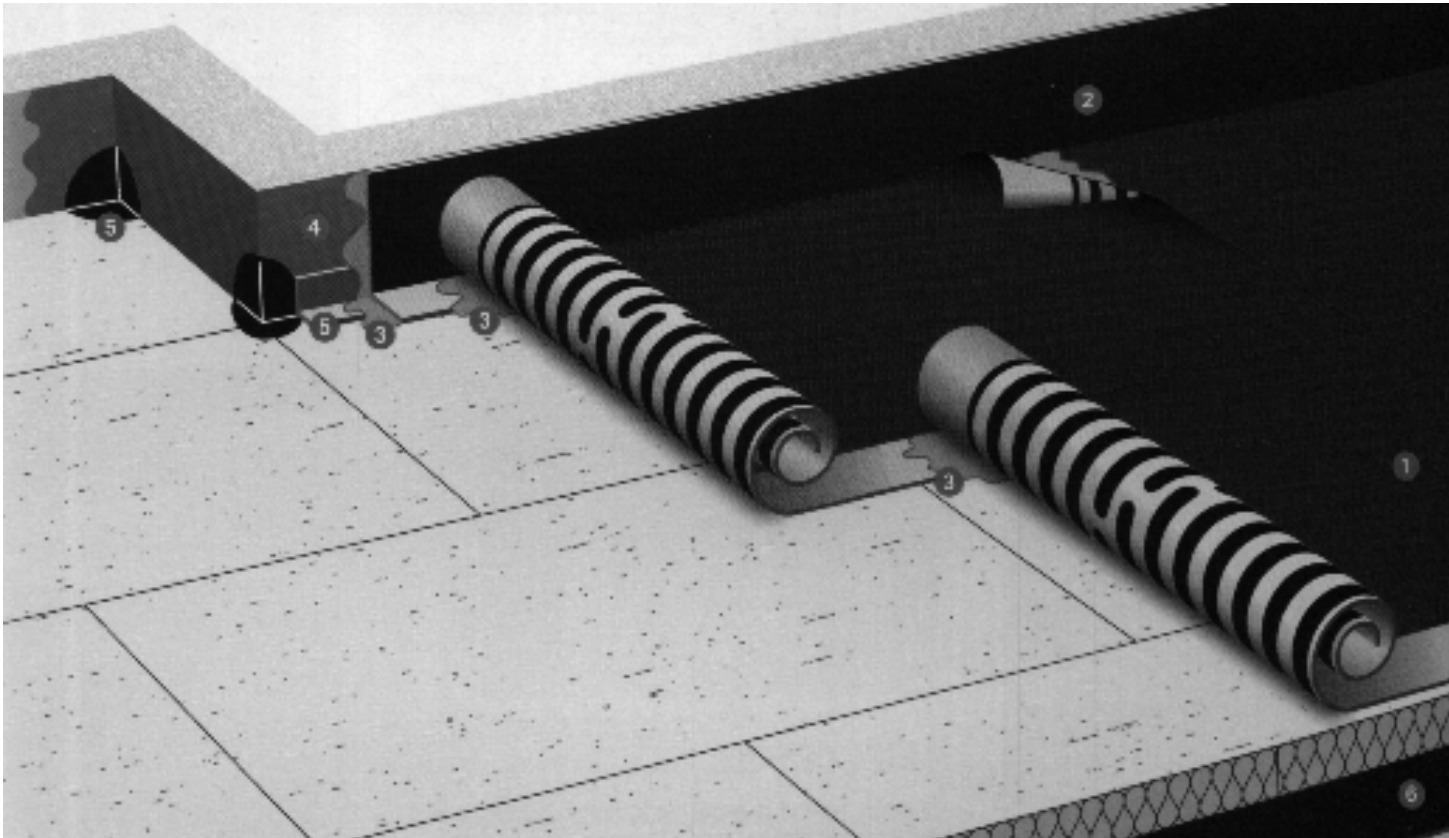
Produits d'étanchéité.

Matériaux en feuille : sont livrés en rouleaux sur chantier. On distingue :

* le bitume armé ou chape souple : feuille réalisée par enrobage d'une armature en toile de jute ou en carton feutré déjà imprégné à refus par une masse bitumineuse fillérisée ou non. Son épaisseur est supérieure à celle de l'armature. Ce matériau peut se souder à lui même ou sur un support adéquat à l'aide d'un chalumeau spécial. Selon la masse moyenne d'un rouleau de 10 m², on distingue 4 types :



Le produit d'imprégnation sera un bitume mou, sans filler et de point de ramollissement compris entre 40° et 60 °c. La masse d'enrobage peut contenir des fillers inertes; son point de ramollissement sera entre 70° et 90 °c.



* feutre bitumé : carton feutré (laine, coton ou jute mélangés), imprégné de bitume mou, sans filler ou de brai de goudron de houille. Si on le recouvre sur les deux faces d'une couche de bitume ou de brai de goudron calandré, fillérisée ou non, on obtient le feutre bitumé ou goudronné surfacé (point de ramollissement 80 à 1000 °C).

La face supérieure de ces feuilles peut être protégée soit d'un sablage minéral inerte, soit d'un écran métallique de cuivre ou d'aluminium de très faible épaisseur (qq. dixième de mm). Ils sont classifiés selon la masse moyenne :

La même classification existe pour les feutres goudronnés. Un feutre imprégné peut absorber 40% de son poids en eau, alors que surfacé il n'absorbe plus que 1 à 2%.

Matériaux en masse :

- * mastic d'asphalte : mélange de la poudre d'asphalte avec du bitume raffiné (débarassé de leur eau et de l'argile) ou par du brai de pétrole. L'ensemble, après cuisson à 200 °C pendant 3 à 12 heures est coulé en pains cylindriques ou hexagonaux de 25 kg :
 - asphalte calcaire servant de base à la fabrication du mastic doit avoir une teneur en bitume pur > 7% et moins de 2% d'argile,
 - mastic obtenu devra renfermer 12 à 18% de bitume pur.
- * asphalte coulé : obtenu à partir d'un mélange de mastic d'asphalte concassé (92 à 94%), de 6 à 8% de bitume naturel ou de brai de houille et d'un fondant (asphalte raffiné) dans une chaudière qui fond le mélange au moment de l'emploi. La teneur totale en bitume pur atteint au moins 19%. On peut y adjoindre du sable, des grains de porphyre pour constituer l'asphalte coulé sablé ou l'asphalte coulé porphyré (ex. : 60 kg de mastic + 4 ÷ 7 kg de bitume + 33 ÷ 36 kg de sable sec).



L'asphalte coulé est appliqué par épandage à l'état chaud ne nécessitant pas de compactage.

Caractéristiques de l'asphalte coulé

1	Masse volumique	ρ	2 350 kg/m ³
2	Coefficient de dilatation linéaire	α	4 à 6 . 10 ⁻⁵ /°C
3	Module d'élasticité	E	1 000 N/mm ²
4	Coefficient de diffusion de vapeur	D	1,6 x 10 ⁻⁵ mg/m . h . Pa
5	Résistance relative à la diffusion de vapeur	μ	4,4 x 10 ⁴
6	Coefficient de conductivité thermique	λ	0,7 à 1,15 W/m °C
7	Chaleur spécifique	c	1,01 x 10 ³ J/kg K
8	Coefficient d'absorption du rayonnement solaire	αR	0,90 W/m
9	Diminution des bruits de chocs	ΔL	7 dB (A) (pour ép. 25 mm)
10	Résistance spécifique de la conductivité électrique : a. antistatique b. électrostatique		10 ¹³ Ohm/cm 10 ⁴ Ohm/cm

* produits pâteux : mélanges d'hydrocarbures (goudrons, bitumes) et de fibres minérales inertes (amiante) et fillers, additionné de fluidifiant volatil ou non et parfois d'un plastifiant tel que la matière de base d'étanchéité soit $\geq 60\%$ du mélange. Ces produits doivent résister au gel et au fluage.

* produits fluides à froid : solutions ou d'émulsions bitumineuses.



RECEPTION ET STOCKAGE.

Réception.

Des échantillons doivent être prélevés et vérifiés par des laboratoires habilités qui contrôlent par exemple pour un pain de mastic d'asphalte :

- grosseur de déchets après digestion dans CS_2 ,
- teneur en bitume, soufre, silice, argile, paraffine, etc.,
- point de ramollissement.

Pour les matériaux en feuilles, sur le chantier on peut vérifier que :

- le conditionnement, le marquage répondent aux normes,
- la feuille se déroule sans adhérence et ne présente aucun défaut visible : trou, cassure, etc.,
- le produit demeure souple et peut être relevé suivant des gorges de $r = 25$ mm, sans se fissurer ni se casser.

Stockage.

Doivent être stockés à l'abri des chocs et du soleil sur des aires propres non rugueuses (palettés de préférence).